



UCAM
WIJKGERICHTE
BEOORDELING
VAN HITTE IN DE STAD

UCAM: Urban Climate Assessment and Management

Wijkgerichte beoordeling van hitte in de stad

Een project van:

Witteveen + Bos



WAGENINGENUR
For quality of life



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



UCAM

WIJKGERICHTE
BEOORDELING
VAN HITTE IN DE STAD

Medegefinancierd door:

Deltaprogramma | Nieuwbouw en Herstructurering



Colofon

Het UCAM-project is uitgevoerd binnen het Valoriusprogramma van Klimaat voor Ruimte. Dit programma heeft als doel dat wetenschappelijke kennis over klimaat praktisch toepasbaar wordt gemaakt. Het UCAM-project is uitgevoerd door een consortium van Witteveen+Bos, Wageningen Universiteit en het KNMI.

Het project is gehonoreerd op basis van het definitieve projectvoorstel in december 2012 en van start gegaan op 1 februari 2013. Het Valoriusprogramma heeft voor 50% bijgedragen aan het projectbudget. Overige financiering is afkomstig van Ministerie van Infrastructuur en Milieu (Deltaprogramma Deelprogramma Nieuwbouw en Herstructurering), van Stad Gent (België), van WUR en Witteveen+Bos.

Aan het project hebben meegewerkt:

- Witteveen+Bos:
Ronald Groen (projectleider);
Jimme Zoete;
Jochem Klompmaker;
Maurits Schilt;



- WUR:
Gert-Jan Steeneveld;
Sytse Koopmans;



WAGENINGEN UR
For quality of life

- KNMI:
Rob Sluijter;
Bart van den Hurk;
Henk Eskes;
Dirk Wolters;
Erik Min.



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Daarnaast is een belangrijke inhoudelijke bijdrage geleverd door Stad Gent, departement Milieu, Groen en Gezondheid:

- Maaïke Breugelmans;
- France Raulo.



Tijdens het project is het team ondersteund door coach van Klimaat voor Ruimte:

- Pier Vellinga
- Toon Bullens



klimaat voor ruimte




UCAM
WIJKGERICHTE
BEOORDELING
VAN HITTE IN DE STAD

**UCAM: Urban Climate Assessment
& Management**

eindrapport

referentie	projectcode	status
GV1102-2/14-023.839	GV1102-2	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
ir. R.J.A. Groen	ing. M.T. Marshall Mtech	15 december 2014

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. R.J.A. Groen	

INHOUDSOPGAVE

blz.

SAMENVATTING

1. INLEIDING	1
1.1. Het UCAM-project	1
1.2. Probleemschets	1
1.3. De doelstelling van het UCAM-project	2
1.4. Projectaanpak en opbouw van het rapport	3
2. URGENTIE EN ACHTERGROND	5
2.1. Hittegolven	5
2.2. Hitte in de stad	5
2.3. Luchtkwaliteit tijdens hittegolven	7
2.4. Klimaatverandering	8
2.5. Gezondheidseffecten	10
2.6. Stedelijke adaptatie	12
3. KWANTIFICERING VAN EFFECTEN OP HET LEEFMILIEU	15
3.1. Kwantificering van de effecten van hitte	15
3.2. Kwantificering van concentraties luchtverontreiniging	21
3.2.1. Kwantificering van ozon	21
3.2.2. Kwantificering van fijn stof (PM10)	22
4. KWANTIFICERING VAN GEZONDHEIDSRISICO'S	23
4.1. Gezondheidseffecten	23
4.2. Kwantificering risico's hitte	24
4.3. Kwantificering risico's luchtverontreiniging	25
5. BEOORDELING GEZONDHEIDSRISICO'S	29
5.1. Beoordeling risico's hitte: de hitte-index	29
5.2. Beoordeling risico's luchtverontreiniging: de luchtkwaliteitindex	32
5.3. Beoordeling Urban Climate: de UC-index	34
6. UCAM-METHODE	37
6.1. Inleiding	37
6.2. Doelstelling	38
6.3. Opzet, randvoorwaarden	38
6.4. Stappen UCAM-methode	39
6.5. Plaats in planningstrajecten: ex-post versus ex-ante evaluatie	41
6.6. Voorbeeld: Adaptatiebeleid in Gent	42
7. TOEPASSING VAN UCAM IN DE PRAKTIJK	45
7.1. Rekenmethode	45
7.2. Casus 1: Bestaande hitteproblematiek in wijk Dampoort, Gent	45
7.2.1. Urban Climate Dampoort	46
7.2.2. Assessment	50
7.2.3. Management	51
7.2.4. Conclusie ex post casus	51
7.3. Casus 2: Beoordeling hitteproblematiek in stadsontwikkelingsproject Dampoort	51
7.3.1. Urban Climate stadsontwikkelingsproject Dampoort	52
7.3.2. Assessment	54

7.3.3.	Management	55
7.3.4.	Conclusie ex ante casus	55
8.	DISCUSSIE EN EVALUATIE	57
8.1.	Kwantificering van milieueffecten tijdens een hittegolf	57
8.2.	Interactie hitte en luchtkwaliteit	58
8.3.	Baten uit verminderde gezondheidsrisico's	58
9.	GEBRUIKTE WETENSCHAPPELIJKE LITERATUUR	61
	laatste bladzijde	63
BIJLAGEN		aantal blz.
I	Urban Climate Tool	1

separate rapporten als bijlage:

- WRF kolomsmodel-simulaties van het warmte-eiland effect in Nederland, WUR, definitief rapport november 2014;
- Luchtvervuiling in de stad: afhankelijkheid van meteorologische variabelen en klimaatverandering, KNMI, definitief rapport november 2014.

SAMENVATTING

Effectieve beoordeling van hitte in de stad: UCAM

Steden lopen nog niet zo warm voor het nemen van maatregelen tegen hitte in de stad. Er is een groot contrast tussen het gevoel van urgentie bij stakeholders in de ruimtelijke planvorming en de wetenschappelijke kennis die daarover beschikbaar is. Het hitteprobleem lijkt evident maar wordt nog niet als urgent ervaren. Daaraan ligt ten grondslag dat nog niet goed is vastgesteld wanneer een situatie problematisch is, dus wanneer maatregelen nodig zouden zijn. Onze stelling is dan ook dat klimaatadaptatie ten aanzien van hitte in de stad moet worden gevoerd op basis van wat wij acceptabel vinden en wat niet. De door Witteveen+Bos, Wageningen Universiteit en KNMI ontwikkelde UCAM-methode biedt een handvat voor de beoordeling en kwantificering van hitte in de stad.

Hitte in besluitvorming

De laatste jaren is er steeds meer aandacht voor stedelijke hitte. Dat hitte een probleem kan zijn wordt steeds sterker onderbouwd, daarmee groeit het gevoel: wij moeten hier iets mee. Er bestaan echter nog veel dogma's. Is het nu wel zo erg? Lekker als het een beetje zomer is! Dan sterven mensen misschien een weekje eerder?

Bij stedelijke hitteproblematiek speelt het dilemma van eenvoud versus complexiteit. Enerzijds kan iedereen zich iets bij hitteproblematiek voorstellen. De hitte zorgt voor 'hit-testress', mensen voelen zich minder comfortabel, tenzij voorzien van een koel drankje en een zwembad. Dat ouderen en zwakkeren meer problemen met hitte hebben, is voor de meesten ook wel begrijpelijk. Maar ja, wat doe je daar aan?

De complexe werkelijkheid contrasteert echter sterk met bovenstaande eenvoudige zienswijze. Het gaat hierbij om een getrapte oorzaakgevolgrelatie. Het weer in de stad is een dynamisch micro-meteorologisch systeem. De stedelijke omgeving heeft op veel manieren een invloed op dit systeem. Ongeveer alle fysieke aspecten van een wijk hebben in meer of mindere mate een invloed op de stralingsbalans, temperatuur en wind. Gezamenlijk met de aanwezige milieufactoren in de stad, denk aan luchtverontreiniging, verslechtert het leefmilieu tijdens hittegolven. Het leefmilieu tijdens hittegolven heeft op veel verschillende manieren een negatieve uitwerking op de economie en de volksgezondheid. Mensen voelen zich minder comfortabel, zijn minder productief, krijgen gezondheidsklachten, worden in ziekenhuizen opgenomen, en in het ergste geval: sterven.

Dan rijst de volgende vraag: wat is dan precies het probleem van hitte in de stad? Vinden wij dat vooral een economisch probleem of een gezondheidsprobleem? En hoe beoordeel je een situatie als 'problematisch'? Hoe dan ook, voor de beoordeling van de hitteproblematiek, of je dat nu economisch of gezondheidskundig wilt beschouwen, is het noodzakelijk de gehele effectenketen te kunnen kwantificeren voor een specifieke wijk.

Terugkomend op het dilemma van eenvoud versus complexiteit: dit vormt een belemmering om hitteproblematiek aan te pakken. Langs de eenvoudige weg wordt enige urgentie onderuit geschouwd door heersende dogma's en als er dan toch iets wordt gedaan, gebeurt dit vrijblijvend en op gevoel. Langs de complexe weg echter verliest men zich in details, wordt een te eenzijdige (mono-disciplinaire) benadering gekozen, zijn onderzoeken (hitte-studies) kostbaar en leveren slechts beperkt bruikbare informatie op. Bovenal is er geen heldere definitie van de problematiek, waardoor de vraag of en hoeveel maatregelen nodig zijn, eigenlijk niet eens gesteld wordt.

Hoe gaat het dan wel werken?

In de eerste plaats is een heldere definitie van stedelijke hitteproblematiek vereist. Dit maakt dat de urgentie beter wordt gevoeld maar ook dat meer realiteitszin ontstaat. Dus geen onnodige paniek, maar doelmatig handelen is gewenst. In de tweede plaats is een instrumentarium nodig waarmee eenduidig, objectief en vooral ook praktisch toepasbaar de hitteproblematiek in beeld kan worden gebracht en beoordeeld. Met een laagdrempelige methode kan stedelijke hitteproblematiek in besluitvorming worden verweven en kan het eenvoudiger worden geïntegreerd met overige aspecten die hierin worden meegenomen (integrale afweging).

In het door ons uitgevoerde project Urban Climate Assessment & Management (UCAM) hebben wij bovenstaande leemten opgevuld. In het UCAM-project hebben wij een analyse van hitte in besluitvorming uitgevoerd, om na te gaan welke belemmeringen er zijn ten aanzien de beoordeling en vermindering van hitteproblematiek. Hiermee ontstaat inzicht in welke informatiebehoefte er is bij betrokken stakeholders, primair het bevoegd gezag. Vervolgens is invulling gegeven aan de term hitteproblematiek en hoe deze eenduidig te beoordelen. En vooral, hoe deze beoordeling als laagdrempelige methode beschikbaar gemaakt kan worden voor toepassing in besluitvorming op elk niveau. Dit heeft geresulteerd in de UCAM-methode.

Urgentie: hitteproblematiek

Hittegolven zijn, in tegenstelling tot wat veel mensen denken, zeer schadelijk voor de gezondheid. De hittegolf in 2003 in Europa veroorzaakte ongeveer 45.000 sterfgevallen. Ook de hittegolf in 2006 zorgde in Nederland en België voor ernstige gezondheidseffecten. Deze periode resulteerde in 1.000 (NL) en 940 (B) hittedoden, dat wil zeggen extra sterfte dat aan de hittegolf gerelateerd is. Dit leverde een respectievelijk vierde en vijfde plaats op in de lijst met landen wereldwijd die dat jaar het hardst zijn getroffen door natuurrampen.

Epidemiologisch onderzoek laat zien dat tijdens hittegolven in Europa de dagelijkse mortaliteit (sterfte) kan stijgen met meer dan 30 %. Hoewel een groot deel kan worden verklaard door de hoge temperaturen, blijkt uit onderzoek dat ongeveer 20-40 % van de verhoogde mortaliteit kan worden toegeschreven aan de concentratie luchtverontreiniging. Tijdens hittegolven zijn de weersomstandigheden namelijk ongunstig voor de luchtkwaliteit, denk aan zomersmog.

Er zijn behalve sterfte zeer uiteenlopende kortetermijneffecten op de gezondheid die kunnen optreden in te warme omstandigheden. De totale effecten kunnen worden weergegeven in een piramide. Bovenaan de piramide staan de ernstigste effecten, die een relatief kleine groep mensen ondervindt. Onderaan de piramide staan de mildere effecten, waar een veel grotere groep last van heeft. Ergens in de piramide zit dus ook het effect dat werknemers door fysiologische veranderingen minder productief zijn.

De extra sterfte die optreedt tijdens een hittegolf is wat betreft het aantal getroffen personen een klein deel van de piramide van totale gezondheidseffecten die optreden. Dit is echter wel het effect dat het meest concreet wetenschappelijk is onderzocht en aangetoond. Het is aannemelijk dat in omstandigheden met een hogere sterfte de overige effecten naventant hoger zullen zijn. Hierdoor stellen wij dat mortaliteit een goede indicator is voor de totale piramide.

Hiermee geven wij een betekenis aan de term hitteproblematiek: boven een bepaalde drempel zorgt een verhoogde etmaalgemiddelde temperatuur voor een hogere sterfte en voor een naventant grotere piramide van gezondheidseffecten, mede leidend tot economische schade. Temperatuur en luchtverontreiniging zijn hierin de grootste boosdoeners.

Urgentie: hitte in de stad

Er zijn goede redenen om juist in steden extra aandacht te hebben voor hitteproblematiek. Steden zijn warmer dan de omgeving (het Urban Heat Island effect, UHI), de luchtkwaliteit is slechter en er wonen meer mensen. Er vindt in steden dus meer blootstelling plaats en bovendien aan relatief hogere risico's, in vergelijking met rurale gebieden.

Belangrijk om hierbij te melden is dat de stedelijke omgeving op wijkniveau een sterke invloed uitoefent op de UHI van die wijk. In ons UCAM-project vonden wij dat de gezondheidsrisico's in zeer versteende wijken tijdens hittegolven in het ergste geval meer dan verdubbelen. Dit betekent dat de wijze waarop wij de stedelijke omgeving inrichten, gevolgen heeft voor de hittegevoeligheid van een wijk en daarmee dus voor de potentiële blootstelling aan verhoogde risico's.

KNMI klimaatscenario's voor Nederland beschrijven een toekomst met frequentere, intensere en langdurige hittegolven. De beschreven hitteproblematiek gaat in ernst toenemen. Lukt het om ons tijdig daarop voor te bereiden? Adaptatie van stedelijke gebieden kost veel tijd. Over 20 tot 50 jaar bestaan de steden voor een groot deel uit een omgeving die wij nu en in de nabije toekomst ontwerpen en bouwen. Nu is dus het tijd voor actie!

De UCAM-methode

De UCAM-methode is ontwikkeld door Witteveen+Bos, WUR en KNMI binnen het Valorius-programma¹. De doelstelling van UCAM is om besluitvorming en afwegingen in de ruimtelijke ordening te ondersteunen door te voorzien in een informatiebehoefte en een consistente advisering ten aanzien van de stedelijke hitteproblematiek. Dit kan zowel in de context van het screenen van bestaande stadswijken als in de beoordeling en optimalisatie van inrichtingsalternatieven in een toekomstige situatie. De informatiebehoefte komt tot uitdrukking in de volgende centrale vragen, welke worden beantwoord met de UCAM-methode:

- screening van bestaande situatie:
 - in welke mate is hitteproblematiek aan de orde in een bestaande wijk?
 - welke verbeteringsopgave ligt er om tot een acceptabele situatie te komen?
 - welke type maatregelen kunnen effectief worden ingezet?
 - hoe kunnen deze maatregelen worden gerealiseerd?
- beoordeling en optimalisatie van inrichtingsalternatieven:
 - in welke mate is hitteproblematiek aan de orde in het plangebied?
 - voorzien de inrichtingsalternatieven in de ruimtelijke opgave ter vermindering van de hitteproblematiek?
 - welke maatregelen of oplossingsrichtingen zijn denkbaar?
 - hoe kunnen deze maatregelen worden ingepast in de alternatieven?

De UCAM-methode past hiermee uitstekend binnen de uitvoering van de Stresstest Klimaatbestendigheid², zowel het onderdeel Kwetsbaarheidsplan als het onderdeel Adaptatieplanning.

De centrale vragen passen binnen het bestuurlijke afwegingsmodel. De UCAM-methode is opgebouwd uit logische stappen, globaal geclusterd in een inhoudelijke analyse (UC), de beschouwing van effectieve en inpasbare oplossingsrichtingen (A), en advisering ten aan-

¹ Het Valorius Programma is een vervolg op het Nederlandse onderzoeksprogramma Klimaat voor Ruimte, met als doelstelling praktische en maatschappelijke waarde te geven aan beschikbare kennis uit klimaatonderzoek.

² Deltaprogramma Nieuwbouw en Herstructurering - Handreiking Ruimtelijke Adaptatie, Handreiking voor de uitvoering van een Stresstest Klimaatbestendigheid.

zien van de bestuurlijke en beleidsmatige stappen (M). De UCAM-methode hebben wij getest in 2 casussen in Gent, België.

Er ligt een koppeling met de kosten-batenanalyse. Met een betere inschatting van de effectiviteit van maatregelen kan een betere kosten-batenanalyse worden gemaakt. De UCAM-beoordeling kan daarmee gebruikt worden om beter gefundeerde economische afwegingen binnen bijvoorbeeld gebiedsontwikkelingen te maken.

Eenduidige beoordeling

In het UCAM-project liggen enkele veronderstellingen ten grondslag aan de wijze waarop praktische invulling is gegeven aan het opstellen van een beoordelingscriterium voor hitteproblematiek. Verondersteld is dat de mate waarin mortaliteit verandert als gevolg van de verandering van temperatuur of luchtkwaliteit, representatief is voor de mate waarin de overige gezondheidseffecten optreden. Verder is verondersteld dat de relatieve risico's, welke representatief zijn voor een grote populatie (op macroniveau zoals een land of regio), als potentiële plaatsgebonden risico's kunnen worden beschouwd.

In de UCAM-methode is ervoor gekozen om de mate waarin de leefomgeving invloed uitoefent op de potentiële gezondheidsrisico's door hitte en luchtverontreiniging tijdens hittegolven weer te geven als een index: de Urban Climate (UC) index. Hiermee is de beoordeling praktisch toepasbaar, ondanks de complexiteit van gezondheidskundige risico's door fysieke veranderingen in het leefmilieu.

De UC-index is bedoeld om te dienen als een eenduidige, objectieve maat, als een beoordelingscriterium. Deze maat geeft een indicatie van de gevoeligheid van een wijk voor hitteproblematiek, gebaseerd op de verhoogde potentiële plaatsgebonden risico's voor primair gezondheid, en daaraan gerelateerde economische risico's. Bij de beoordeling zal rekening gehouden moeten worden met de mate van blootstelling, dus met doelgroepen in de wijk. De UC-index kan als omgevingskwaliteit op wijkniveau worden vastgesteld en beoordeeld, zowel in bestaande situaties als bij ontwerp-/inrichtingsplannen.

Om te beoordelen in hoeverre de hittegevoeligheid van een wijk acceptabel is of niet, wordt aangesloten bij de beoordelingsmaat voor vergelijkbare korte termijn risico's: de Europese en WHO richtlijnen voor ozon. Het gaat, net als bij hittegerelateerde risico's, om blootstelling aan piekwaarden die tot problemen kunnen leiden. Een reden om hierbij aan te sluiten, is dat ozon een belangrijke bijdrage levert aan de gezondheidsrisico's tijdens hittegolven, vanwege de verhoogde ozonconcentraties. Belangrijker nog is dat drempelwaarden zijn gedefinieerd die rekening houden met de gevoeligheid van doelgroepen, waarmee overheden en autoriteiten al ervaring mee hebben als het gaat om het informeren of alarmeren van burgers.

Standaardrekenmethode

In het UCAM-project hebben wij een rekenmethode ontwikkeld die aan de door ons gestelde eisen voldoet: objectief, voldoende wetenschappelijke consensus, rechtdoend aan de complexiteit van de materie maar bovenal laagdrempelig en praktisch toepasbaar in besluitvorming op elk niveau. Wij hebben het ons dus niet makkelijk gemaakt, maar het is wel gelukt. In het UCAM-project hebben wij met een geavanceerd model de hittegolf van juli 2006 gesimuleerd. Hierbij zijn de meest voorkomende Nederlandse / Belgische wijktypen gemodelleerd, en daarbij allerlei fysieke wijkparameters systematisch gevarieerd. Dit leverde circa 1.000 berekeningen op, waarvan de resultaten het mogelijk maken om voor de meeste stedelijke omgevingstypen en de meeste typen maatregelen op een veel snellere manier de hitte in een wijk te bepalen. Daarnaast is een methode ontwikkeld om de lucht-

kwaliteit tijdens hittegolven te bepalen op basis van luchtkwaliteitsgegevens zoals deze in planstudies doorgaans worden berekend.

1. INLEIDING

1.1. Het UCAM-project

Dit rapport beschrijft het project Urban Climate Assessment & Management (UCAM). In het project is de UCAM-methode ontwikkeld. De UCAM-methode is een praktische toepassing van wetenschappelijk onderzoek naar hittegolven en de effecten daarvan op de hitteproblematiek in een stedelijke omgeving. De methode geeft antwoord op de vraag: wat kunnen wij doen om deze problematiek te beperken? Wij spreken over hitteproblematiek aangezien het project focust op nadelige effecten in steden tijdens hittegolven. Deze problematiek heeft betrekking op zowel hitte als luchtverontreiniging.

Het UCAM-project is uitgevoerd binnen het Valoriusprogramma¹. Dit programma heeft als doel dat wetenschappelijke kennis over klimaat praktisch toepasbaar wordt gemaakt. Het UCAM-project is uitgevoerd door een consortium van Witteveen+Bos, Wageningen Universiteit en het KNMI.

De ontwikkeling van de UCAM-methode was niet mogelijk geweest zonder de betrokkenheid en ondersteuning van Stad Gent. Stad Gent heeft als eerste eindgebruiker de UCAM-methode laten toepassen in 2 casussen in de wijk Dampoort.

Het project is mede gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, vanuit het Delta Programma Nieuwbouw en Herstructurering.

1.2. Probleemschets

Hittegolven zijn vaak schadelijker voor de gezondheid dan andere natuurrampen zoals orkanen, sneeuwstormen of overstromingen. De hittegolf in 2003 in Europa veroorzaakte meer dan 45.000 extra sterfgevallen². Ook de hittegolf in 2006 zorgde in Nederland en België voor ernstige gezondheidseffecten. Deze periode resulteerde in 1.000 Nederlandse en 940 Belgische hittedoden³, hetgeen een respectievelijk vierde en vijfde plaats opleverde in de lijst met landen die dat jaar het hardst zijn getroffen door natuurrampen.

In stedelijke gebieden zijn de gezondheidseffecten van hittegolven beduidend hoger dan in rurale gebieden. Bekend is dat in steden de temperatuur hoger is in vergelijking met rurale gebieden, vanwege het stedelijk hitte-eiland effect (Urban Heat Island, UHI). Dit zorgt ervoor dat in steden de bevolking in grotere mate wordt blootgesteld aan hitte, in vergelijking met de bevolking op het platteland. Minder bekend is dat ook de luchtkwaliteit in die omstandigheden een belangrijke factor is. Tijdens hittegolven worden de korte termijn luchtkwaliteitsnormen voor ozon en fijn stof (PM10) vaker overschreden⁴. Men wordt dus blootgesteld aan hogere concentraties luchtverontreinigende stoffen, die naast de verhoogde temperatuur een risico vormen voor de volksgezondheid.

¹ Het Valorius Programma is een vervolg op het Nederlandse onderzoeksprogramma Klimaat voor Ruimte, met als doelstelling praktische en maatschappelijke waarde te geven aan beschikbare kennis uit klimaatonderzoek.

² United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (2003) Heat wave in Europe in 2003, new data shows Italy as the most affected country.

³ United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction (UNISDR), 2007. Three European countries among the top ten deadliest disasters of 2006, UN/ISDR 2007/01.

⁴ Roemer, M., L. Klok, en S. Janssen, 2011. Gaat hitte gepaard met slechtere luchtkwaliteit: onderzoek naar oversterfte tijdens hittegolven; Milieu 17: 1.

De klimaatscenario's van het KNMI^{1 2} beschrijven voor Nederland een toekomst met frequentere, intensere en langdurige hittegolven met hogere concentraties ozon en fijn stof. Vanwege de nabije ligging, kan hetzelfde scenario in België worden verwacht. Bovendien blijkt uit prognoses dat steden in de toekomst steeds dichter bevolkt raken³. De totale gezondheidseffecten veroorzaakt door hittegolven zullen naar alle waarschijnlijkheid in de toekomst toenemen.

Steden lopen nog niet zo warm bij het nemen van maatregelen tegen hitte in de stad. Er is een groot contrast tussen het gevoel van urgentie bij stakeholders in de ruimtelijke planvorming en de wetenschappelijke kennis die daarover beschikbaar is. Klimaatadaptatie moet eerst maar eens een positief resultaat geven in kosten-batenanalyses. Lastig hierbij is dat de problematiek bij hittegolven vooral op macroniveau zichtbaar is (bijvoorbeeld in de vorm van landelijke sterftecijfers, zie afbeelding 2.3, terwijl de oplossing uitsluitend op microniveau te behalen is. De kosten van maatregelen zijn daardoor op microniveau dus wel inzichtelijk, maar de baten niet. De baten zijn alleen op basis van generieke (grootschalige) kentallen en statistieken te bepalen, welke doorgaans niet zomaar op een wijk kunnen worden toegepast.

Onze stelling is dan ook dat klimaatadaptatie ten aanzien van hitte in de stad niet uitsluitend moet worden gevoerd op basis van kosten-batenanalyses, maar op basis van wat acceptabel is en wat niet. Een probleem daarbij is echter dat wij nog niet goed kunnen vaststellen wanneer een situatie onacceptabel is, en dus wanneer maatregelen noodzakelijk zijn. Een beter begrip van de risico's veroorzaakt door hittegolven en hoe deze te beoordelen leidt tot een beter afwegingskader voor adaptatie aan hitte in de stad.

1.3. De doelstelling van het UCAM-project

De doelstelling van het UCAM-project is om besluitvorming en afwegingen in de ruimtelijke ordening te ondersteunen door te voorzien in een informatiebehoefte en een consistente advisering ten aanzien van de stedelijke hitteproblematiek.

Dit kan zowel in de context van het screenen van bestaande stadswijken (ex-post) als in de beoordeling en optimalisatie van inrichtingsalternatieven in een toekomstige situatie (ex-ante).

De informatiebehoefte komt tot uitdrukking in de volgende centrale vragen, welke worden beantwoord met de UCAM-methode:

- screening van bestaande situatie (ex-post):
 - in welke mate is hitteproblematiek aan de orde in een bestaande wijk?
 - welke maatregelen kunnen effectief worden ingezet?
 - hoe kunnen deze maatregelen worden gerealiseerd?
- beoordeling en optimalisatie van inrichtingsalternatieven (ex-ante):
 - in welke mate is hitteproblematiek aan de orde in verschillende inrichtingsalternatieven?
 - voorzien de inrichtingsalternatieven in de ruimtelijke opgave ter vermindering van de hitteproblematiek?

¹ KNMI'14; klimaatscenario's voor Nederland, leidraad voor professionals (2014) KNMI.

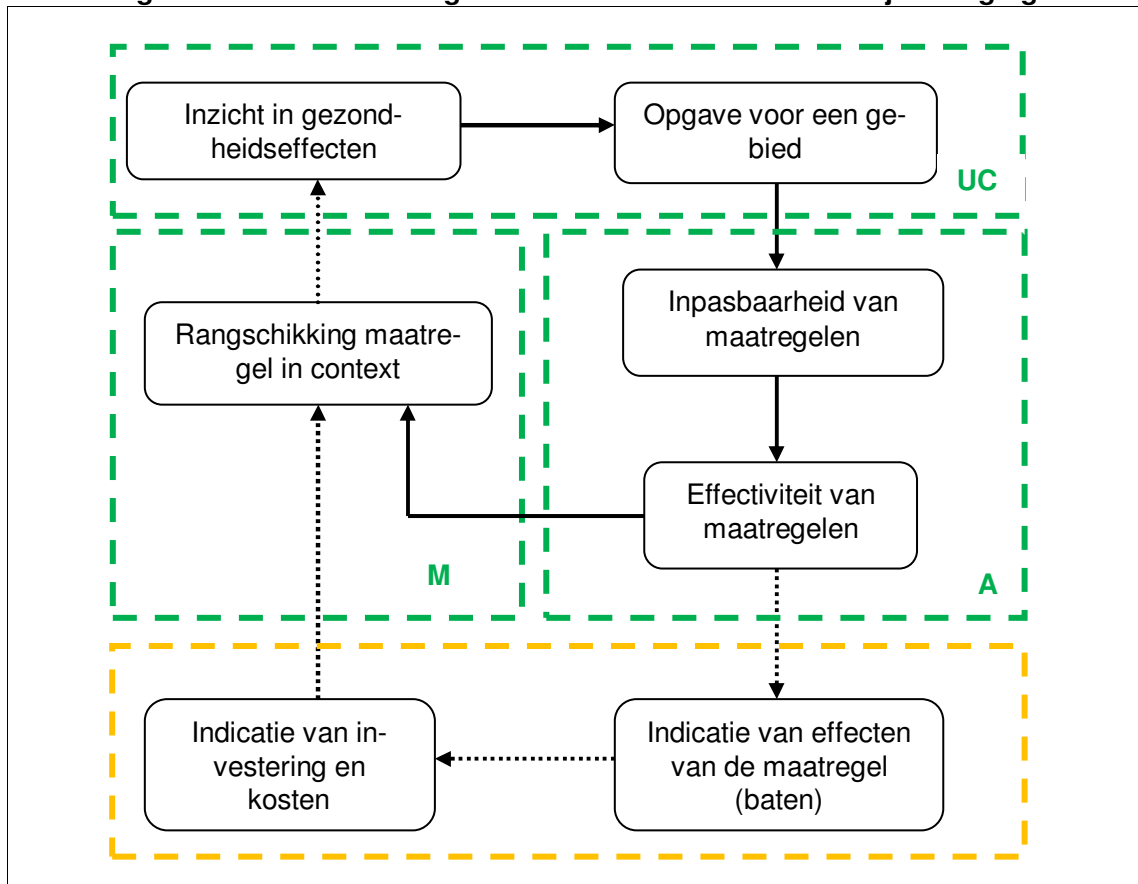
² KNMI, 2014: Climate Change scenarios for the 21st Century - A Netherlands perspective. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands. www.klimaatsscenarios.nl.

³ Planbureau voor de Leefomgeving en Centraal Bureau voor de Statistiek, 2013. Grote gemeenten goed voor driekwart van bevolkingsgroei tot 2025. PB13-062.

- welke maatregelen of oplossingsrichtingen zijn denkbaar?
- hoe kunnen deze maatregelen worden ingepast in de alternatieven?

De centrale vragen passen binnen het bestuurlijke afwegingsmodel zoals weergegeven in afbeelding 1.1. De UCAM-methode omvat de 3 groene domeinen in de afbeelding. Er ligt een sterke koppeling met de kosten-batenanalyse (weergegeven in het gele domein). Met een betere inschatting van de effectiviteit van maatregelen kan immers een betere kosten-batenanalyse worden gemaakt. De UCAM-beoordeling kan daarmee gebruikt worden om beter gefundeerde economische afwegingen binnen bijvoorbeeld gebiedsontwikkelingen te maken.

Afbeelding 1.1. UCAM omvat de groene domeinen in het bestuurlijk afwegingsmodel



1.4. Projectaanpak en opbouw van het rapport

De globale volgorde waarin onderdelen van het UCAM-project zijn beschreven is als volgt:

- hoofdstuk 2: Urgentie en achtergrond, met daarbij de probleemschets:
 - hitteproblematiek in ruimtelijke besluitvorming;
 - inventarisatie van belemmeringen en informatiebehoefte;
- hoofdstukken 3 en 4: Kwantificering van hitteproblematiek:
 - bepalen van het effect van de gebouwde omgeving op het leefmilieu, ten aanzien van hitte en luchtverontreiniging, tijdens hittegolven in een specifieke situatie;
 - bepalen van het effect van het leefmilieu op gezondheidsrisico's;
- hoofdstuk 5: Beoordeling van hitteproblematiek:
 - opstellen van een uniform en objectief beoordelingscriterium (UC-index);
- hoofdstuk 6: De opzet van de UCAM-methode:

- ontwikkelen van een praktisch toepasbare werkwijze ter kwantificering en beoordeling van de hitteproblematiek in een specifieke wijk;
- hoofdstuk 7: Toepassing van de UCAM-methode:
 - evaluatie van bruikbaarheid en toegevoegde waarde van de UCAM-methode in de ruimtelijke besluitvorming;
- hoofdstuk 8: Discussie, overwegingen en aanbevelingen.

In hoofdstuk 2 is beschikbare wetenschappelijke kennis en inzichten met betrekking tot hittegolven, klimaatverandering en luchtverontreiniging beschreven. Hier wordt duidelijk hoe deze 3 expertisevelden met elkaar verknoot zijn, met name in stedelijke gebieden. Ook wordt beschreven hoe klimaatadaptatie in het proces van ruimtelijke planvorming is opgenomen. Het doel van dit hoofdstuk is enerzijds om als achtergrondinformatie de basis te leggen waarop de UCAM-methode is ontsproten, anderzijds om de urgentie aan te geven voor het nemen van adaptieve maatregelen tegen hitteproblematiek in steden.

De invloed van de stedelijke omgeving op het leefmilieu komt in hoofdstuk 3 aan bod. De verschillende factoren die hierin een rol spelen zijn onderzocht en vervolgens gekwantificeerd. Hierdoor kan de oorzaak van de stedelijke invloed op het milieu in wijken worden achterhaald en de effectiviteit van verschillende maatregelen vergeleken. Het gaat hier dus om een situatiespecifieke kwantificering van effecten.

In hoofdstuk 4 wordt de invloed beschreven die het leefmilieu heeft op de gezondheid. In deze stap worden de gezondheidsrisico's die worden veroorzaakt door blootstelling aan hitte en luchtverontreiniging gekwantificeerd.

Het toetsingscriterium waaraan de risico's worden getoetst is beschreven in hoofdstuk 5. Op basis van wetenschappelijke inzichten over het al dan niet acceptabel zijn van verhoogde gezondheidsrisico's door blootstelling aan hitte en luchtverontreiniging is een eenduidig beoordelingscriterium, de Urban Climate-index, ontwikkeld. Aan de hand van de UC-index kan de opgave voor verbetering van de wijk worden bepaald.

Hoofdstuk 6 behandelt de UCAM-methode zoals die is opgebouwd uit de voorgaande hoofdstukken. De doelstelling, geldigheid, randvoorwaarden en de verschillende stappen komen aan bod.

Hoofdstuk 7 beschrijft de wijze waarop de methode is toegepast in 2 casussen in Gent, België.

In hoofdstuk 8 zijn enkele aanbevelingen/discussiepunten van de UCAM-methode en het project genoemd.

2. URGENTIE EN ACHTERGROND

Dit hoofdstuk beschrijft beschikbare wetenschappelijke kennis en inzichten met betrekking tot hittegolven, klimaatverandering en luchtverontreiniging. Hiermee wordt duidelijk hoe deze 3 expertisevelden met elkaar verknoot zijn, met name in stedelijke gebieden.

Het doel van dit hoofdstuk is enerzijds om als achtergrondinformatie de basis te leggen waarop de UCAM-methode is ontsproten, anderzijds om de urgentie voor aanpak van hitteproblematiek in steden aan te geven.

Het UCAM-project heeft niet het doel om de urgentie van het hitte-eilandeffect te onderstrepen, of de ernst van het probleem te verduidelijken. Het doel is om het vaak abstract ervaren onderwerp 'hitte in de stad', in combinatie met luchtverontreiniging, in een tool praktisch hanteerbaar te maken voor de stedelijke planvorming. Daarbij is ook aandacht voor de meerdere doelen die adaptieve maatregelen kunnen hebben, bijvoorbeeld op het gebied van milieu, veiligheid of een aantrekkelijke leefomgeving.

2.1. Hittegolven

Er is geen universele definitie van een hittegolf. In het algemeen wordt een periode van minstens 2-3 dagen van ongewoon warm weer aangeduid als een hittegolf. In Nederland en België wordt een hittegolf als volgt gedefinieerd: een periode met minstens 5 opeenvolgende dagen met ten minste 25,0°C, waarvan op minstens 3 dagen 30,0°C graden of meer wordt genoteerd. Om van een landelijke hittegolf in Nederland te spreken moet deze periode zich voortdoen in de Bilt, voor België geldt dat de temperaturen moet worden gemeten in Ukkel.

Hittegolven in Noordwest-Europa worden voornamelijk veroorzaakt door afwijkingen in de luchtdrukgebieden¹. Een stagnerend hogedrukgebied boven Noordwest-Europa kan zorgen voor de aanvoer van lucht vanuit continentaal Europa naar Noordwest-Europa, in plaats van afkoelende lucht vanuit de zee. Vanwege minimale verschillen in drukgradiënten nabij het centrum van een hogedrukgebied zal dit leiden tot lichte regionaal bepaalde winden. Daarnaast worden zogenaamde temperatuurinversies gecreëerd in de atmosfeer waardoor er een 'afsluitende deksel' boven Noordwest-Europa kan hangen. De temperatuur zal vervolgens verder oplopen als gevolg van helder weer, sterke zonnestraling en droogte.

2.2. Hitte in de stad

In steden worden vaak hogere temperaturen gemeten dan op het platteland, hetgeen wordt veroorzaakt door de invloed van stedelijke eigenschappen op de energiebalans, geïllustreerd in afbeelding 2.1 en gedefinieerd volgend onderstaande formule:

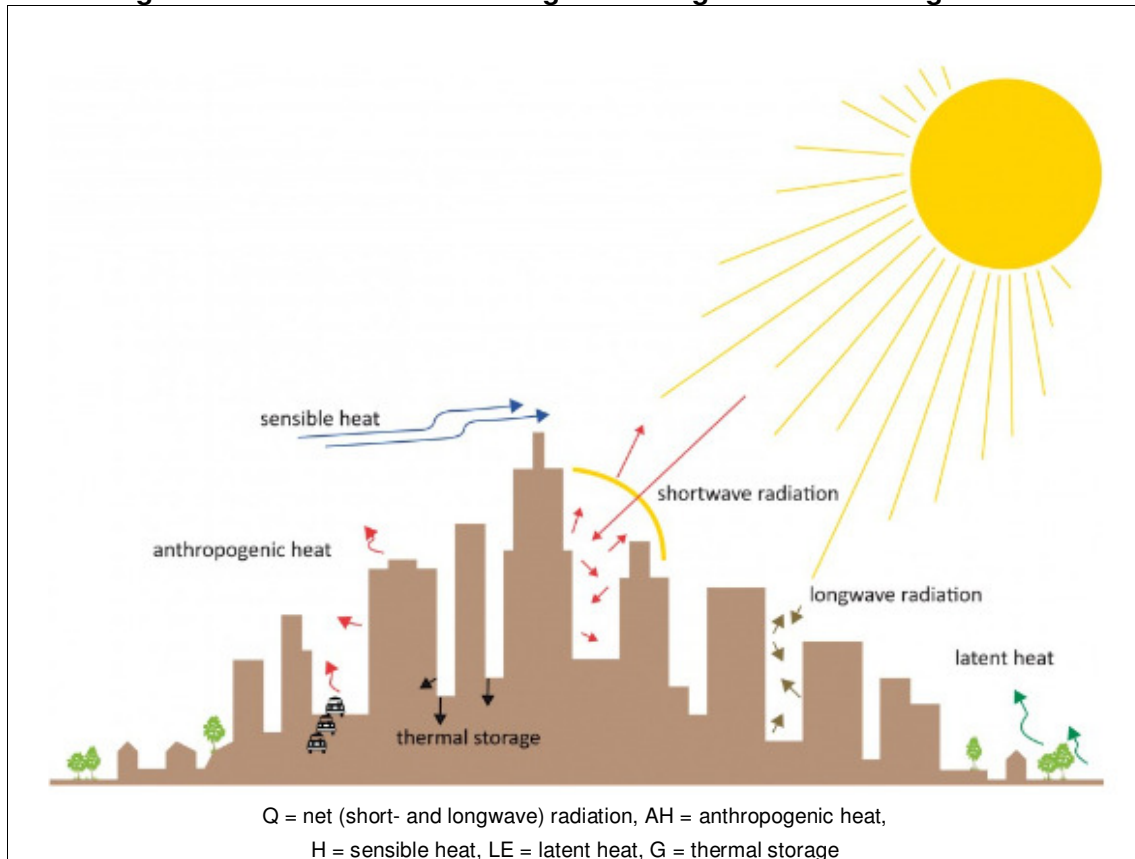
$$Q + AH = H + LE + G$$

Deze balans bestaat aan de ene kant uit de (zonne)straling (Q) en antropogene warmte (AH), samen vormen deze energiestromen de stralingsforcering aan het oppervlak. Dit is de toegevoegde energie aan het systeem. Deze energie wordt aan de andere kant van de balans verdeeld over de voelbare warmte (H), latente warmte (LE) en de opslag (G). De voelbare warmte is de warmte die de mens ervaart. Warmte die gebruikt wordt om een stof een

¹ Black, E., Blackburn, M., Harrison, G., Hoskins, B. & Methven, J. (2004) Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. *Weather* Vol. 59, No. 8.

faseovergang te laten ondergaan, zoals verdamping van water, is de latente warmte. Warmte kan ook tijdelijk worden opgeslagen in gebouwen, wegen en bodemmateriaal.

Afbeelding 2.1. De verschillende stralings- en energietermen overdag in een stad¹



In een stedelijke omgeving verschilt de balans ten opzichte van een rurale omgeving. Zo is er in een stad meer antropogene warmte omdat er meer menselijke activiteiten zijn waar warmte bij vrijkomt (energieverbruik, verkeer, airco's). De lage albedo (minder reflectie) leidt tot minder weerkaatsing van de inkomende zonnestraling. Bovendien zorgen de straatbreedte en gebouwhoogte ervoor dat de teruggekaatste straling interacties aangaat met gebouwen en straten, waardoor de mogelijkheid van gebouwen om straling te absorberen hoog is. Daarnaast is er een beperkte hoeveelheid groen in de stad waardoor de latente warmte lager is in vergelijking met rurale gebieden. De warmte-opslagcapaciteit is daarentegen groter door de hoge bebouwingsdichtheid in de stad. De opslag van warmte in gebouwen wordt gedurende de nacht weer afgegeven. Hierdoor koelen steden 's nachts minder en minder snel af.

Tijdens een hittegolf is er een verhoogde zonnestraling (grotere Q). Om een evenwicht te krijgen in de balans, zullen de voelbare en latente warmte en de opslag dus ook moeten stijgen. Door de beperkte hoeveelheid groen in de stad, zijn de mogelijkheden voor een stijging van de latente warmte beperkt (kleinere LE). Een groot deel van de verhoogde straling zal worden opgeslagen (grotere G) en 's nachts weer worden afgegeven als langgolvi-

¹ Environmental Protection Agency (2008) Reducing Urban Heat Islands - Compendium of Strategies; United States Environmental Protection Agency.

ge straling (grotere Q 's nachts). Hierdoor ontstaan tijdens hittegolven vaak warme avonden en nachten in steden.

Energiebalans tijdens hittegolf in de stad (overdag):

$$Q + AH = H + LE + G$$

2.3. Luchtkwaliteit tijdens hittegolven

De concentraties van de luchtverontreinigende stoffen in de atmosfeer wordt bepaald door (i) transport van stoffen over lange afstanden, (ii) lokale productie en (iii) lokale reductie. In de stedelijke gebieden ligt de concentratie van bepaalde luchtverontreinigende stoffen hoger dan in rurale gebieden door de aanwezigheid van lokale emissiebronnen zoals verkeer en industrie.

Tijdens een hittegolf is de wind doorgaans zwak, waardoor lokaal geproduceerde luchtvervuiling zich ophoopt. Bovendien is de wind vaak oostelijk of zuidoostelijk waardoor aanvoer plaatsvindt van vervuilde lucht uit continentaal Europa¹. De 'verversing' van stedelijke lucht vanuit de omgeving vindt dan dus plaats met relatief minder schone lucht. Tijdens een hittegolf ontstaan daarnaast atmosferische condities waardoor de concentraties van met name ozon (O₃) en fijn stof (PM10 en kleinere fracties) sterk kunnen toenemen.

Ozon

Ozon is in de atmosfeer betrokken bij een complex spel van chemische reacties. Een uitgebreide beschrijving hiervan is te vinden in het rapport Dossier Ozon 2011 van het RIVM². Ozon wordt nagenoeg uitsluitend in de atmosfeer gevormd. Tijdens de zomermaanden zijn de omstandigheden gunstig voor de vorming van ozon als gevolg van veel straling en hoge temperaturen.

Ozon is een stof die over lange afstanden kan worden getransporteerd. Tijdens een hittegolf kan er dus lucht met hoge concentraties ozon worden aangevoerd vanuit continentaal Europa naar Nederland en België. De zwakke wind tijdens een hittegolf zorgt voor ophoping van ozon, daarnaast zorgt de lage vochtigheid voor mindere ozon reductie.

Tijdens een hittegolf is er 39 % kans op overschrijding van de 120 µg/m³ (microgram per kubieke meter) limiet voor ozon in een stad, jaargemiddeld is deze kans maar 2 %³. Bovendien is de kans op overschrijding van de limiet hoger aan het eind van een langdurige hittegolf. De ozonconcentratie is in rurale gebieden, op dagen met een temperaturen boven de 20 °C, 1-2 % hoger dan in stedelijke gebieden³.

Fijn stof

Fijn stof is een verzameling van stofdeeltjes van zeer uiteenlopende samenstelling en herkomst. De deeltjes kunnen van natuurlijk afkomst zijn, zoals pollen, maar worden ook door antropogene bronnen uitgestoten, bijvoorbeeld roetdeeltjes. Fijn stof verschilt in grootte en

¹ Black, E., Blackburn, M., Harrison, G., Hoskins, B. & Methven, J. (2004) Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. *Weather* Vol. 59, No. 8.

² RIVM, Dossier Ozon 2011. Een overzicht van de huidige stand van kennis over ozon op leefniveau in Nederland, juni 2011.

³ Roemer, M., L. Klok, en S. Janssen (2011) Gaat hitte gepaard met slechtere luchtkwaliteit: onderzoek naar oversterfte tijdens hittegolven; *Milieu* 17: 1.

wordt daarom geclassificeerd in PM10 (maximale diameter 10 µm), PM2.5 (maximale diameter 2.5 µm) en ultrafijn stof (maximale diameter 0,1 µm). De deeltjes die klein genoeg zijn om ingeademd te kunnen worden, zijn schadelijk zijn voor de gezondheid. Uit onderzoek blijkt dat de (ultra)fijn stofdeeltjes uitgestoten door verbrandingsprocessen zoals verkeer, industrie en houtstook schadelijker zijn dan natuurlijk fijn stof¹.

Tijdens een hittegolf stijgt de concentratie van PM10 doordat er weinig wind is en een minimale verticale dispersie. Hierdoor hoopt de concentratie PM10 zich op rond lokale bronnen. Daarnaast zorgt de sterke zonnestraling voor verhoogde formatie van ultrafijn stof¹. Dit kan weer leiden tot verhoogde concentraties PM10 door samenklontering van deze stofdeeltjes. Door de droogte en het uitblijven van regen zal de concentratie fijn stof in de lucht niet snel afnemen. Net als ozon wordt tijdens een hittegolf ook fijn stof in hoge concentraties vanuit oost en zuidoostelijke richting (Ruhrgebied) aangevoerd naar Nederland en België.

Op dagen met een temperatuur boven de 25°C ligt de daggemiddelde PM10 concentratie ongeveer 3-4 µg/m³ (10 %) hoger in steden dan in rurale gebieden². Jaargemiddeld is de kans op concentraties hoger dan 50 µg/m³ in steden 9 %, tijdens een hittegolf stijgt dit percentage naar 25 %². Net als bij ozon is ook bij PM10 de kans op overschrijding van de 50 µg/m³ grens hoger aan het eind van een langdurige hittegolf.

2.4. Klimaatverandering

Het klimaat kent een hoge mate van variabiliteit. Wetenschappelijk is aangetoond dat de mens invloed uitoefent op het klimaat door middel van emissie van broeikasgassen en verandering van landgebruik. Op dit moment wijst nog niets erop dat de antropogene invloed kleiner wordt dan voorgaande jaren. Door de traagheid van het klimaatsysteem heeft de antropogene invloed die tot nu toe is uitgeoefend, gevolgen voor het klimaat voor de komende eeuw³. Economische scenario's (IPCC, CPB, PBL) houden rekening met een nog verder toenemende uitstoot van broeikasgassen door menselijke activiteiten.

Het KNMI heeft in 2006 klimaatscenario's gepubliceerd (en in mei 2014 geactualiseerd) waarbij de toekomstige invloed van de mens zich zodanig ontwikkelt dat een gemiddelde mondiale temperatuurstijging in 2050, ten opzichte van 1981-2010, wordt verwacht van 1°C (G scenario) en 2°C (W scenario)^{4 5}. De daadwerkelijke temperatuurstijging is afhankelijk van (mondiale) economische en technologische ontwikkelingen. Vanwege de onzekerheid in de feedbackmechanismen in het klimaatsysteem zijn van de scenario's varianten gemaakt waarbij sprake is van veranderde luchtstromingspatronen over West Europa (respectievelijk het G+ en W+ scenario).

Bij een toekomstig warmer klimaat zullen perioden met zomerse en tropische dagen meer frequent en gedurende een langere tijd voorkomen. Zo blijkt uit waarnemingen van meet-

¹ Wehner, B.; Wiedensohler, A. (2003) Long-term measurements of submicrometer urban aerosols: statistical analysis for correlations with meteorological conditions and trace gases. *Atmos. Chem. Phys.* 3, 867–879.

² Roemer, M., L. Klok, en S. Janssen (2011) Gaat hitte gepaard met slechtere luchtkwaliteit: onderzoek naar oversterfte tijdens hittegolven; *Milieu* 17: 1.

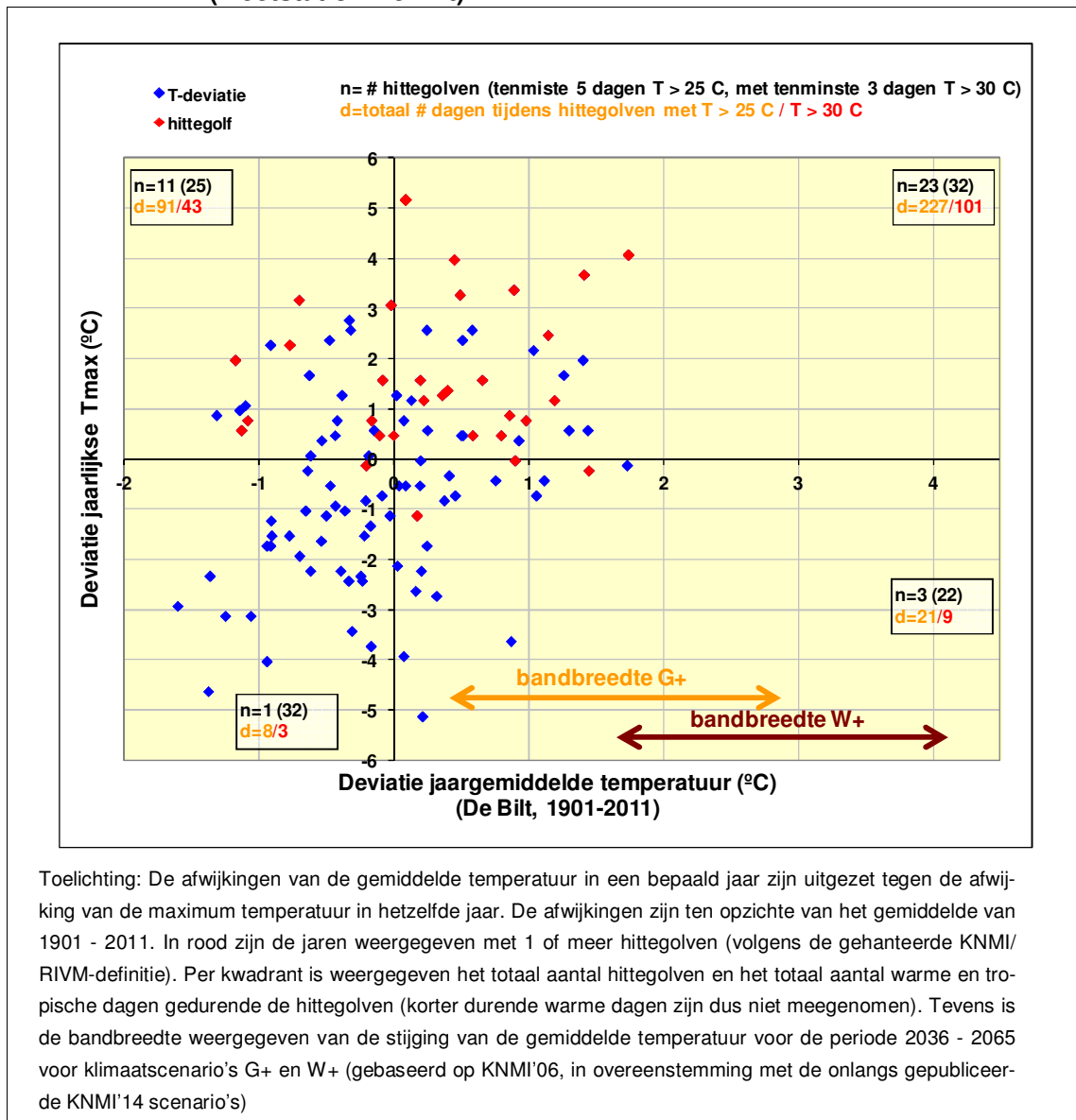
³ Dit is het hypothetische nul-scenario; stel dat wij vanaf nu geen invloed meer zouden uitoefenen, is het mondiale klimaatsysteem al aangeslagen en verandert de komende eeuw.

⁴ KNMI'14; klimaatscenario's voor Nederland, leidraad voor professionals (2014) KNMI.

⁵ KNMI, 2014: Climate Change scenarios for the 21st Century - A Netherlands perspective. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands. www.klimaatsscenarios.nl.

station De Bilt van de afgelopen eeuw dat in de jaren met een hogere jaargemiddelde temperatuur, hittegolven veel vaker voorkwamen (afbeelding 2.2). Dit lijkt misschien voor de hand liggend, maar de afbeelding suggereert hiermee een verdere toename in het aantal hittegolven in de aankomende jaren wanneer de opwarming van de aarde doorzet.

Afbeelding 2.2. Analyse van 110 jaar temperatuurwaarnemingen en hittegolven (Meetstation De Bilt)



Naast de hogere temperaturen zal de klimaatverandering ook invloed hebben op de luchtverontreiniging. De luchtkwaliteit op leefniveau wordt sterk beïnvloed door weersomstandigheden. De productie en reductie van concentraties luchtverontreiniging is afhankelijk van de temperatuur, lokale windsnelheid en windrichting, zoals beschreven in paragraaf 2.3.

2.5. Gezondheidseffecten

Zoals beschreven in de inleiding hebben de hittegolven in 2003 en 2006 geleid tot een hoop extra sterfgevallen. Epidemiologisch onderzoek laat zien dat de dagelijkse mortaliteit in Europa tijdens hittegolven kan stijgen met meer dan 30 %¹. Hiervan is een belangrijk deel gerelateerd aan hitte maar ook aan luchtverontreiniging.

Hitte

Het warmte-regulerende systeem in de mens bepaalt de mate waarin men hinder ondervindt van temperatuur. Op het moment dat de (koude of warme) temperatuurlimiet van dit systeem wordt overschreden zal dit invloed hebben op de gezondheid van de mens. Limieten van het warmte-regulerende systeem verschillen per individu, bovendien past het systeem zich aan, aan de temperatuur in de leefomgeving. Hierdoor ervaren mensen uit zuidelijke (mediterrane) regionen hitte en kou anders dan Noordwest Europeanen.

In algemene zin geldt dat de relatie tussen omgevingstemperatuur en mortaliteit U-vormig is, zoals weergegeven in afbeelding 2.3. Dat houdt in dat er een optimale temperatuur is met naar verhouding de laagste sterftcijfers, en dat iedere afwijking naar boven of onder correspondeert met een hogere sterfte. De optimale temperatuur, met naar verhouding de laagste sterfte, verschilt per populatie. In Nederland is het ongeveer 16,5 °C², in Finland circa 14°C³, in Mediterrane landen rond 22-25 °C⁴. Hierbij wordt opgemerkt dat het in afbeelding 2.3 gaat om alle sterfgevallen, dus zowel hitte als luchtverontreiniging (als andere oorzaken).

De duur van blootstelling aan hoge temperaturen is ook van invloed op het warmte-regulerende systeem. Een gezond lichaam kan prima herstellen van korte blootstelling aan ernstige hitte, maar een langdurige blootstelling heeft een veel groter effect op comfort en gezondheid. In afbeelding 2.4 is de relatie tussen hitte en verschillende gezondheidseffecten schematisch weergegeven.

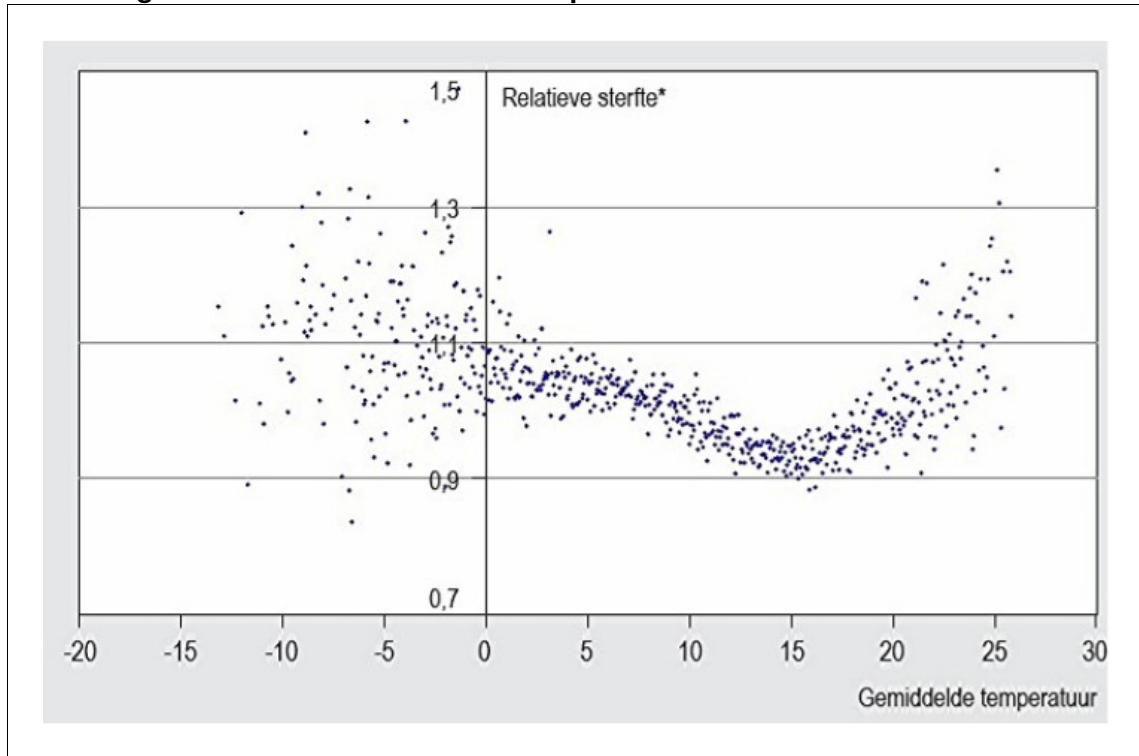
¹ D'Ippoliti, D. en anderen (2010) The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project; Environmental Health 9:37.

² Huynen et al, 2001, The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population, Environmental Health Perspectives • VOLUME 109 | NUMBER 5 | May 2001.

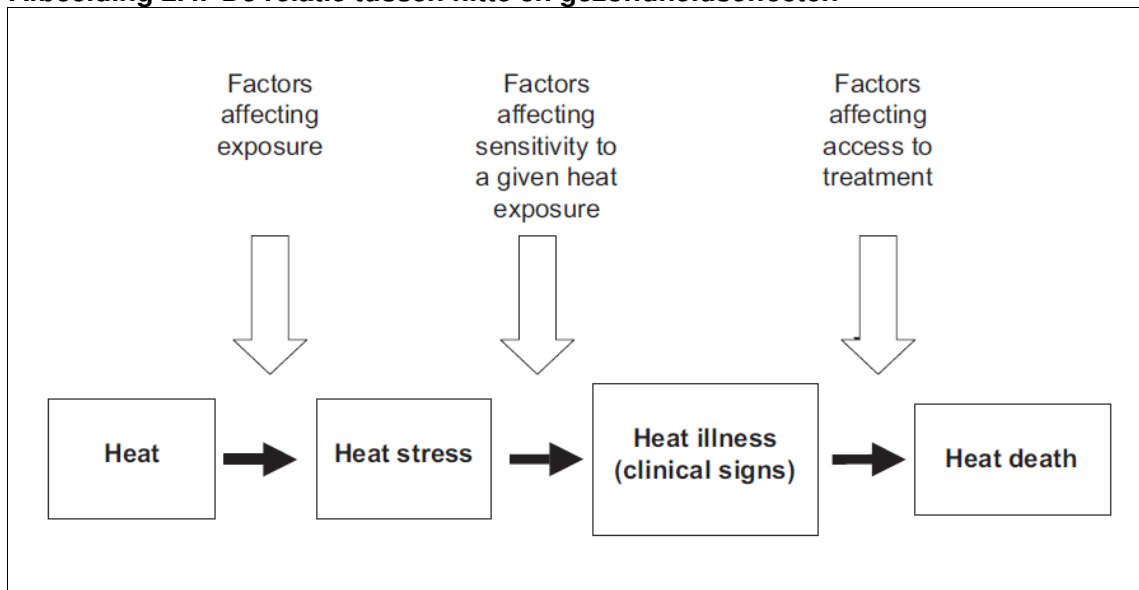
³ Näyhä, S.; (2005) Environmental temperature and mortality; Int J Circumpolar Health 64(5): 451-458.

⁴ Donaldson, G.C., Ermakov, S.P., Komarov, Y.M., McDonald, C.P., Keatinge, W.R. (1998) Cold related mortalities and protection against cold in Yakutsk, eastern Siberia: observation and interview study. BMJ; 317: 978-982.

Afbeelding 2.3. De relatie tussen luchttemperatuur en mortaliteit¹



Afbeelding 2.4. De relatie tussen hitte en gezondheidseffecten²



Luchtverontreiniging

Onderzoek naar de relatie tussen luchtverontreiniging en gezondheidseffecten gedurende de hittegolf van 2003 in Engeland laat zien dat 20-40 % van de extra mortaliteit in deze pe-

¹ Huynen et al, 2001, The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population, Environmental Health Perspectives • VOLUME 109 | NUMBER 5 | May 2001.

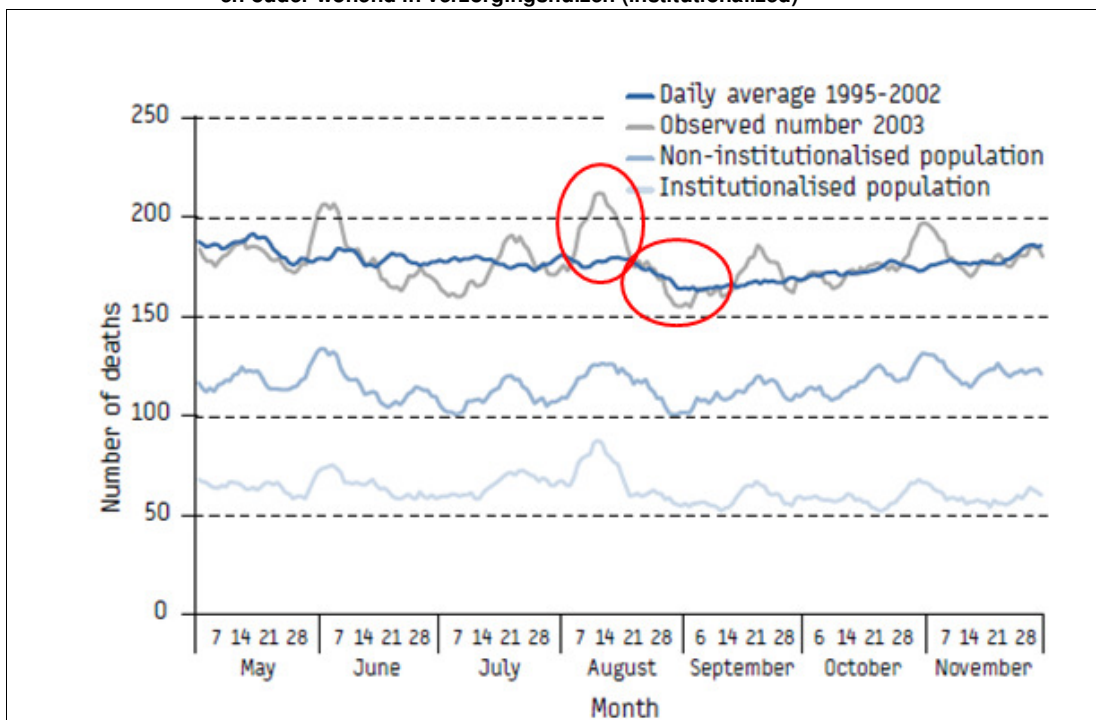
² Kovats, R. S., & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: a critical review. Annu. Rev. Public Health, 29, 41-55.

riode is veroorzaakt door luchtverontreiniging¹. Onderzoek naar de sterfte tijdens diezelfde hittegolf in Nederland geeft overeenkomstige resultaten. Een groot deel van de gezondheidseffecten tijdens hittegolven wordt dus veroorzaakt door luchtverontreiniging.

Box 2.1 Het 'oogst-effect'

Tijdens een hittegolf kan een voorwaartse verschuiving in mortaliteit optreden, ook wel het 'oogst-effect' genoemd. Mocht dit effect optreden, dan zullen zwakkeren een paar dagen eerder dood gaan dan 'gepland'. Zo'n periode zal na afloop worden gekenmerkt door een daling van de dagelijkse mortaliteit. Dit 'oogst-effect' verklaart niet alle extra mortaliteit tijdens een hittegolf. Zo blijkt uit afbeelding 2.5 dat in Nederland tijdens de hittegolf in 2003 (31 juli-13 aug) het oogst-effect optreedt omdat de dagelijkse mortaliteit (observed number 2003) van 80-jarige en ouder, tijdens de hittegolf hoger is dan de gemiddelde dagelijkse mortaliteit (daily average 1995-2002) en na afloop van de hittegolf juist lager. Echter blijkt ook dat de daling van dagelijkse mortaliteit na afloop van de hittegolf, niet volledig de hittegolferelateerde mortaliteit compenseert².

Afbeelding 2.5. Het geobserveerde en verwachte aantal doden van 80 jaar en ouder, in Nederland tussen mei en november 2003. De onderste curve geeft het aantal doden weer van 80 jaar en ouder wonend in verzorgingshuizen (institutionalized)²



2.6. Stedelijke adaptatie

Het UHI en de concentraties luchtverontreiniging kunnen van wijk tot wijk substantieel verschillen. Belangrijke factoren zijn onder meer de aanwezigheid van groen, water, oriëntatie en dimensionering van gebouwen (schaduw en wind), gevelstructuur, emissie van lucht-

¹ Stedman, J.R.(2004) The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heat-wave. Atmospheric Environment 38; 1087-1090.

² Garssen, J., C. Harmsen, en J. de Beer (2005) The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. Euro Surveill; 10(7): 165-8.

verontreinigende stoffen en mate van het verhardingsoppervlak. Daarnaast kunnen lokaal versterkende effecten optreden, bijvoorbeeld doordat de koeling van gebouwen met airco's leidt tot extra warmteafgifte. De omgeving en geografische ligging van de stad of wijk zijn van belang voor de aanvoer van koele of warme, en schone of verontreinigde lucht en kan dus verzachtend of versterkend werken. Zo is er in een stad aan zee zoals Den Haag vaak sprake van een verkoelende zeewind. Dit in tegenstelling tot in het binnenland gelegen steden, waar de temperatuur in warme perioden vaak hoger oploopt en waar een verkoelend element als zeewind ontbreekt.

Aandacht voor hitteproblematiek in steden

Door de verwachte toename in intensiteit, duur en aantal hittegolven¹ en doordat er steeds meer mensen in steden wonen, stijgt het risico voor de volksgezondheid. Echter zijn in een stad de economische belangen groot en divers, en is het nemen van maatregelen beperkt qua inpasbaarheid, financiële haalbaarheid en procedures.

De laatste jaren is de aandacht voor de gevolgen van klimaatverandering op het (stedelijk) woon- en leefmilieu gestegen. Steden lopen echter nog niet zo warm bij het nemen van maatregelen tegen hitte in de stad. Er is een groot contrast tussen het gevoel van urgentie bij stakeholders in de ruimtelijke planvorming en de wetenschappelijke kennis die daarover beschikbaar is. Klimaatadaptatie moet eerst maar eens een positief resultaat geven in de kosten-batenanalyse. Lastig hierbij is dat de problematiek bij hittegolven uitsluitend op macro-niveau zichtbaar is (de landelijke statistieken), terwijl de oplossing uitsluitend op micro-niveau te behalen is (in de wijk). Dus, op microniveau zijn de kosten wel inzichtelijk, maar de baten niet.

De stedelijke gebieden zullen in de nabije toekomst deels bestaan uit wat er nu al staat en deels uit wat er tot die tijd nieuw wordt gebouwd en herontwikkeld. Zonder in de planvorming voor te sorteren op deze ontwikkeling kan het hitte-eilandeffect niet effectief worden betrokken bij het proces van de *Climate Proofing* van steden. Met als gevolg blijvende en onnodig hoge risico's op mortaliteit en andere gezondheidseffecten in onze grootstedelijke woongebieden.

Met het oog op klimaatverandering zijn adaptieve maatregelen noodzakelijk om een prettig en veilig leefklimaat in de stad te behouden, maar deze worden nog maar beperkt toegepast. Om te bepalen welke maatregelen effectief zijn in een specifieke wijk moet duidelijk zijn:

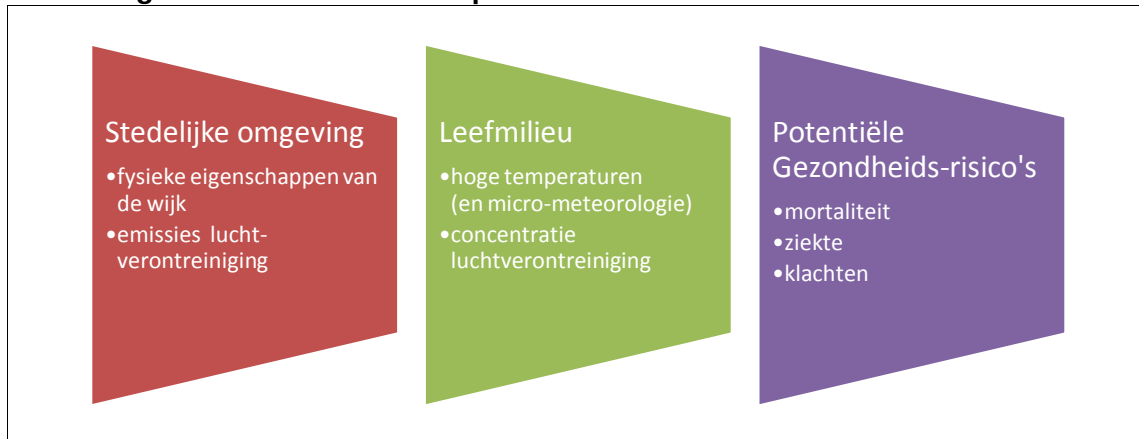
- wat de oorzaken zijn van het hitte-eiland effect en de waargenomen concentraties luchtverontreiniging in een bepaalde wijk tijdens een hittegolf;
- welke (gezondheids)effecten er optreden door de verhoogde temperatuur en concentraties luchtverontreiniging en in hoeverre er sprake is van een onacceptabele situatie;
- wat hieraan kan worden gedaan.

¹ Meehl, G.A. & Tebaldi, C. (2004) More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305:994-997.

3. KWANTIFICERING VAN EFFECTEN OP HET LEEFMILIEU

Voor de beoordeling van effecten op de leefomgeving tijdens een hittegolf is het noodzakelijk de effectenketen te kunnen kwantificeren. Het gaat hierbij om een getrapte oorzaak-gevolgrelatie zoals schematisch weergegeven in afbeelding 3.1.

Afbeelding 3.1. Effectenketen hitteproblematiek



In hoofdstuk 3 wordt de invloed van de stedelijke omgeving op het leefmilieu beschreven. Het kwantificeren van deze 1e stap is noodzakelijk om te beschrijven hoe groot deze invloed is, hoe deze verschilt per wijk, welke inrichtingsmaatregelen genomen kunnen worden en hoe groot het effect van deze maatregelen kunnen zijn. Het gaat hier dus om een situatiespecifieke kwantificering van effecten.

In hoofdstuk 4 wordt de 2e stap behandeld: De invloed die het leefmilieu heeft op de gezondheid.

3.1. Kwantificering van de effecten van hitte

Werkwijze

Binnen het UCAM-project is door WUR een modelstudie uitgevoerd met het WRF¹ mesoschaalmodel² naar het stedelijkwarmte-eiland effect (UHI). In deze modelstudie³ zijn berekeningen uitgevoerd voor verschillende bebouwingstypes en parameterwaarden die daarin kunnen worden gevarieerd. De rapportage van de studie is opgenomen als separate bijlage. Hierbij zijn de verschillende wijktypen gemodelleerd onder weersomstandigheden die overeenkomen met de hittegolf die Nederland en België trof in juli 2006. De resultaten hiervan zijn verwerkt in een snelle, in de praktijk toepasbare rekenmethode, en bieden daarmee de basis voor de hitteanalyse voor een specifieke wijk. Deze rekenmethode is als tool ontwikkeld en toegevoegd in bijlage 1.

Het door de WUR uitgevoerde onderzoek heeft tot doel het WRF-model te valideren voor een warme zomerperiode in Nederland, en het urban heat island effect hiermee te kwantificeren. Dit is gedaan aan de hand van een aantal 'standaardwijken' die zijn voorgesteld in

¹ WRF-model: Weather Research and Forecasting model.

² Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X. Y. Huang, W. Wang, W.G. Powers (2008), A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR technical note; Boulder, USA.

³ 'WRF kolommodel-simulaties van het warmte-eiland effect in Nederland' Gert-Jan Steeneveld, Sytse Koopmans (WUR).

de literatuur. Daarna zijn per standaardwijk maatregelen doorgerekend op aanpassingen van stedelijke en morfologische eigenschappen, als de hoeveelheid groene vegetatie, antropogene warmtestroom, albedo en emissiviteit van gebouwen. Op basis van expert judgement is aangegeven wat de rol van water in de stad op het UHI is. De validatie van het model is gedaan op basis van weermetingen van Cabauw, welke modelresultaten tevens zijn gebruikt als platteland situatie (referentie waar voor geldt UHI=0°C).

Uitgangspunten

Voor de kwantificering van de invloed van stedelijke eigenschappen op de stedelijke temperatuur wordt gebruik gemaakt van het Local Climate Zone (LCZ) classificatiesysteem van Stewart en Oke (2012)¹. Voor verschillende LCZ's kan met behulp van geavanceerde modellering de extra opwarming in de wijk ten opzichte van ruraal gebied² worden berekend, op basis van wijkkenmerken. De invloed van maatregelen op eigenschappen van de stedelijke omgeving in een LCZ zijn door middel van dit systeem dus door te rekenen naar veranderingen in temperatuur. Uit het onderzoek blijkt dat de modellering doelmatiger is bij een lager aantal wijktypen met meer parameters, dan andersom. Om de invloed van stedelijke eigenschappen op de temperatuur te kwantificeren, zijn daarom een vijftal standaard wijken geselecteerd en geavanceerd gemodelleerd. Deze 5 wijktypen dekken praktisch alle wijktype in Nederland.

De 5 wijktypen zijn LCZ2, LCZ3, LCZ5, LCZ6 en LCZcontrol. Deze wijken verschillen qua structuur en morfologie. Afbeelding 3.2 geeft 4 van deze wijken weer. Het vijfde type, LCZ-control is een tussenmaat tussen LCZ2 en LCZ3. Per LCZ zijn een aantal aannames gemaakt met betrekking tot de (morfologische) eigenschappen. De aannames en de toegekende waarden zijn beschreven in het separate bijlagenrapport³. Ten behoeve van de kwantificering zijn voor de 5 veel voorkomende wijktypen 20 wijkparameters met ieder minimaal 8 waarden doorgerekend met het geavanceerde WRF-model. In totaal zijn er meer dan 1.000 verschillende configuraties doorgerekend op hittegevoeligheid.

De simulaties zijn uitgevoerd voor de hittegolfsituatie in Nederland van juli 2006. De weersomstandigheden van deze periode zijn in het WRF-model ingevoerd (model configuratie). Verder is rekening gehouden met een beperkte omvang van het stedelijk gebied waarvoor de UHI wordt berekend. Dit is van belang om een realistische (voor Nederland representatieve) invloed vanuit de buitenstedelijke omgeving mee te nemen.

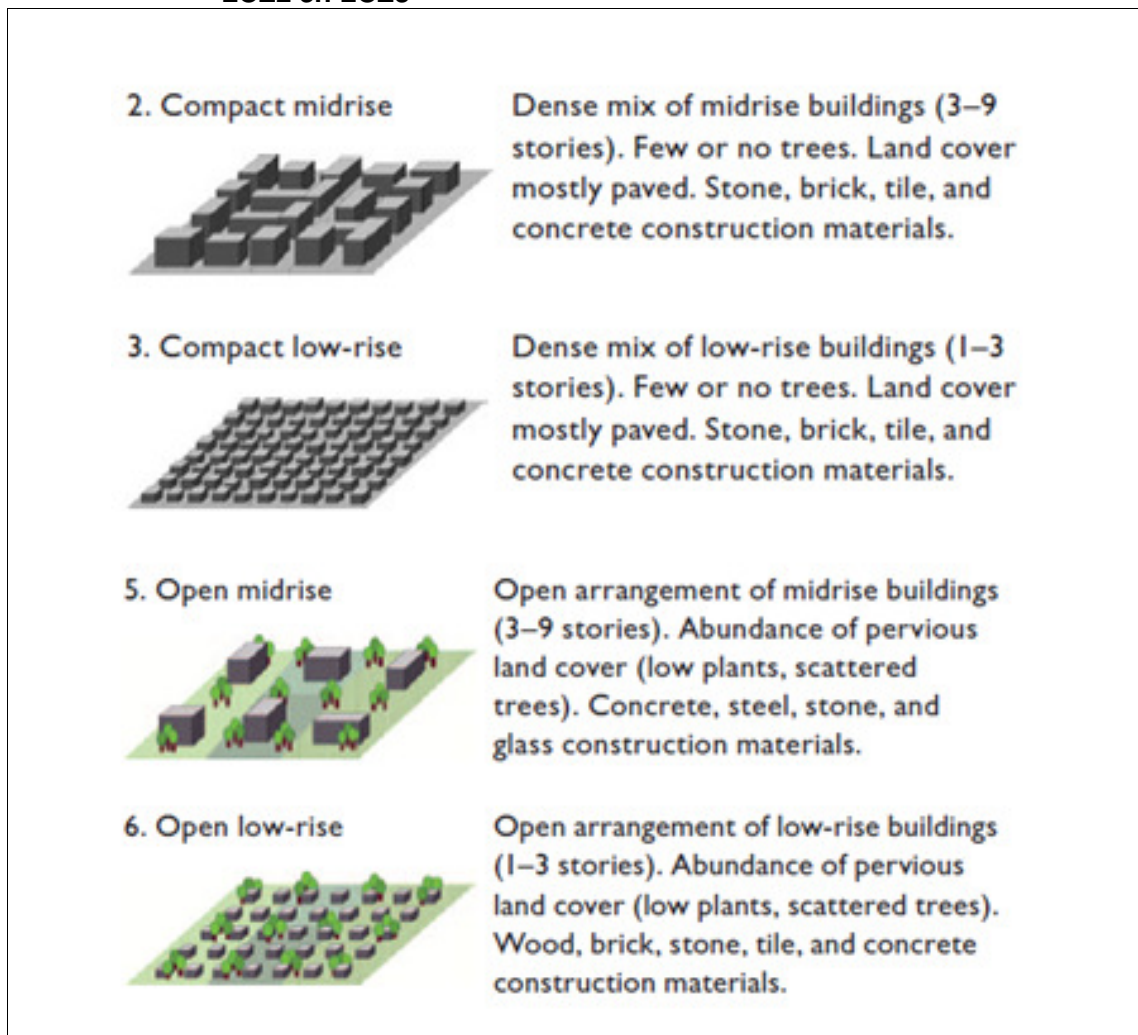
Van belang is dat het WRF-model de energiebalans in stedelijke omgeving, zoals beschreven in paragraaf 2.2, goed simuleert. De validatie kan echter uitsluitend plaatsvinden met metingen, waarvoor de buitenstedelijke weermetingen in Cabauw geschikt zijn. In het algemeen is de modeluitvoer voor het platteland van voldoende kwaliteit om te dienen als referentie voor het gemodelleerde UHI.

¹ Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900.

² Dit wordt het stedelijke hitte eiland effect genoemd, ook wel Urban Heat Island (UHI).

³ Een uitgebreide beschrijving hiervan is opgenomen in het rapport 'WRF kolommodel-simulaties van het warmte-eiland effect in Nederland' Gert-Jan Steeneveld, Sytse Koopmans (WUR).

Afbeelding 3.2. De verschillende local climate zones. LCZcontrol is samengesteld uit LCZ2 en LCZ3



Resultaten

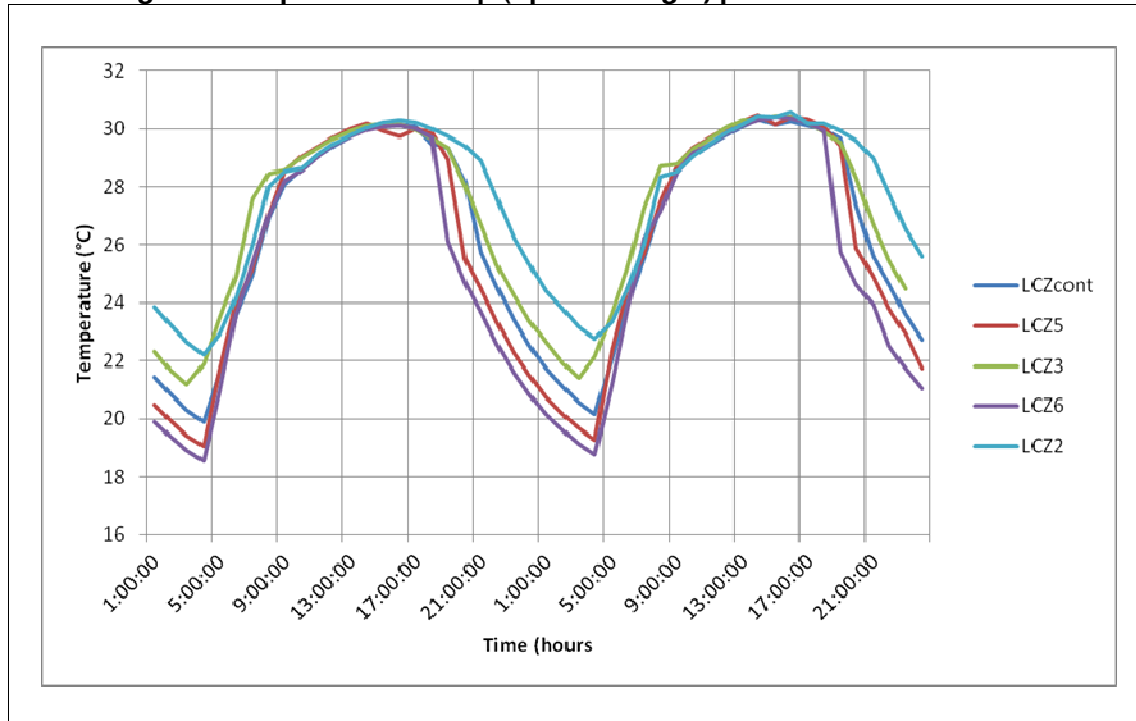
De modelsimulaties zijn uitgevoerd voor 5 hittegolfdagen, waarvan de eerste 3 dagen dienen als 'opstartperiode' en alleen de laatste 2 dagen gebruikt zijn voor verdere analyses. Afbeelding 3.3 geeft de gemodelleerde temperatuur weer voor de verschillende LCZ's (standaardconfiguraties).

Het valt op dat de onderlinge temperatuurverschillen overdag (tussen 09.00 en 18.00 uur) erg klein zijn. Dit is het gevolg van de turbulente menging die plaatsvindt binnen de atmosferische grenslaag (de onderste 1-2 km van de atmosfeer). De temperatuurverschillen zijn kleiner dan 1 °C, hetgeen overeenkomt met waarnemingen¹. De grootste verschillen treden 's avonds en 's nachts op tussen 18.00 en 05.00 uur. Dit is het gevolg van de opgeslagen warmte in de bebouwing, welke verschillend uitpakt voor de verschillende LCZs. De maximale onderlinge temperatuurverschillen bedragen circa 6 °C.

¹ Heusinkveld, B. G., G. J. Steeneveld, L. W. A. van Hove, C. M. J. Jacobs, and A. A. M. Holtslag (2014), Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 677-692, doi:10.1002/2012JD019399.

De grootste temperatuurwinst kan met maatregelen geboekt worden tijdens de avond- en nachturen. Overdag is de luchttemperatuur echter lastig te beïnvloeden. Met maatregelen kunnen wel schaduwrijke plekken worden gecreëerd waardoor overmatige blootstelling aan zonnestraling wordt verminderd.

Afbeelding 3.3. Temperatuurverloop (op 2 m hoogte) per LCZ



Maatregelen

De gemodelleerde Local Climate Zones zijn systematisch onderzocht op de gevoeligheid van de verschillende wijkparameters. Hiermee is inzichtelijk gemaakt hoe de UHI in een specifieke wijk gevoelig is voor veranderingen van de wijkparameters. De volgende wijkparameters zijn hierbij onderzocht:

- gebouwhoogte en straatbreedte (H/W-ratio);
- dak-, gevel-, en wegmateriaaltype:
 - albedo;
 - geleidingscoëfficiënt;
 - emissiviteit (vermogen om warmtestraling uit te zenden);
- groenfactor (percentage groen oppervlak);
- waterfactor (percentage blauw oppervlak);
- antropogene warmte.

De invloed van de wijkparameters op het temperatuurverloop is onderling erg verschillend en vertoont vaak een niet-lineair verband bij variërende parameterwaarden. Enkele resultaten zijn weergegeven in afbeelding 3.4.

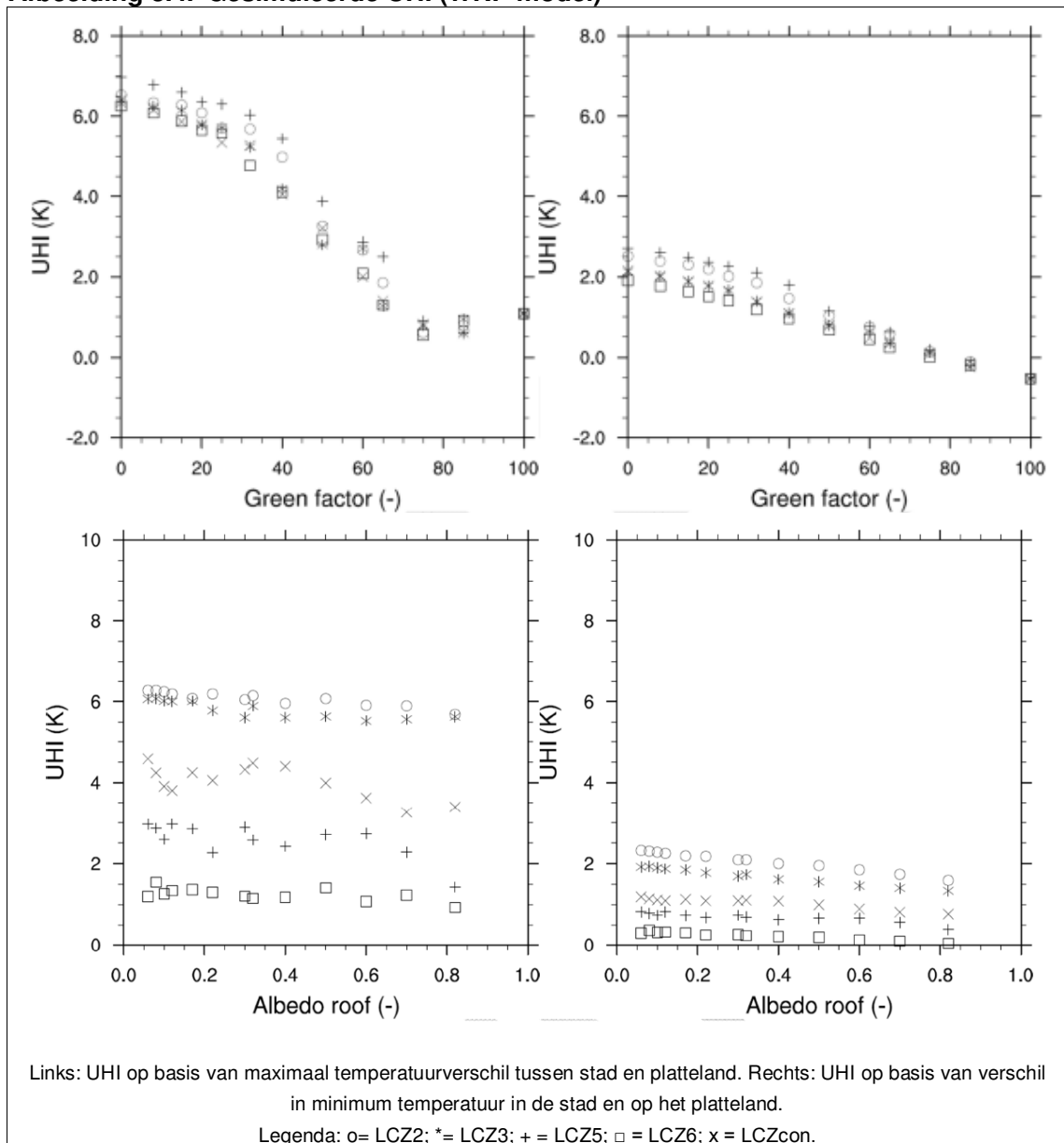
Afbeelding 3.4 geeft het effect van groen op de temperatuur weer. Belangrijk om op te merken is dat in de modellering het groene oppervlak volledig bestaat uit gras. De berekende verkoelende werking is dus uitsluitend het gevolg van de verdamping door het gras. De specifieke invloed van bomen is lastiger te modelleren (hetgeen aanbevolen wordt om nader te onderzoeken), maar is zeer waarschijnlijk groter vanwege schaduwwerking en mogelijk ook door een groter effectief verdampend (blad)oppervlak. Dit betekent dat de ge-

rapporteerde waarden de minimaal haalbare waarden zijn, mits er voldoende water beschikbaar is voor het groen.

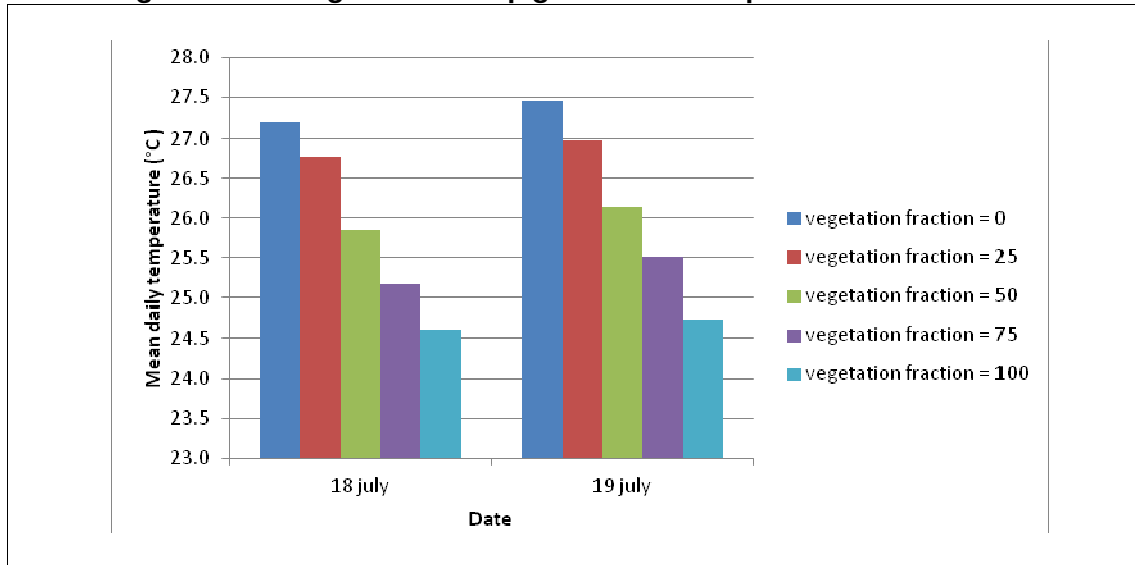
De invloed van het dak-albedo (onderaan in afbeelding 3.4) blijkt beperkt. Een dak met laag albedo (zwart dak) resulteert in een beperkt warmere temperatuur ten opzichte van een dak met hoog albedo (wit dak).

De invloed van de fractie groen komt als meest invloedrijke factor naar voren. De invloed van groen op de etmaalgemiddelde temperatuur in een wijk is weergegeven in afbeelding 3.5. De UCAM-methode is daarom vooralsnog uitsluitend gericht op deze invloed. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of de combinatie van verschillende wijkparameters met beperkte invloed, gezamenlijk wel degelijk een noemenswaardig verschil kunnen maken.

Afbeelding 3.4. Gesimuleerde UHI (WRF-model)



Afbeelding 3.5. Invloed groenfactor op gemiddelde temperatuur in LCZ3



Water in de stad

Met name in de westelijke delen van Nederland speelt water in steden een relatief belangrijke rol. De huidige WRF modelinfrastructuur voorziet niet in de mogelijkheid om een gevoeligheidsstudie te doen naar de rol van water in de stad. Op basis van waarnemingen en meer academische WRF modelsimulaties is wel een eerste inschatting gemaakt.

Waarnemingen gedurende een warme zomerperiode in Rotterdam op een locatie in het stadscentrum en in de Rijnhaven laten zien dat de luchttemperatuur 's nachts op beide locaties zeer nauw verbonden zijn. Zowel de absolute waarde als de snelheid van afkoeling zijn in de avond bijna identiek. De hoge warmtecapaciteit van waterlichamen zorgen ervoor dat 's nachts de afkoeling in de stad geremd wordt, en het UHI dus relatief hoog blijft, met name in het tweede deel van de zomer (en het begin van de herfst)¹.

Op basis van expertkennis uit waarnemingen in Nederland wordt geconcludeerd dat water in de stad overdag verkoelend werkt, maar dat een substantieel deel van de verbetering van het thermisch comfort door koeling teniet wordt gedaan door de hogere luchtvochtigheid. In de late zomer wordt het UHI juist versterkt².

Een kwantificering van de invloed van water is nog niet mogelijk. Hiervoor is nader onderzoek nodig. Gelet op de tweezijdige invloed, deels positief en deels negatief, is de inschatting dat het niet meenemen van (beperkte) percentages wateroppervlak in de hitteanalyse in een wijk neutraal uitpakt. In situaties met relatief grote percentages water is dit echter nog niet vast te stellen.

¹ Steeneveld, G.J., S. Koopmans, B.G. Heusinkveld, and N.E. Theeuwes, 2014: Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect, *Landscape and Urban Planning*, in press, doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.09.001.

² Theeuwes, N.E., A. Solcerova, G.J. Steeneveld, 2013: Modeling the influence of open water surfaces on summertime temperatures and thermal comfort in the city, *J. Geophys. Res.* 118, 8881-8896.

3.2. Kwantificering van concentraties luchtverontreiniging

Uit onderzoek blijkt dat met name de concentraties PM10 en ozon tijdens hittegolven aanzienlijk toenemen en leiden tot extra gezondheidseffecten¹. Om de risico's van deze componenten tijdens hittegolven te bepalen is het dus van belang om de concentraties te kunnen kwantificeren.

De concentratie luchtverontreinigende stoffen op een locatie is afhankelijk van transport over grote afstand, lokale emissie en lokale reductie. Door dynamische verschillen tussen deze 3 componenten, veranderen de concentraties continu. Het is daardoor niet mogelijk om de exacte concentraties op een bepaalde locatie tijdens een hittegolf te modelleren.

Om toch een indicatie te krijgen in de concentraties die voor kunnen komen tijdens een hittegolf zijn transformatieprocessen bepaald. Deze worden behandeld in de volgende paragrafen.

3.2.1. Kwantificering van ozon

Binnen het UCAM-project is nader onderzocht wat de relatie is tussen luchtvervuiling in de stad en de meteorologische variabelen en klimaatverandering². Het transformatieproces van ozon is gebaseerd op het in afbeelding 3.6 weergegeven model dat ontwikkeld is door het KNMI. De lineaire relatie boven 290 °K (17°C) is bij benadering 12 µg/m³ per 1°C. De basisconcentratie is gekijkt op een temperatuur van 297,6°K (24,6°C). Op 290°K (17°C) is de ozonconcentratie circa 70 µg/m³ ozon (maximum uurgemiddelde per dag). De temperatuurstijging naar 297,6°K (24,6°C) zorgt voor een toename van 91,2 µg/m³ ozon ((24,6-17)*12). Dus de totale ozonconcentratie is 70+91,2 = 161,2 µg/m³ ozon (maximum uurgemiddelde per dag).

Omdat de ozonconcentratie gedomineerd wordt door grootschalige fotochemische processen, is voor de modellering van ozon geen onderscheid gemaakt tussen LCZ's. Hierbij wordt opgemerkt dat de ozonconcentratie in steden doorgaans iets lager is dan in rurale gebieden, maar dit hangt af van zeer complexe chemische processen van ozonproductie en -reductie.

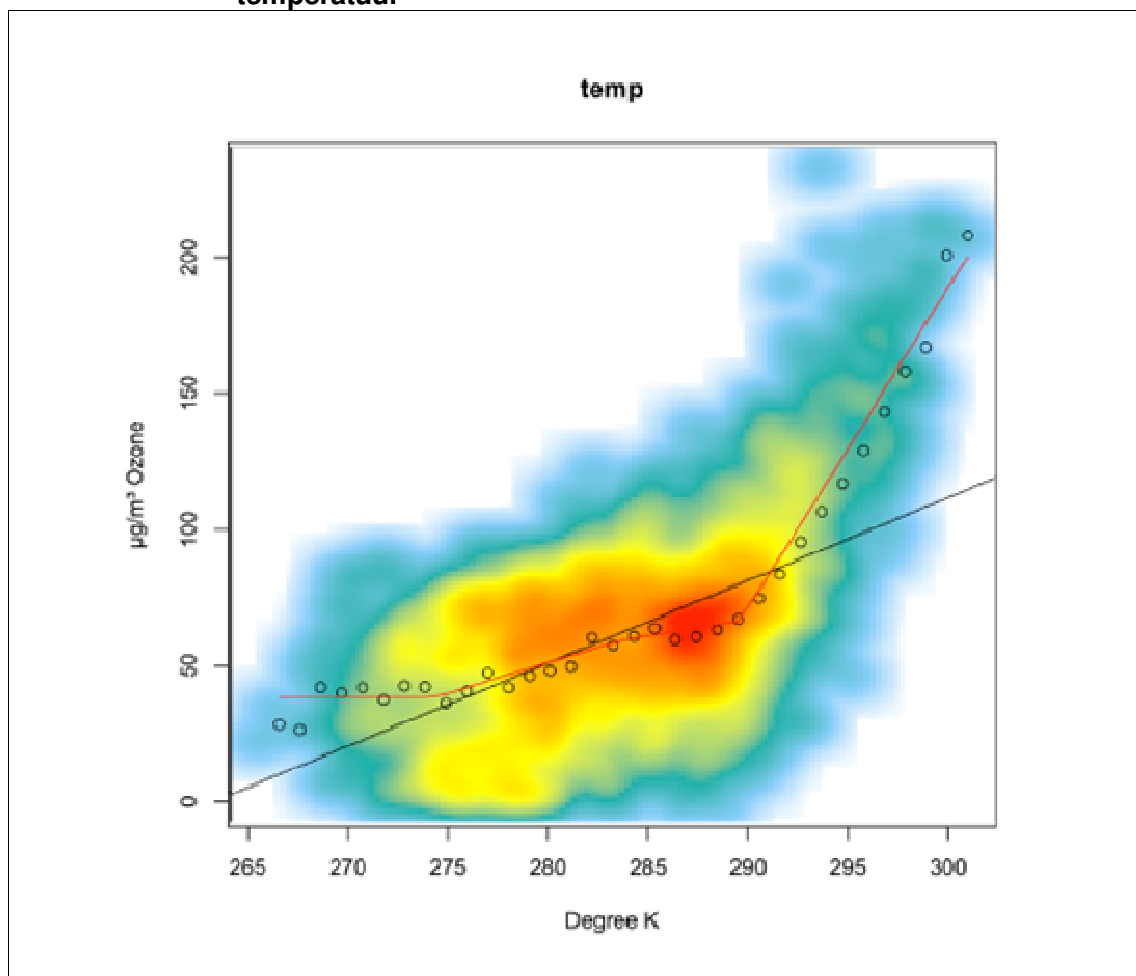
Voor het bepalen van gezondheidseffecten is de 8-uursgemiddelde concentratie echter een betere indicator. Het 8-uursgemiddelde per dag ligt lager dan de maximale uurconcentratie. De conversieverhouding tussen het uurmaximum, 8-uur- en het daggemiddelde is volgens de WHO 20:15:8³. Daarmee is de 8-uursgemiddelde concentratie ozon in elke LCZ bepaald op 120,9 µg/m³.

¹ Stedman. J.R.(2004) The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heat-wave. Atmospheric Environment 38; 1087-1090.

² Luchtvervuiling in de stad: afhankelijkheid van meteorologische variabelen en klimaatverandering, KNMI, definitief rapport november 2014.

³ WHO-Europe (2008) Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. ISBN 978 92 890 42895.

Afbeelding 3.6. Relatie tussen de ozonconcentratie (uurgemiddeld maximum) en temperatuur



3.2.2. Kwantificering van fijn stof (PM10)

Tijdens hittegolven kan het lange-afstand transport van PM10 aanzienlijk toenemen. Volgens onderzoek van Van der Wal en Janssen kan in een periode van zomersmog de PM10 concentratie met $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ toenemen door de windrichting. Hoge temperaturen leiden tot een toename van $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en het droge weer zorgt voor $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ extra¹. In totaal wordt de toename van PM10 dus geschat op $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Daarnaast geldt dat de bijdrage PM10 van lokale bronnen (zoals verkeer) tijdens hittegolven doorgaans hoger zijn, als gevolg van de zwakke wind. Uit modelberekeningen met ADMS-Urban² is gebleken dat deze bijdrage ongeveer een factor 2 hoger is dan de jaargemiddelde bijdrage PM10. Voor NO₂ gaat het om de jaargemiddelde concentratie (inclusief bijdragen van lokale bronnen), dus is geen correctie nodig.

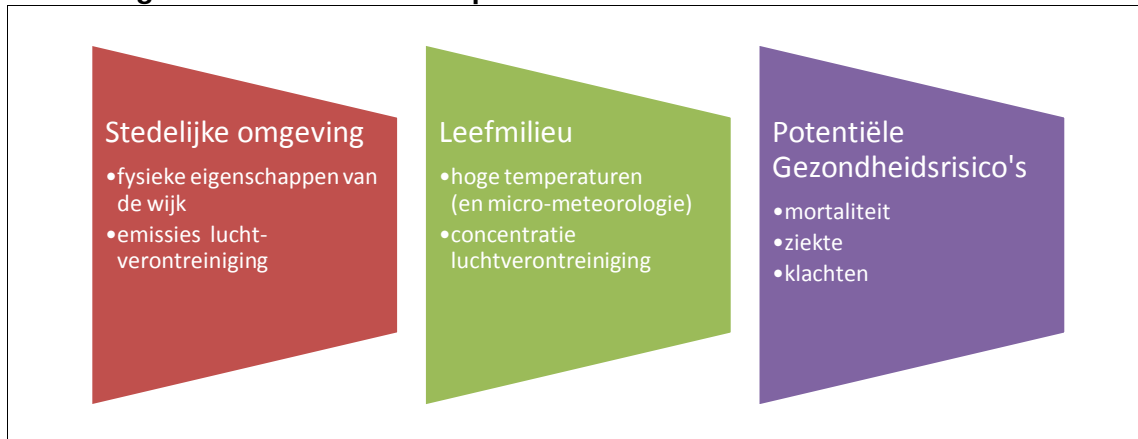
¹ Van der Wal, J. T., & Janssen, L. H. J. M. (2000) Analysis of spatial and temporal variations of PM 10 concentrations in the Netherlands using Kalman filtering. *Atmospheric Environment*, 34(22), 3675-3687.

² ADMS-Urban is een geavanceerd verspreidingsmodel voor luchtverontreiniging, ontwikkeld door Cambridge Environmental Research Consultants (CERC).

4. KWANTIFICERING VAN GEZONDHEIDSRISICO'S

Voor de beoordeling van effecten in het leefmilieu op de gezondheid tijdens een hittegolf is het noodzakelijk de effectenketen te kunnen kwantificeren. Het gaat hierbij om een getrapte oorzaak-gevolgrelatie zoals schematisch weergegeven in afbeelding 4.1.

Afbeelding 4.1. Effectenketen hitteproblematiek



In hoofdstuk 3 is de 1e stap behandeld: de invloed die de stedelijke omgeving heeft op het leefmilieu.

In hoofdstuk 4 wordt de 2e stap behandeld: de invloed van het leefmilieu op de gezondheid. In feite gaat het in de deze stap ook om een kwantificering van gezondheidsrisico's, maar dan eenmalig, gebaseerd op objectieve wetenschappelijke consensus, ten behoeve van de beoordeling van de effecten. Deze stap is noodzakelijk om te kunnen vaststellen wanneer een situatie onacceptabel is en tot welke verbetering maatregelen gericht moeten zijn (verbeteringsopgave).

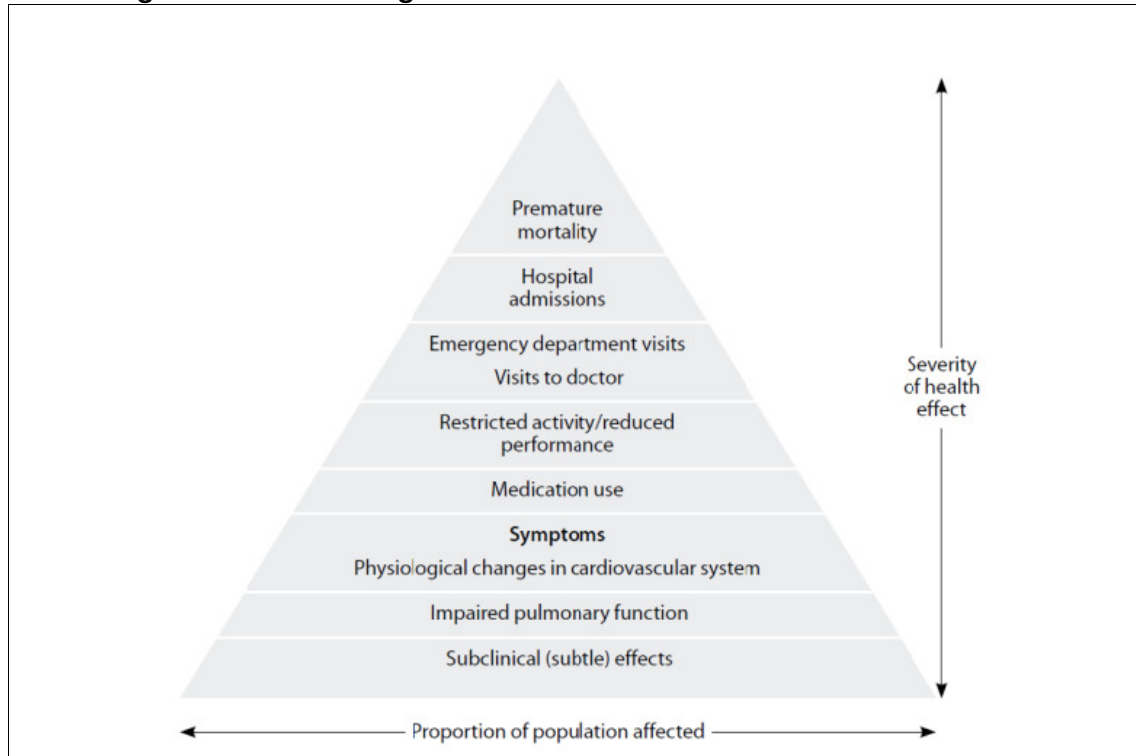
4.1. Gezondheidseffecten

De beoordeling van hitteproblematiek in een wijk betreft een inschatting van de ernst van de risico's die op korte termijn (gedurende een hittegolf) plaatsvinden.

Er zijn zeer uiteenlopende korte termijn gezondheidseffecten die kunnen optreden naar aanleiding van hoge temperaturen en een slechte luchtkwaliteit. De totale effecten kunnen het best worden weergegeven in een piramide, zoals in afbeelding 4.2. Bovenaan de piramide staan de ernstigste effecten, die een relatief kleine groep mensen ondervindt. Onderaan de piramide staan de mildere effecten, waar een veel grotere groep last van heeft. De veelheid en diversiteit aan effecten maakt dat het voor een specifieke situatie onmogelijk is om een kwantificering te maken. Uitsluitend op macro (-economisch) niveau zijn hierover enige relaties beschikbaar.

De extra sterfte die optreedt tijdens een hittegolf is dus qua omvang maar een klein deel van de totale gezondheidseffecten die optreden. Juist over deze extra sterfte is de meeste wetenschappelijke kennis beschikbaar, wat zich concreet vertaalt naar relatieve risico's. Deze risico's geven de relatie aan tussen een bepaalde toename in temperatuur of concentratie luchtverontreiniging en sterfte (mortaliteit).

Afbeelding 4.2. De ernst van gezondheidseffecten¹



In de UCAM-methode worden de effecten van het leefmilieu op de gezondheid uitgedrukt in risico's op gezondheidseffecten (mortaliteit) en niet in gezondheidseffecten. Welke gezondheidseffecten daadwerkelijk zullen optreden in een wijk is naast de invloed van de wijk ook afhankelijk van de inwoners van de wijk. Leeftijdssamenstelling, en sociale en culturele factoren spelen hierin een rol. Omdat deze factoren sterk kunnen verschillen per individu kan er geen berekening worden gedaan voor het bepalen van gezondheidseffecten.

4.2. Kwantificering risico's hitte

Er zijn verschillende onderzoeken gedaan naar de effecten van hitte op gezondheid (mortaliteit). De bevindingen van deze onderzoeken verschillen over de beste indicator van dit effect. Volgens Baccini en anderen (2008) is de maximale temperatuur een betere indicator van hitte-gerelateerde mortaliteit dan de minimum temperatuur². Hajat en anderen (2002) vonden echter dat de minimumtemperatuur belangrijker is ten opzichte van een maximum en suggereren het belang van een 'afkoelingsperiode tijdens een hittegolf'³. De beste relatie werd gevonden tussen de etmaalgemiddelde temperatuur en mortaliteit. Huynen en anderen (2001) vonden eveneens het beste verband tussen sterfte en de gemiddelde dagtemperatuur in Nederland⁴. Waarschijnlijk is de gemiddelde temperatuur de beste weerspiege-

¹ WHO (2006) Air Quality Guidelines: Global Update 2005 2006; zie ook: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf.

² Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K., Analitis, A., & Michelozzi, P. (2008). Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*, 19(5), 711-719.

³ Hajat, S., Kovats, R. S., Atkinson, R. W., & Haines, A. (2002). Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *Journal of epidemiology and community health*, 56(5), 367-372.

⁴ Huynen et al, 2001, The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population, *Environmental Health Perspectives* • VOLUME 109 | NUMBER 5 | May 2001.

ling van de piekblootstelling en de 'afkoelingsperiode' samen en dus de beste variabele bij het bepalen van het totale effect van hitte over een langere termijn (meerdere dagen).

Huynen en anderen (2002) vonden een verhoogde dagelijkse sterfte wanneer de gemiddelde dagelijkse temperaturen hoger zijn dan 16,5 °C, met een stijgende helling van deze relatie boven ongeveer 22 °C. Hajat et al. (2002) onderzochten het verband tussen hoge temperaturen en mortaliteit in Londen. Zij vonden dat elke graad stijging van de gemiddelde temperatuur boven 21,5 °C resulteerde in een toename in mortaliteit van 3,34 % (in Londen). Wanneer de luchtverontreinigende stoffen zwaveldioxide (SO₂), ozon (O₃) en zwarte rook separaat werden meegenomen in de studie was het relatieve risico 3,18 % per graad. In een latere studie¹ is een relatief risico van 2,1 % per graad gevonden als de relatie tussen temperatuur en mortaliteit. Dit relatieve risico is representatief voor de gehele bevolking van Engeland en Wales, en om die reden beter geschikt voor de bepaling van gezondheidsrisico's.

Het klimaat in Nederland is vergelijkbaar met het klimaat in Engeland, dus is in het UCAM-project aangenomen dat het relatieve risico gevonden door Armstrong en anderen (2010) generaliseerbaar is voor Nederlandse en andere Noordwest-Europese steden.

De temperatuur in de stad tijdens een hittegolf wordt voor een groot deel bepaald door de grootschalige weersomstandigheden. Dit betekent dat een bepaalde toename van gezondheidsrisico's een 'natuurlijke' oorzaak hebben. Uit de WRF-modelsimulaties is gebleken dat de etmaalgemiddelde temperatuur in de rurale omgeving 24,6°C was. Elke gemodelleerde temperatuur boven deze temperatuur wordt verondersteld als invloed van de gebouwde omgeving.

Voor het kwantificeren van de hittegevoeligheid van een wijk is alleen het 'extra' risico veroorzaakt door het UHI van belang. Echter is het wel relevant voor de beoordeling van het risico om dit risico te vergelijken met het rurale risico. In het volgende hoofdstuk zal dit uitgebreid worden beschreven.

4.3. Kwantificering risico's luchtverontreiniging

Door de typische meteorologische omstandigheden tijdens een hittegolf zijn de concentraties ozon en PM10 hoger dan 'normaal'^{2 3}. Korte-termijn blootstelling aan hogere concentraties luchtverontreiniging leidt tot extra mortaliteit. De verhoogde kans op mortaliteit (relatief risico) wordt voor luchtverontreinigende stoffen uitgedrukt per 10 µg/m³.

Studies naar gezondheidseffecten van luchtverontreiniging worden vaak uitgevoerd voor slechts 1 verontreinigende stof⁴. Echter bevat de atmosfeer een zeer complexe samenstelling van verschillende stoffen. De effecten van gecombineerde blootstelling aan stoffen zijn

¹ Armstrong, B. G., Chalabi, Z., Fenn, B., Hajat, S., Kovats, S., Milojevic, A., & Wilkinson, P. (2010). Association of mortality with high temperatures in a temperate climate: England and Wales. *Journal of epidemiology and community health*, jech-2009.

² Roemer, M., L. Klok, en S. Janssen (2011) Gaat hitte gepaard met slechtere luchtkwaliteit: onderzoek naar oversterfte tijdens hittegolven; *Milieu* 17: 1.

³ Fischer, P.H., Brunekreef, B., Lebreton E. (2004) Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands; *Atmospheric Environment* 38; 1083-1085.

⁴ Künzli, N. & R. Kaiser, S. Medina, M. Studnicka, O. Chanel, P. Filliger, M. Herry, F. Horak Jr, V. Puybonnieux-Textier, P. Quénel, J. Schneider, R. Seethaler, J-C. Vergnaud, H. Sommer (2000) Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment; *The Lancet*, Volume 356, Issue 9232, Pages 795-801.

(nog) niet precies bekend. Een eenvoudige optelsom van de risico's van 2 individuele stoffen die met elkaar correleren zou het effect op de gezondheid overschatten⁴.

De correlatie tussen PM10 en ozon is volgens een studie van Hoek en anderen - 0,04¹. Er kan dus worden gesteld dat de stoffen nauwelijks met elkaar correleren en de effecten bij elkaar opgeteld kunnen worden zoals ook in eerder onderzoek is gedaan^{2 3}.

Ozon

Het relatieve risico (RR) van ozon is gebaseerd op de APHEA2 studie naar korte termijn effecten van ozon op dagelijkse mortaliteit. Voor het APHEA2-onderzoek is een database gebruikt met gegevens van 23 Europese steden. Het RR van ozon op mortaliteit per 10 µg/m³ (8-uurgemiddelde) volgens dit onderzoek 0,31 % en heeft geen significant verband met de PM10 concentraties⁴. De drempelconcentratie waaronder blootstelling aan ozon niet leidt tot gezondheidseffecten is gesteld op 50 µg/m³. Dit is overeenkomstig met het onderzoek van Powell, Lee & Bowman (2012)⁵.

Om te bepalen welke gezondheidseffecten ozon tijdens een hittegolf heeft, wordt onderstaande formule gebruikt.

$$Risico_{ozon} = \{ (8\text{-uurgemiddelde hittegolf concentratie} - 50 \mu\text{g}/\text{m}^3) / 10 \} * 0,31$$

Fijn Stof (PM10)

Het RR van PM10 is afhankelijk van verkeersgerelateerde deeltjes in de totale concentratie⁶. Omdat NO₂ een goede indicator is voor de hoeveelheid verkeersgerelateerde deeltjes worden NO₂ concentraties gebruikt voor het bepalen van het relatief risico van PM10^{6 7}. Het relatief risico van PM10 is gebaseerd op het APHEA-2 project. Touloumi en anderen⁷ ontwikkelden een statistische methodologie om de korte termijn effecten van gezondheidseffecten van luchtverontreiniging te bepalen. Hiervoor is data van 30 Europese steden gebruikt.

Voor de UCAM-methode is verondersteld dat het relatief risico per 10 µg/m³ PM10 0,42 % is bij een NO₂ concentratie van 21 µg/m³. Een toename van de NO₂ concentratie met 10 µg/m³ zorgt voor een toename van het relatief risico van PM10 van 0,15 %. De mini-

¹ Hoek, G., Brunekreef, B., Verhoeff, A., Wijnen, J. van & Fischer, P. (2000) Daily Mortality and Air Pollution in the Netherlands, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50:8, 1380-1389.

² Fischer, P.H., Brunekreef, B., Lebreton E. (2004) Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands; *Atmospheric Environment* 38; 1083-1085.

³ Stedman, J.R.(2004) The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heat-wave. *Atmospheric Environment* 38; 1087-1090.

⁴ Gryparis, A., Forsberg, B., Katsouyanni, K., Analitis, A., Touloumi, G., Schwartz, J., Samoli, E., Medina, S., Anderson, H.R. Maria Niciu, E., Erich Wichmann H., Kriz, B., Kosnik, M., Skorkovsky, J., Vonk, J.M. Dörbudak, Z. (2004) Acute effects of ozone on mortality from the "air pollution and health: a European approach" project. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 170(10), 1080-1087.

⁵ Powell, H., Lee, D., Bowman, A. (2012). Estimating constrained concentration–response functions between air pollution and health. *Environmetrics*, 23(3):228-237.

⁶ Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Gryparis, A., Le Tertre, A., Monopolis, Y., ... & Schwartz, J. (2001) Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology*, 12(5), 521-531.

⁷ Touloumi, G., Atkinson, R., Tertre, A. L., Samoli, E., Schwartz, J., Schindler, C., Vonk, J. M., Rossi, G., Saez, M., Rabszenko, D. and Katsouyanni, K. (2004), Analysis of health outcome time series data in epidemiological studies. *Environmetrics*, 15: 101-117. doi: 10.1002/env.623.

mundrempel waarboven NO₂ bijdraagt aan het RR van PM10 is 21 µg/m³. Dit staat gelijk aan de regionale concentratie van NO₂¹. De drempelwaarde waaronder PM10 geen gezondheidseffecten veroorzaakt is vastgesteld op 10 µg/m³.

De volgende formule wordt gebruikt voor de berekeningen van het risico van PM10:

$$Risico_{PM10} = \{ (etmaalconcentratie PM10 - 10 \mu g/m^3) / 10 \} * RR_{PM10}$$

Met:

$$RR_{PM10} = Correctie jaargemiddelde concentratie NO_2 + 0.42 \%$$

Met:

$$Correctie jaargemiddelde concentratie NO_2 = \{ (jaargemiddelde concentratie NO_2 - 21 \mu g/m^3) / 10 \} * 0.15$$

Box 4.1 Fijn stof en gezondheid

Uit wetenschappelijke literatuur blijkt dat met name de kleinere fracties fijn stof (zoals PM2.5, PM1.0, ultra fijn stof, roet en elementair koolstof) relevant zijn voor gezondheidseffecten. Met name op fysiologisch niveau (cel, weefsel van organismen) is de laatste jaren meer inzicht ontstaan en is de causaliteit van luchtverontreiniging aangetoond. Op epidemiologische schaal ontbreekt het echter nog aan voldoende gefundeerde relaties tussen de concentraties van deze stoffen tijdens hittegolven en de verhoogde mortaliteit. Dit komt vooral vanwege de nog onvoldoende, nog onbetrouwbare of nog te recente beschikbaarheid van meetgegevens tijdens hittegolven.

¹ CBS, PBL, Wageningen UR (2013) Stikstofoxiden in lucht, 1990-2012 (indicator 0493, versie 07, 31 oktober 2013). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.

5. BEOORDELING GEZONDHEIDSRISICO'S

In het UCAM-project liggen enkele veronderstellingen ten grondslag aan de wijze waarop praktische invulling is gegeven aan het opstellen van een beoordelingscriterium voor hitteproblematiek.

Verondersteld is dat de mate waarin mortaliteit verandert als gevolg van de verandering van temperatuur of luchtkwaliteit, representatief is voor de mate waarin de overige gezondheidseffecten optreden. Verder is verondersteld dat de relatieve risico's, welke representatief zijn voor een grote populatie (macroniveau zoals een land of regio), als potentiële plaatsgebonden risico's kunnen worden beschouwd.

In de UCAM-methode is ervoor gekozen om de mate waarin de leefomgeving invloed uitoefent op de potentiële gezondheidsrisico's door hitte en luchtverontreiniging tijdens hittegolven weer te geven als een index: de Urban Climate (UC) index. Hiermee is de beoordeling praktisch toepasbaar, ondanks de complexiteit van gezondheidskundige risico's door fysieke veranderingen in het leefmilieu. Onderstaande afbeelding 5.1 geeft schematisch weer welke factoren hierop van invloed zijn. De stedelijke omgeving (*urban area*) beïnvloedt het leefmilieu (*environment*), welke van invloed is op de volksgezondheid (*health*).

Afbeelding 5.1. UC-index, samengesteld uit hitte- en luchtkwaliteitsindex



5.1. Beoordeling risico's hitte: de hitte-index

De temperatuur in de stad tijdens een hittegolf wordt bepaald door de weersomstandigheden op regionale schaal en de lokale stedelijke omgeving. In de beoordeling van hitte in de stad zijn daardoor 2 aspecten van belang. Enerzijds in absolute zin: het risico voor de volksgezondheid neemt toe naar mate het warmer wordt. Anderzijds in relatieve zin: de mate waarin de stedelijke omgeving het risico vergroot, oftewel de effecten verergert.

De hitte-index is eenvoudig berekend als het etmaalgemiddelde UHI in de wijk gedeeld door het maximale etmaalgemiddelde UHI, dus: $UHI_{\text{etm,wijk}}/UHI_{\text{etm,max}}$. De maximale UHI_{etm} is in het UCAM-project berekend op basis van een gesimuleerde hittegolf, en kwam uit op 3,3°C. De hitte-index is dus genormaliseerd op basis van de maximale etmaalgemiddelde UHI uit de modelresultaten in het UCAM-project.

In tabel 5.1 is het risico van hitte en het extra risico, veroorzaakt door het UHI, weergegeven. Het totale risico is het risico veroorzaakt door de rurale temperatuur plus het risico veroorzaakt door de UHI. Het risico veroorzaakt door de rurale temperatuur is ongeveer 6,3 % (24,6°C), het UHI risico kan oplopen tot meer dan 7 % (3,3°C * 2,1 %). Het risico op sterfte kan tijdens een hittegolf dus verdubbeld worden door het UHI.

Tabel 5.1. Het risico van hitte

temperatuur (°C)	totaal hitte risico (ruraal + UHI)	UHI (°C)	extra risico door UHI
21,5	0	0	0
22	1,05	0	0
22,5	2,1	0	0
23	3,15	0	0
23,5	4,2	0	0
24	5,25	0	0
24,5	6,3	0	0
25	7,35	0,4	0,84
25,5	8,4	0,9	1,89
26	9,45	1,4	2,94
26,5	10,5	1,9	3,99
27	11,55	2,4	5,04
27,5	12,6	2,9	6,09
28	13,65	3,4	7,14

De hitte-index waarden zijn gecategoriseerd naar aanleiding van de risico's. Voor het categoriseren van de hitte-index zijn de volgende aannames gemaakt:

- een lage indexwaarde geeft aan dat de invloed beperkt is en de stedelijke omgeving dus weinig tot niets bijdraagt aan verhoogde risico's. Hoge indexwaarden daarentegen geven aan dat de bijdrage van de gebouwde omgeving sterk is en leidt tot een onacceptabel leefklimaat. De minimale bijdrage correspondeert met het indexcijfer 0 en het maximum met het indexcijfer 1;
- de 4 categorieën tussen het minimum en het maximum zijn gebaseerd op 2,1 % relatief risico. De normwaarden corresponderen met het risico van luchtkwaliteitsnormen;
- de Europese streefwaarde voor ozon is 120 µg/m³, de informatiedrempel is 180 µg/m³ en de alarmdrempel is 240 µg/m³. Het verschil van 60 µg/m³ ozon tussen de verschillende drempelwaarden correspondeert met een risico van 1,9 %¹.

Op basis van bovenstaande is gesteld dat een toename naar een volgende categorie bij luchtkwaliteit ongeveer gelijk staat aan een stijging in risico van circa 2 %. Voor het bepa-

¹ Uitgaande van een RR van 0,31 zoals beschreven in Gryparis, A., Forsberg, B., Katsouyanni, K., Analitis, A., Touloumi, G., Schwartz, J., Samoli, E., Medina, S., Anderson, H.R. Maria Niciu, E., Erich Wichmann H., Kriz, B., Kosnik, M., Skorkovsky, J., Vonk, J.M. Dörtdudak, Z. (2004) Acute effects of ozone on mortality from the "air pollution and health: a European approach" project. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 170(10), 1080-1087.

len van de hitte-index categorieën is ook aangenomen dat een risico verhoging van 2 % leidt tot een volgende categorie. De beschrijving van de categorie is op basis van EU ozon richtlijnen. De streefwaarde van ozon ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mag maximaal 25 dagen per jaar voorkomen over een gemiddelde van 3 jaar. De drempel waarop overheden burgers dienen te informeren (informatiedrempel) is vergelijkbaar met een hitte-index tussen de 0,58 en 0,86. Boven de 0,86 zijn de gezondheidsrisico's vergelijkbaar met de alarmdrempel voor ozon, wat aangeeft dat volgens de consensus een dergelijke situatie onacceptabel is. Bij indexwaarden boven de 0,86 is het extra risico door de stedelijke omgeving vergelijkbaar met (of hoger dan) dat van de hittegolf in ruraal gebied, dus zijn de gezondheidsrisico's ongeveer verdubbeld.

Volgens het RIVM is de streefwaarde een niveau dat is vastgesteld met het doel om schadelijke gevolgen voor de menselijke gezondheid en/of het milieu als geheel te vermijden, te voorkomen of te verminderen en dat voor zover mogelijk binnen een bepaalde termijn moet worden bereikt. De informatiedrempel is een niveau waarboven kortstondige blootstelling een gezondheidsrisico inhoudt voor bijzonder kwetsbare bevolkingsgroepen, en voor wie een onmiddellijke en toereikende informatievoorziening noodzakelijk is. Een niveau waarboven een kortstondige blootstelling risico's inhoudt voor de gezondheid van de bevolking als geheel, en bij het bereiken waarvan onmiddellijk stappen dienen te worden ondernomen is de alarmdrempel¹.

Tabel 5.2. Categorisering Hitte-index: bijdrage stedelijke omgeving aan de risico's op hittegerelateerde gezondheidseffecten.

categorie	hitte-index	omschrijving/duiding	
0.	0 - 0,3	comfortabel	geen invloed, geen extra risico's van de gebouwde omgeving
I.	0,3 - 0,6	acceptabel	beperkt extra risico door bebouwingsinvloed (acceptabel tot 25 dagen per jaar)
II.	0,6 - 0,9	risicovol	extra risico door bebouwingsinvloed voor gevoelige doelgroepen (vergelijkbaar met overschrijding informatiedrempel O_3)
III.	0,9 - 1,0	onacceptabel	extra risico door bebouwingsinvloed voor iedereen (vergelijkbaar met overschrijding alarmdrempel O_3)

Omdat de streefwaarde maximaal 25 dagen per jaar overschreden mag worden over een gemiddelde van 3 jaar, wordt in de UCAM-methode ook het aantal dagen dat de drempeltemperatuur van $21,5^\circ\text{C}$ overschreden bepaald. De etmaalgemiddelde temperatuurreeks (1991-2010) van De Bilt is gebruikt om te bepalen hoeveel dagen de drempeltemperatuur overschreden is. Bij deze temperatuurreeks wordt de wijkspecifieke UHI opgeteld om zo te bepalen op hoeveel extra dagen de drempeltemperatuur wordt overschreden. Ook bij voorde spelling van de 4 KNMI'14 klimaatscenario's (GI,Gw,HI en Hw) in de periode 2031-2050 is de wijkspecifieke UHI opgeteld om zo toekomstige situaties in kaart te brengen.

¹ http://www.rivm.nl/Onderwerpen/S/Smog/Europese_regelgeving.

Box 5. Universal Thermal Climate Index (UTCI) niet toegepast binnen UCAM

De Universal Thermal Climate Index (UTCI) bepaalt op basis van de omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid, wind en straling de "gevoelstemperatuur". De UTCI is recent in een Europese COST-actie ontwikkeld is uit first principles van de biometrie (www.utci.org). Deze index geeft per uur de gevoelstemperatuur aan. UTCI-drempelwaarden, waarboven men hittestress ondervindt, zijn vastgesteld op 26°C (gematigde hittestress), 32°C (sterke hittestress) en 38°C (hele sterke hittestress).

Vanwege de koppeling met gezondheidseffecten is getracht om de UTCI te gebruiken als basis voor de hitte-index. Een methode is ontwikkeld op basis van het aantal uren met een overschrijding van bovengenoemde UTCI-drempelwaarden. Deze waarden worden in de praktijk maximaal 15 uur per etmaal overschreden in Nederland. De nachtelijke grenswaarde van de UTCI is gesteld op 15°C, overschrijding van deze waarde (tussen 22.00-04.00 uur) leidt ook tot hittestress.

Voor het bepalen van de effecten van een totale hittegolf, kan op elke hittegolfdag worden bepaald hoeveel uur elke grenswaarden is overschreden. Omdat de 3 daggrenswaarden maar 15 uur per etmaal overschreden worden, kan er maximaal $3 \times 15 = 45$ uur hittestress overdag plaatsvinden. Bij overschrijding van hogere grenswaarden worden automatisch ook lagere grenswaarden overschreden en dus tellen hogere overschrijdingen zwaarder mee. De nachtgrenswaarde kan maximaal $1 \times 6 = 6$ uur worden overschreden. In totaal zijn er dus 51 uren per etmaal die de mate van hittestress bepalen. Elk uur heeft een gelijk gewicht van $1/51$ ($\approx 0,02$). Het aantal uur dat de grenswaarden worden overschreden vermenigvuldigd met $1/51$, zal aangeven hoe groot de mate van hittestress per etmaal is.

De index op basis van UTCI-waarden is getest, maar helaas nog onvoldoende ontwikkeld om praktisch toepasbaar te zijn. Enerzijds vanwege de benodigde meteorologische input om de UTCI te berekenen (temperatuur, straling, vochtigheid en windsnelheid), welke in een complexe stedelijke omgeving onvoldoende betrouwbaar gekwantificeerd kunnen worden. Anderzijds vanwege de opgestelde methode die niet geschikt is om de verschillen tussen de wijken te kwantificeren.

5.2. Beoordeling risico's luchtverontreiniging: de luchtkwaliteitindex

Voor het kwantificeren van de luchtkwaliteitindex (Air Quality index, afgekort: AQ-index), zijn de risico's van PM10 en ozon opgeteld, zoals Fischer en anderen (2004)¹ en Stedman (2004)² ook hebben gedaan in hun analyses van de 2003 hittegolf. De concentraties PM10 en NO₂ in de onderstaande formule zijn inclusief de bijdrage van lokale bronnen zoals verkeer, op een maatgevende locatie waar blootstelling plaatsvindt, zoals het trottoir of de gevel. Dit betekent dat de AQ-index per wijk, maar ook per straat kan variëren.

De berekening van de AQ-index zijn onderstaand samengevat, met herhaling van de rekenstappen om de effecten voor luchtkwaliteit te bepalen.

¹ Fischer, P.H., Brunekreef, B., Lebreton E. (2004) Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands; *Atmospheric Environment* 38; 1083-1085.

² Stedman, J.R. (2004) The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heat-wave. *Atmospheric Environment* 38; 1087-1090.

AQ-index	= { Effect_PM10 + Effect_O₃ } * normalisatiefactor
	= { ([PM10]_{etm} - drempel_PM10) * (RR_PM10_{etm} / 10 + (([NO₂]_{jm} - drempel_NO₂) * (cRR_NO_{2-jm} / 10))) + ([O₃]_{8h} - drempel_O₃) * RR_O_{3-8h} / 10 } * normalisatiefactor
	= { ([PM10]_{etm} - 10 µg/m³) * (0,042 + ([NO₂]_{jm} - 21 µg/m³) * 0,015) + ([O₃]_{8h} - 50 µg/m³) * 0,031 } * 0,083
toelichting:	
drempel_PM10	- etmaalgemiddelde concentratie PM10 waaronder geen verhoging van gezondheidseffecten aan de orde is (vastgesteld op 10 µg/m ³ als 'natuurlijke achtergrond').
RR_PM10_{etm} / 10	- relatief risico (per 1 µg/m ³) van etmaalgemiddelde concentratie PM10 die enkele dagen aan de orde is (vastgesteld op 0,42/10 = 0,042 %) ¹ .
drempel_NO₂	- jaargemiddelde concentratie NO ₂ waaronder geen <i>extra</i> verhoging van gezondheidseffecten van PM10 aan de orde is (vastgesteld op 21 µg/m ³ als 'gemiddelde achtergrondwaarde' voor Nederland en België) ² .
cRR_NO_{2-jm} / 10	- correctie op relatief risico (per 1 µg/m ³) van etmaalgemiddelde concentratie PM10 als gevolg van de jaargemiddelde concentratie NO ₂ (vastgesteld op 0,15/10 = 0,015 %).
drempel_O₃	- 8-uursgemiddelde concentratie O ₃ waaronder geen verhoging van gezondheidseffecten aan de orde is (vastgesteld op 50 µg/m ³ als 'natuurlijke achtergrond') ³ .
RR_O_{3-8h} / 10	- relatief risico (per 1 µg/m ³) van 8-uursgemiddelde concentratie O ₃ (vastgesteld op 0,33/10 = 0,033 %).
normalisatiefactor	- als normalisatiefactor is 1/12 gekozen omdat het maximale extra risico volgens de UCAM methode op 12 ligt (ozon = 240 µg/m ³ en PM10 = 150 µg/m ³).
[PM10]_{etm}	- jaargemiddelde etmaal concentratie PM10.
[NO₂]_{jm}	- jaargemiddelde etmaal concentratie NO ₂ .

Op basis van relatieve risico's van enerzijds PM10 onder invloed van NO₂ en anderzijds O₃ en de vergelijking van drempelwaarden van de Europese Unie, is de AQ-index gecategoriseerd (zie tabel 5.3). De categorisering van de AQ-index maakt het mogelijk om de korte termijn gezondheidsrisico's van luchtverontreiniging tijdens hittegolven te duiden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van vergelijkbare gezondheidsrisico's die optreden bij korte termijn effecten van ozon. De drempel waarop overheden burgers dienen te informeren (informatiedrempel) is vergelijkbaar met een AQ-index tussen 0,2 en 0,4.

¹ Touloumi, G., Atkinson, R., Tertre, A. L., Samoli, E., Schwartz, J., Schindler, C., Vonk, J. M., Rossi, G., Saez, M., Rabszrenko, D. and Katsouyanni, K. (2004), Analysis of health outcome time series data in epidemiological studies. *Environmetrics*, 15: 101–117. doi: 10.1002/env.623.

² CBS, PBL, Wageningen UR (2013) Stikstofoxiden in lucht, 1990-2012 (indicator 0493, versie 07, 31 oktober 2013). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.

³ Powell, H., Lee, D., Bowman, A. (2012). Estimating constrained concentration-response functions between air pollution and health. *Environmetrics*, 23(3):228-237.

Tabel 5.3. De AQ-index

categorie	AQ-index	omschrijving/duiding	
0.	0 - 0,1	comfortabel	schone lucht
I.	0,1 - 0,2	acceptabel	licht verontreinigde lucht
II.	0,2 - 0,4	risicovol	overschrijding van WHO richtlijnen vergelijkbaar met overschrijding informatiedrempel O ₃
III.	0,4 - 0,6	onacceptabel	hinder en gezondheidsrisico's vergelijkbaar met overschrijding alarmdrempel O ₃
IV	0,6 - 1,0	zeer sterk	ernstige hinder en acute gezondheidsrisico's

Bij een AQ-index van 0,4 of hoger zijn de gezondheidsrisico's door luchtverontreiniging tijdens hittegolven vergelijkbaar met de alarmdrempel voor ozon, wat aangeeft dat volgens de consensus een dergelijke situatie onacceptabel is. Bij indexwaarden boven de 0,6 treedt ernstige hinder op en zijn acute gezondheidsrisico's aan de orde.

5.3. Beoordeling Urban Climate: de UC-index

De UC-index is bedoeld als eenduidige (objectieve) maat, welke aangeeft in hoeverre in een wijk hitteproblematiek aan de orde is. De UC-index is gedefinieerd als een potentieel plaatsgebonden risico, welke als omgevingskwaliteit kan worden beoordeeld. De UC-index fungeert daarmee als te toetsen beoordelingscriterium. Bij de toetsing zal rekening gehouden moeten worden met de mate van blootstelling aan de UC-index.

Voor de totale beoordeling is het van belang om de hitte- en AQ-index in het juiste perspectief te plaatsen.

Over de mate van schadelijkheid van respectievelijk hitte en luchtverontreiniging is wetenschappelijke literatuur voorhanden. Onderzoek uit Engeland naar de hittegolf van 2003 laat zien dat 20-40 % van de verhoogde mortaliteit wordt veroorzaakt door luchtvervuiling (O₃ en PM10)¹. Dit is overeenkomstig met onderzoek naar de 2003 hittegolf in Nederland². Uit onderzoek van het EuroHEAT project blijkt dat een grote bijdrage aan de verhoogde mortaliteit tijdens hittegolven, afkomstig is van PM10 (~30 %) en ozon (~15-25 %)³. De relatieve risico's die zijn gehanteerd bij de hitte-index en AQ-index hebben een bereik dat in overeenstemming is met bovengenoemde literatuur. Voor de in het UCAM-project gesimuleerde hittegolf blijkt dat het extra risico door hitte maximaal circa 13,6 % bedraagt en door luchtverontreiniging 12 %. Voor hitte gaan wij uit van de extra invloed door de stedelijke omgeving, ten opzichte van de rurale referentie. Uit het UCAM-project blijkt dat het totale risico voor deze rurale referentie 6,5 % bedraagt. De stedelijke omgeving draagt dus voor circa 7,1 %(-punt) bij. Door de indexering van 0 tot 1 wordt het hitte-effect in feite opgehoogd ten opzichte van het luchtkwaliteitseffect. Een hitte-index van 1 correspondeert immers met 7,1 % extra risico, terwijl een luchtkwaliteitsindex van 1 correspondeert met 12,0 % extra risico.

¹ Stedman, J.R.(2004) The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heat wave. Atmospheric Environment 38; 1087-1090.

² Fischer, P.H., Brunekreef, B., Lebre E. (2004) Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands; Atmospheric Environment 38; 1083-1085.

³ Analitis, A., Michelozzi, P., D'Ippoliti, D., de'Donato, F., Menne, B., Matthies, F., ... & Katsouyanni, K. (2014). Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants. Epidemiology, 25(1), 15-22.

Dit doet meer recht aan de geobserveerde effecten van hittegolven op de mortaliteit (uitkomend op 37 % effect van luchtverontreiniging, 63 % van hitte).

De UC-index wordt als volgt berekend:

$$UC\text{-index} = (\text{Hitte-index} + \text{AQ-index}) * 100$$

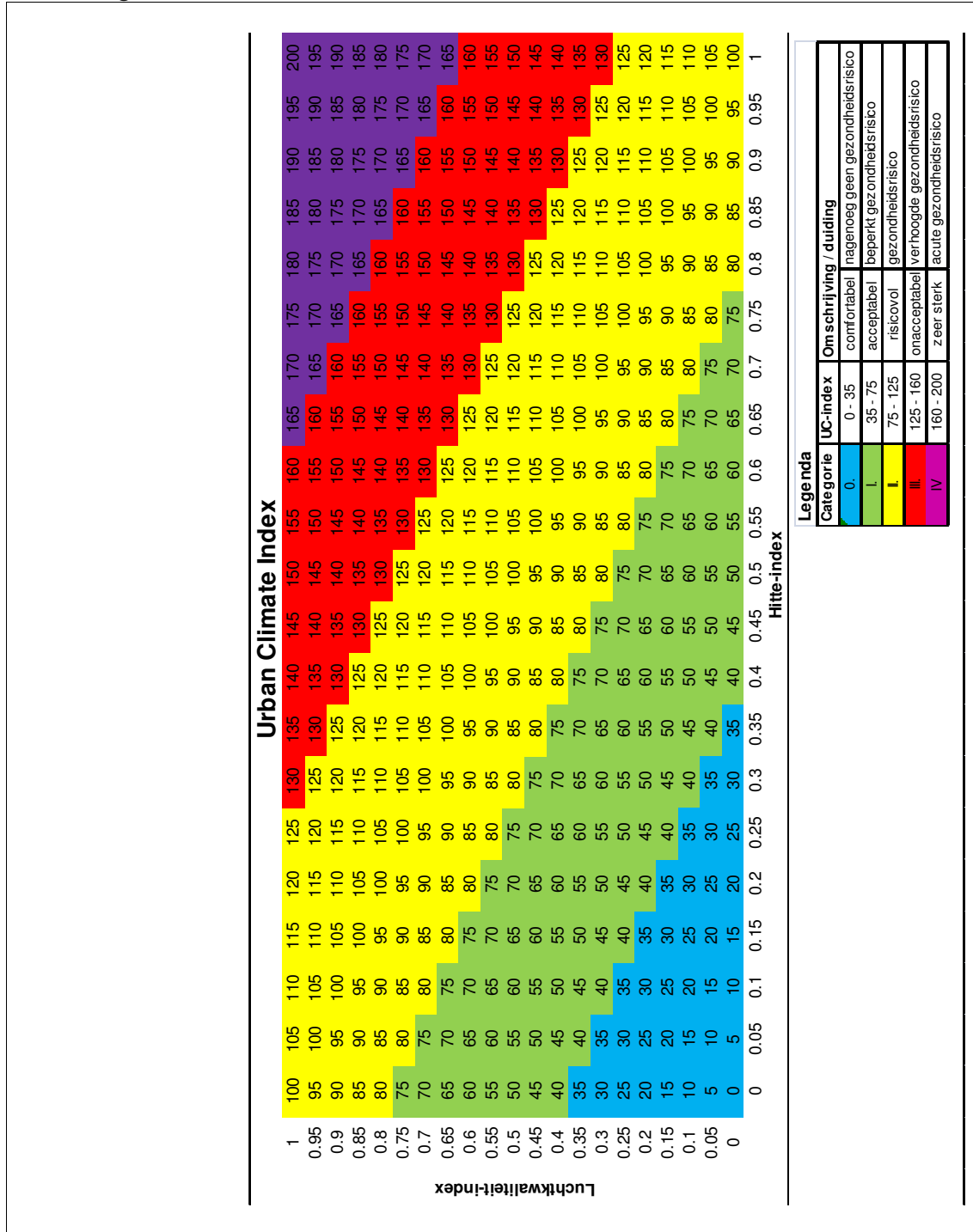
Vervolgens is de volgende classificering aangehouden, zoals weergegeven in tabel 5.4

Tabel 5.4. De UC-index

categorie	UC-index	omschrijving/duiding	
0.	0 - 35	comfortabel	nagenoeg geen gezondheidsrisico
I.	35 - 75	acceptabel	beperkt gezondheidsrisico
II.	75 - 125	risicovol	gezondheidsrisico voor gevoelige doelgroepen
III.	125 - 160	onacceptabel	verhoogd gezondheidsrisico voor iedereen
IV	160 - 200	zeer sterk	acuut gezondheidsrisico voor iedereen

Deze classificering is gemaakt op basis van de maximale hitte- en AQ-scores in de categorieën. De maximale scores in categorie II in de hitte-index (0,85) en de AQ-index (0,4) resulteren in een UC-waarde van ~125 (zie afbeelding 5.2). 125 is vervolgens aangehouden als maximale score in categorie II in de UC-index.

Afbeelding 5.2. De UC-index



6. UCAM-METHODE

6.1. Inleiding

Besluitvorming over de stedelijke omgeving ligt in Nederland bij de lokale overheid, dus de gemeente of stad. Deze besluitvorming vindt vrijwel altijd plaats in de context van een bredere ruimtelijke ontwikkeling of problematiek, dus met meerdere en uiteenlopende belangen.

Hitteproblematiek is daardoor een van de vele aspecten die wordt afgewogen en moet dus in belang toenemen om serieus in het besluitvormingsproces te worden meegenomen. In Nederland is echter, ondersteund door Europese regelgeving, sprake van een normgebaseerd milieubeleid. Dit betekent dat belangrijke milieuthema's vertaald worden in regels en daarbij behorende (te handhaven) waarden voor schadelijke stoffen. Voor stedelijke hitte bestaat (nog) geen norm waarboven de situatie onacceptabel is en er maatregelen genomen moeten worden.

Om hitteproblematiek een rol te laten spelen in besluitvormingsprocessen is enerzijds urgentie vereist, en wel gebaseerd op objectieve gegevens. Dus, dat hitteproblematiek van belang is voor het leefmilieu in een wijk en dat sprake kan zijn van onacceptabele risico's voor de volksgezondheid. Anderzijds is het noodzakelijk dat de hitteproblematiek eenduidig beoordeeld kan worden, zodat duidelijk is wanneer een situatie onacceptabel is en of daar iets aan kan worden gedaan.

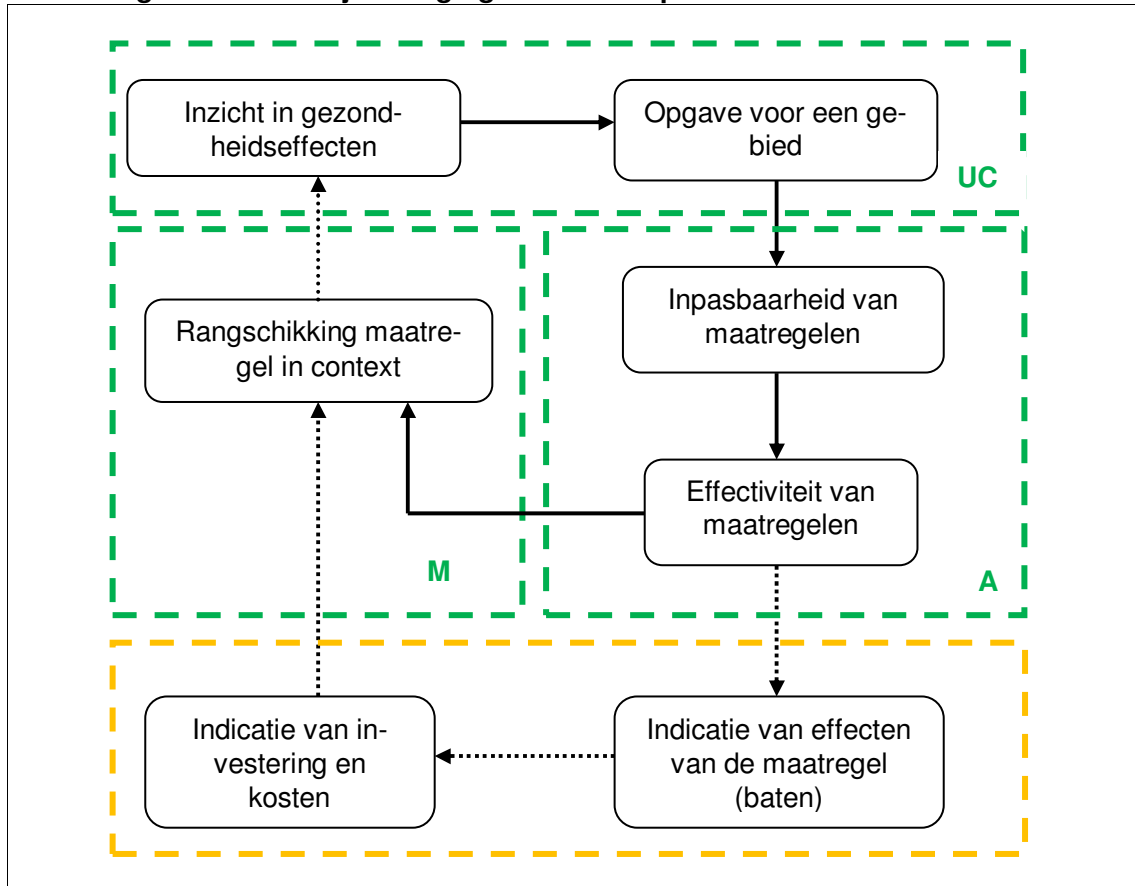
Om van de probleemdefinitie te komen tot de uiteindelijke realisatie van maatregelen is het belangrijk dat de methode rekening houdt met de verschillende stappen in een besluitvormingsproces. Deze stappen zijn:

1. probleemdefinitie;
2. verkennen van oplossingen (voorstellen);
3. toetsen van voorstellen;
4. besluitvorming.

In afbeelding 6.1 is het bestuurlijk afwegingsmodel weergegeven. In dit afwegingsmodel zijn de basisstappen van besluitvorming vertaald in stappen van de UCAM-methode, de 3 groene domeinen. De UCAM-methode begint met de probleemdefinitie door het stedelijke klimaat en de effecten daarvan op de gezondheidseffecten van hittegolven in kaart te brengen. Hieruit volgt bijvoorbeeld een concrete, wijkspecifieke, opgave die nodig is om de hitteproblematiek te verminderen. Vervolgens worden verschillende oplossingen (maatregelen) verkend. Deze worden op hun beurt beoordeeld op hun inpasbaarheid en de effectiviteit ervan.

Er ligt daarnaast een sterke koppeling met de kosten-batenanalyse (weergegeven in het gele domein). Met een betere inschatting van de effectiviteit van maatregelen kan immers een betere kosten-batenanalyse worden gemaakt.

Afbeelding 6.1 Bestuurlijk afwegingsmodel hitteproblematiek



6.2. Doelstelling

De doelstelling van het UCAM-project is om de besluitvorming en afwegingen in de ruimtelijke ordening te ondersteunen door te voorzien in een informatiebehoefte en in een consistente advisering ten aanzien van de stedelijke hitteproblematiek.

6.3. Opzet, randvoorwaarden

De UCAM-methode¹ is ontwikkeld om de hitteproblematiek in een specifieke wijk te beoordelen. De methode combineert wetenschappelijke kennis over potentiële gezondheidsrisico's tijdens hittegolven, met wetenschappelijke kennis over de invloed van stedelijke omgeving op de leefomstandigheden in een wijk.

De piekbelasting van zowel hitte als luchtverontreiniging in de stedelijke omgeving zorgt voor een significant gezondheidseffect onder de inwoners van steden. De methode beoogt niet alleen inzicht te geven in de gezondheidseffecten bij piekbelasting maar ook inzicht in de effecten die door maatregelen moeten worden behaald om deze gezondheidseffecten te doen afnemen. Gevolgen van verschillende ruimtelijke maatregelen kunnen snel en eenvoudig beoordeeld worden op hun effectiviteit in het bestrijden van hitteproblematiek.

¹ UCAM staat voor Urban Climate Assessment and Management.

De methode bestaat uit 3 onderdelen:

- Urban Climate = kwantitatief beoordelingscriterium;
- Assessment = wijkspecifieke beoordeling en oplossingsrichtingen;
- Management = implementatieroutes van oplossingen.

Randvoorwaarden/eisen:

- praktisch toepasbaar en hanteerbaar;
- voorzien in relevante informatie, ondersteunend voor beleid en ruimtelijke besluitvorming;
- betrouwbaar, objectief, gebaseerd op beschikbare wetenschappelijke kennis;
- consistentie in wijze waarop hitteproblematiek wordt beoordeeld.

6.4. Stappen UCAM-methode

De UCAM-methode bestaat uit 3 onderdelen die overeenkomen met de delen van de afkorting UCAM. De gehele methode bestaat op zijn beurt weer uit 9 stappen, waarvan de eerste (stap 0) gebaseerd is op bestaand onderzoek. De overige 8 stappen betreffen nieuwe analyses die zijn uitgevoerd ten behoeve van deze casus. Het overzichtsschema van de methode is in onderstaande afbeelding 6.2 weergegeven.

Afbeelding 6.2 De stappen in de UCAM methode



UC: Urban Climate

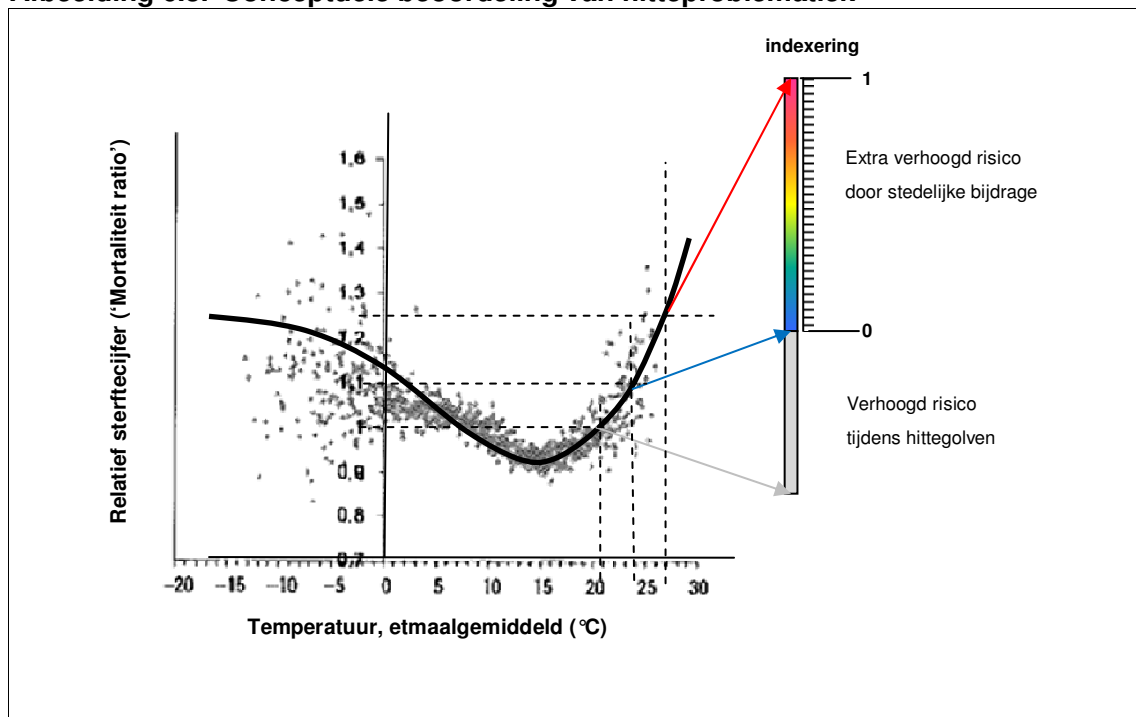
In dit deel wordt een analyse gemaakt van het stadsklimaat van het studiegebied. De methode begint met een gegevensinventarisatie van het studiegebied (stap 0). In geval van de wijk Dampoort en van de inrichtingsalternatieven zijn studies naar hitte en luchtkwaliteit in de wijk beschikbaar en bruikbaar. Vervolgens wordt de wijk ingedeeld in een wijkprofiel

(stap 1), ook wel een Local Climate Zone (LCZ) genoemd. Dit betreft de globale bebouingsafmetingen en inrichting van de wijk, welke van invloed zijn op de extra opwarming van de wijk tijdens een hittegolf¹. In stap 2 wordt aan de hand van de verschillende wijk eigenschappen (parameters van de LCZ) de LCZ op maat gemodelleerd voor het studiegebied. Op basis van deze resultaten wordt bepaald hoe hittegevoelig de wijk is, dus in welke mate de stedelijke omgeving extra van invloed is. Daarnaast wordt in deze stap ook de invloed van de verkeerssituatie in de wijk op de luchtkwaliteit in de wijk bepaald. In stap 3 worden de effecten (hitte en luchtkwaliteit) vertaald naar een hitte- en luchtkwaliteitindex, en samengevoegd tot de UC-index. Aan de hand van deze index wordt een beoordeling gegeven van de hitteproblematiek voor de inrichtingsalternatieven binnen stadsontwikkelingsproject Dampoort.

De UC-index is bedoeld als eenduidige (objectieve) maat, welke aangeeft in hoeverre in een wijk hitteproblematiek aan de orde is. De UC-index is gedefinieerd als een potentieel plaatsgebonden risico, welke als omgevingskwaliteit kan worden beoordeeld. De UC-index fungeert daarmee als te toetsen beoordelingscriterium. Bij de toetsing zal rekening gehouden moeten worden met de mate van blootstelling aan de UC-index.

In afbeelding 6.3 is weergegeven hoe dat conceptueel is uitgewerkt. Boven een drempeltemperatuur (etmaalgemiddeld) vindt verhoogde, hittegerelateerde sterfte plaats, hetgeen representatief is voor de piramide van gezondheidseffecten. Tijdens een hittegolf zal in het hele land de gemiddelde temperatuur hoger zijn. In steden zorgt de omgeving voor extra hoge temperaturen, met daarmee een extra verhoogd risico.

Afbeelding 6.3. Conceptuele beoordeling van hitteproblematiek²



¹ Dit wordt het stedelijke hitte eiland effect genoemd, ook wel Urban Heat Island (UHI).

² Bewerking op afbeelding 2 uit: Huynen et al, 2001, The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population, Environmental Health Perspectives • VOLUME 109 | NUMBER 5 | May 2001.

A: Assessment

In dit deel worden oplossingsrichtingen gezocht die passen binnen de inrichtingsalternatieven. De beoordeling van de alternatieven begint met het stellen van de verbeteringsopgave (stap 4). Daarin wordt bepaald welke wijkeigenschappen die van invloed zijn op de temperatuur tijdens hittegolven, aangepast moeten worden om de gezondheidseffecten tijdens hittegolven tot een acceptabel niveau terug te dringen. Om deze doelstelling praktisch gevolg te geven worden verschillende oplossingsrichtingen verkend (stap 5). De inpasbaarheid van maatregelen wordt geschetst voor de hotspots, hetgeen inzichtelijk maakt of de alternatieven geoptimaliseerd kunnen worden (stap 6).

M: Management

In dit deel worden de mogelijkheden besproken hoe bestuurlijke en beleidsmatige stappen kunnen leiden tot de realisatie van de onder 'A' genoemde opgave (stap 7). Daarnaast wordt de haalbaarheid van de maatregelen bepaald op basis van de daarbij behorende (globale) kostenraming (stap 8).

6.5. Plaats in planningstrajecten: ex-post versus ex-ante evaluatie

Voor het plaatsen van de UCAM-methode in besluitvormingstrajecten is gekozen voor een onderscheid tussen 2 varianten van evaluatie; ex-post en ex-ante. Voor beide typen evaluatie biedt de UCAM-methode uitkomst, maar het levert wel een andere positie in het planproces op.

Ex-post evaluatie

De ex-post methode wordt toegepast om te onderzoeken of in een bestaande wijk sprake is van hitteproblematiek. De methode maakt inzichtelijk in welke mate de temperatuur en luchtkwaliteit in een wijk worden beïnvloed door de stedelijke omgeving tijdens hittegolven, en hoe deze, indien nodig, teruggebracht kunnen worden tot een acceptabel niveau.

Het instellen van het Nationale Hitteplan (door RIVM¹), bij aanhoudende hitte, geeft het signaal af dat er urgentie is voor het verminderen van gezondheidseffecten door hitte, en dat hittebeperkende maatregelen noodzakelijk zijn. Het hitteplan beperkt zich echter tot tijdelijke maatregelen zoals water drinken en insmeren. De UCAM-methode kan in deze gevallen inzicht geven in hoe structurele maatregelen kunnen helpen ter voorkoming van risico's in stedelijke gebieden tijdens hittegolven. Het hitteplan zal als noodoptie noodzakelijk blijven voor wijken met hoge hittegevoeligheid, met beperkte inpassingsmogelijkheden voor maatregelen, of met kwetsbare doelgroepen.

De inbreng van de methode staat in directe relatie met de urgentie voor gezondheidsproblemen bij hittegolven in het stedelijke gebied. Dit betekent dat de methode losstaand van andere methodes/studies gebruikt kan worden. Gezondheidsinstanties op verschillende schaalniveaus (RIVM, GGD's en verzorgingshuizen) vormen hierbij interessante partners, doordat zij reeds de urgentie van tijdelijke maatregelen onderkennen. Wanneer de methode gevolg krijgt in de planning van stedelijke gebieden zijn lokale overheden belangrijke partners. De aansluiting van de methode is dan met name te vinden in lokaal beleid. Voor Gent is in de volgende paragraaf het lokale beleid kort uiteengezet.

¹ Nationaal Hitteplan, 2007, ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, in samenwerking met RIVM, GGD Nederland, GHOR Nederland, Actiz, Nederlandse Rode Kruis.

Ex-ante evaluatie

De ex-ante methode onderzoekt hoe een toekomstige omgeving zo goed mogelijk ingericht kan worden ter beperking van toekomstige gezondheidsproblemen tijdens hittegolven. Bij een ex-ante evaluatie wordt in een planstudie gezocht naar een duurzame stadsinrichting. Met de methode kan vooraf geschat worden hoe de wijk bijdraagt aan hitteproblematiek.

In Nederland vindt de planning van stedelijke gebieden plaats instrumenten als planstudies, ruimtelijke onderbouwingen, bestemmingsplannen, structuurvisies, omgevingsplannen en milieueffectrapportages. Onder het gebruik van UCAM in ex-ante evaluatie (evaluatie vooraf) verstaan wij het gebruik van de methode bij dit type studies. De hitteproblematiek speelt in deze studies nog maar een kleine rol van betekenis. Zo wordt het thema tot op heden in Maatschappelijke Kosten Baten Analyses (MKBA's) meegenomen in het deel dat (nog) niet in geld uitgedrukt kan worden. Daarnaast is te zien dat gereguleerde thema's zoals fijn stof wel worden berekend worden, maar niet in relatie tot klimaatsverandering en het effect daarvan op de (schadelijkheid van) concentraties. Bovendien zijn veel andere maatschappelijke thema's relevant in de beoordeling van een gebiedsontwikkeling op basis van klimaatverandering. In tegenstelling tot evaluatie ex-post is het dus niet waarschijnlijk dat de UCAM-methode ingezet zal worden losstaand van andere methodes. Het gebruik in combinatie met een MKBA is in dit geval het meest waarschijnlijk.

Voor de verkenning van de rol van de methode in planstudies (ex-ante) is de Commissie voor de m.e.r. (hierna: Cie-mer) benaderd. Hieruit volgde een aantal belangrijke constatering. Deze constatering zijn hieronder samengevat.

De huidige regelgeving omtrent klimaatadaptatie kenmerkt zich als gemiste kans. Bij m.e.r.-studies betrokken partijen beoordelen vaak enkel de thema's die aan bod *moeten* komen; de in de wet verankerde thema's als luchtvervuiling, natuur en ecologie. Daardoor is de afweging van alternatieven beperkt en het meewegen van de alternatieven sterk afhankelijk van politieke of bestuurlijke wil. De Cie-mer heeft echter wel de ambitie klimaatverandering en klimaatadaptatie een grotere rol te laten spelen in de procedure. Binnen de organisatie leeft het gevoel dat er al genoeg sprake is van normgestelde thema's. Met andere woorden; men wil de procedure niet verzwaren door klimaatadaptatiethema's als normgebaseerde eisen mee te nemen.

De kansen liggen in het feit dat er al een wettelijke eis gesteld wordt aan het opnemen van alternatieven in procedure. Een goed voorbeeld hiervan is het bekende meest milieuvriendelijke alternatief. Logischerwijs zou het opnemen van een meest klimaatbestendig alternatief tot de mogelijkheden behoren. Dit aanvullende alternatief kan het beste gesteld worden bij projecten die bij de commissie beoordeeld worden ter advies Reikwijdte en Detailniveau.

Met betrekking tot aansluiting van UCAM op m.e.r.-procedures gelden 2 aandachtspunten. Ten eerste, tijdens een m.e.r. worden (reële) alternatieven afgewogen. Om hierop aan te sluiten zal de UCAM-methode tot bijvoorbeeld een "meest hittebestendig" alternatief moeten komen. Hiervoor zou mogelijk een scenariostudie toegevoegd moeten worden aan de methode. Ten tweede, bij een m.e.r. worden nog veelal beslissingen genomen op basis van kwantitatieve gegevens, vaak zijn kosten en baten daarbij doorslaggevend. Om aan te sluiten bij m.e.r.-procedures heeft samenwerking met koste- batenanalyses hoge prioriteit.

6.6. Voorbeeld: Adaptatiebeleid in Gent

Gent is zich bewust van de stijgende gevoeligheid van de stad aan de gevolgen van de klimaatverandering, zoals hittegolven, neerslagextremen en droogte.

De stad Gent ziet binnen haar klimaatadaptatiestrategie de volgende 3 pijlers (Breugelmans, 2013¹):

1. kennisopbouw;
2. no-regretmaatregelen;
3. principes integreren in (visies op) beleidsplannen.

Kennisopbouw

Het belangrijkste onderdeel van kennisopbouw ten aanzien van hitteproblematiek is de ontwikkeling van een hittekaart. Deze is ontwikkeld aan de hand van onderzoek door Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) en Universiteit Gent. Hiervoor zijn 2 parameters in kaart gebracht, namelijk de oppervlaktetemperatuur en luchttemperatuur. Vervolgens worden de gemeten en gemodelleerde waarden geanalyseerd, onder andere door oorzaken te detecteren, kwetsbaarheid in kaart te brengen, toekomstprojecties te maken en beleidsaanbevelingen op te maken.

De onderzoeken van VITO over het stedelijk hitte-eiland zijn gepresenteerd op een stakeholderoverleg, georganiseerd door Milieudienst Gent. De onderzoeksresultaten en de uitkomsten van het stakeholderoverleg vormen de basis voor beleidsaanbevelingen om de stad weerbaarder te maken tegen hitte in de toekomst. Dit geeft aan dat het probleem van hitte op de agenda staat van Milieudienst Gent en Stad Gent.

Ook de Afdeling Mobiliteit en Ruimtelijke Planning (AMRP) van de Universiteit Gent heeft onderzocht wat de oorzaken voor het hitte-eiland in Gent zijn, en welke mensen en Gentse wijken het meest kwetsbaar zijn voor het stedelijk hitte-eiland². Ook doen zij aanbevelingen over hoe hittestress kan worden verminderd in de meest kwetsbare wijken.

No-regretmaatregelen

Terwijl het onderzoek lopende is, verkent Stad Gent alvast maatregelen waarvan zoveel positieve effecten worden verwacht dat zij het best zo spoedig mogelijk geïmplementeerd kunnen worden. Voorbeelden daarvan zijn integraal waterbeleid, groene daken, materiaalkeuze en verharding, straatbomen, groenzones, in bouwreglement, verkavelingsrichtlijn TMVW, aanleg openbaar domein en subsidies.

Principes integreren in (visies op) beleidsplannen

De derde pijler behelst het integreren van klimaatadaptatie in beleidsplannen. Het meest relevant zijn in dit verband de Structuurvisie 2030 (RSP) en het Groenstructuurplan. In de Structuurvisie 2030 wordt 'Gent, klimaatrobuuste stad' opgenomen in het Ruimtelijk Structuurplan. Specifieke suggesties voor een klimaatrobuuste stad zijn onder andere het aanbrengen van groen-blauwe netwerken (groenstructuur en water in de stad), streven naar windcorridors en beperken bodemafsluiting en verstening zodat infiltratie van water mogelijk wordt. Klimaatdoelstelling voor in het Groenstructuurplan zijn het actief inzetten van lucht- en klimaatgroen, en de groenstructuur klimaatrobuust uitbouwen. Specifieke acties in deze context zijn onder andere het opmaken van een handleiding inrichtingsvoorwaarden voor lucht- en klimaat-groen, en een groen fijnmazig netwerk creëren, dus ook op kleine schaal vergroenen.

¹ Stad Gent, Milieudienst en Dienst Coördinatie (RUMODO), Botermarkt 1, 9000 Gent.

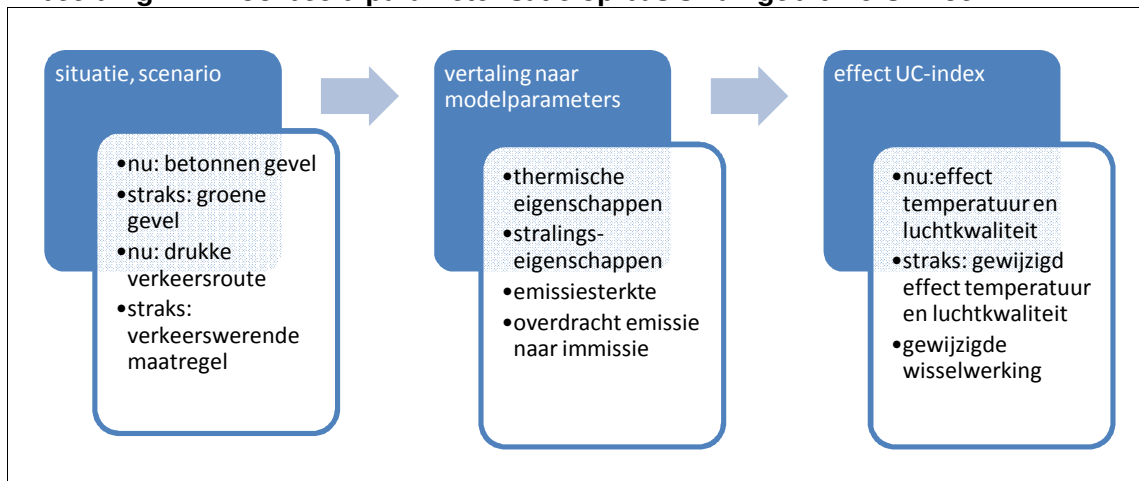
² Maiheu, B., Karel Van den Berghe, Luuk Boelens, Koen De Ridder en Dirk Lauwaet (2013) Opmaak van een hittekaart en analyse van het stedelijk hitte-eiland effect voor Gent. VITO 2013/RMA/R/113.

7. TOEPASSING VAN UCAM IN DE PRAKTIJK

7.1. Rekenmethode

De berekening van de indexen en de bijdrage van de gebouwde omgeving aan de totale effecten vindt plaats in de UCAM-rekenmethode (tool). Gebruikers van de methode kunnen in de tool invullen welke Local Climate Zone het best correspondeert met de wijk in de bestaande situatie en na herontwikkeling/maatregelen. Het groenoppervlak in de huidige en nieuwe situatie kan ook worden ingevuld en is van belang voor het bepalen van de effectiviteit. Daarnaast zijn de jaargemiddelde concentraties PM10 en NO₂ en de bijdrage van het verkeer en eventuele andere bronnen op te geven.

Afbeelding 7.1. Voorbeeld parameterisatie op basis van gebruikersinvoer



7.2. Casus 1: Bestaande hitteproblematiek in wijk Dampoort, Gent

Om de praktische toepasbaarheid van de UCAM-methode te toetsen is door Stad Gent een casus aangedragen. De wijk Dampoort is hiervoor geschikt vanwege de (binnen)stedelijke ligging, de hoge mate van versterking en de aanwezigheid van bronnen van luchtverontreiniging.

In deze casus behandelen wij een analyse van de hitteproblematiek in de wijk Dampoort. Onderzocht is of in de bestaande situatie maatregelen nodig zijn om de invloed van de stedelijke omgeving op de hitteproblematiek kunnen verminderen¹. Afbeelding 7.2 geeft het de ligging van de wijk weer, met de rode omlijning het studiegebied.

Deze casus is niet uitgevoerd met de versie van de UCAM-methode zoals beschreven in dit rapport. De methode waarin het relatief risico van 3,18 % is gebruikt is toegepast op deze casus. De indexering van de wijk verschilt dus met de hierboven beschreven indexering van de hitte-index (zie paragraaf 4.2).

¹ Dit wordt ook aangeduid met ex-post evaluatie.

Afbeelding 7.2. Satellietfoto Gent Dampoort



Het casusrapport behandelt de ex-post analyse van de Gentse wijk Dampoort, met als centrale vragen:

- in welke mate is hitteproblematiek aan de orde in de bestaande wijk Dampoort?
- welke maatregelen kunnen effectief worden ingezet?
- hoe kunnen deze maatregelen worden gerealiseerd?

7.2.1. Urban Climate Dampoort

Hitteanalyse

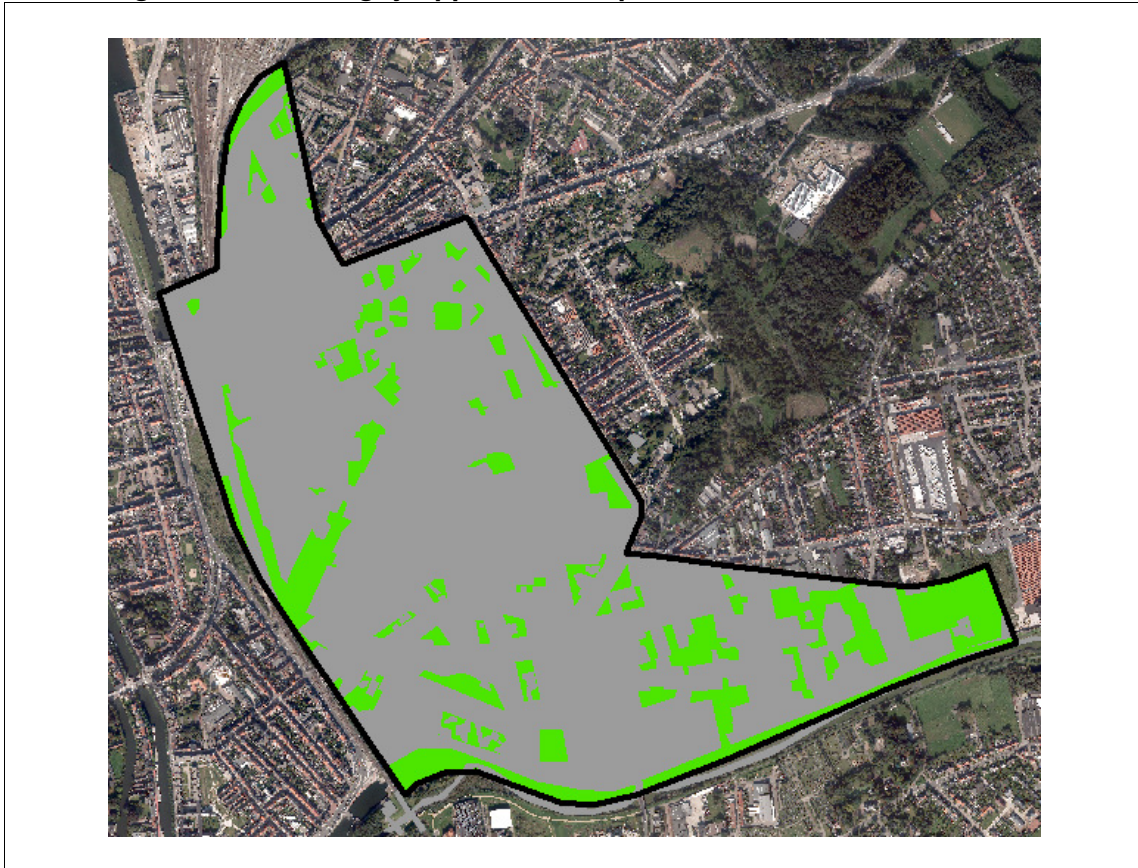
Uit de analyse van het groenoppervlak¹ in de wijk Dampoort blijkt dat het percentage groenoppervlak 18 % bedraagt van het totale oppervlak. In de eerder beschreven Local Climate Zones, werd Dampoort gekenmerkt als LCZ3, waarin een standaard groenoppervlak van 20 % werd verondersteld. Op basis van de analyse is dit aangepast naar de specifieke waarde voor Dampoort. De groene percelen zijn weergegeven in afbeelding 7.3.

Er zijn grote lokale verschillen in de verdeling van het groenoppervlak over de wijk. Zo is de verhouding groenoppervlak in en aan de zuidzijde van de wijk een stuk hoger dan in en aan de noordzijde². In het noordelijk deel bedraagt de hoeveelheid groen slechts circa 13 %, in het zuidelijk deel maar liefst 32 % (afbeelding 7.4).

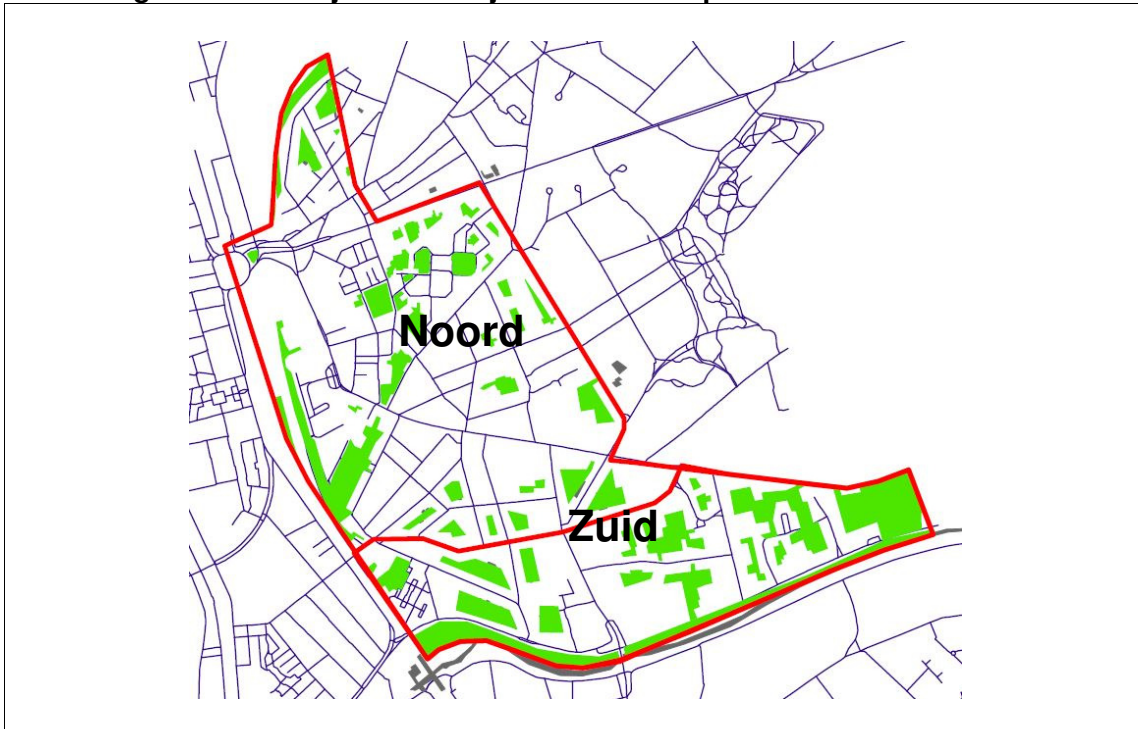
¹ Het gaat om 'noemenswaardige' percelen groenoppervlak: voor de berekening van het groenoppervlak is niet iedere individuele boom, struik of plantenbak in kaart gebracht, aangezien de verkoelende werking hiervan op wijkniveau te beperkt is.

² De verschillende delen zijn van een voldoende ruimtelijke omvang om invloed uit te oefenen op de warmtehuishouding en zodanig onderscheid te maken bij de beoordeling van de hitteproblematiek.

Afbeelding 7.3. Groen- en grijsoppervlak Dampoort



Afbeelding 7.4. Noordelijk en zuidelijk deel van Dampoort



In tabel 7.1 is weergegeven hoe dit uitpakt voor de hitte in de deelgebieden.

Tabel 7.1. Resultaten hitteanalyse Dampoort

deelgebied	LCZ	% Groen	Tgem * (°C)	UHI * (°C)	hitte-index (0-1)	categorie en duiding hitte-index **
ruraal (referentie)	-	-	24,6	-	0	O. geen bebouwingsinvloed
Dampoort, noord	3	13 %	27,3	2,7	0,80	IV. overschrijding van vergelijkbare alarmdrempelwaarde; verdubbeling van risico's tijdens hittegolf
Dampoort, Zuid	3	32 %	26,7	2,1	0,63	III. overschrijding van vergelijkbare informatiedrempel; overschrijding van vergelijkbare alarmdrempelwaarde

* Dit is de etmaalgemiddelde luchttemperatuur tijdens gemodelleerde hittegolf.

** Deze categorie aanduiding is na de casus aangepast. Dit betreft dus een afwijkende aanduiding ten opzichte van de beschrijving in dit rapport.

Met het huidige percentage groen van 13 % in het noordelijk deelgebied is de bijdrage van de stedelijke omgeving aan de hittegevoeligheid in Dampoort zeer sterk (categorie IV). De stedelijke omgeving zorgt voor 85 % hogere risico's op mortaliteit en overige gezondheidseffecten. Het extra risico is vergelijkbaar met overschrijding van de alarmdrempel voor ozon. Maatregelen zijn in dit deelgebied noodzakelijk om de bijdrage te verminderen en zo een prettiger leefklimaat te creëren in de wijk.

In het zuidelijk deelgebied slaat de index minder hoog uit. De hitte-index valt in categorie III, hetgeen betekent dat de informatiedrempel maar waarschijnlijk ook de alarmdrempel wordt overschreden.

Uit de hitteanalyse voor Dampoort blijkt dat de gezondheidsrisico's bij hittegolven substantieel verhoogd worden door de stedelijke omgeving. In beide deelgebieden leidt de stedelijke omgeving tot een onacceptabele verhoging van de gezondheidsrisico's, vergelijkbaar met de alarmdrempel voor ozon.

Luchtkwaliteit

In tabel 7.2 zijn de bevindingen weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen locaties met een verschillende karakterisering van de luchtkwaliteit. Ter vergelijking zijn de resultaten voor een rurale locatie, buiten de stad, weergegeven.

Uit de resultaten valt op dat de luchtkwaliteitsindex weinig varieert. Dit hangt samen met het relatief grote aandeel luchtverontreiniging dat vanuit de omgeving (buiten de stad) wordt aangevoerd. Dit geldt voor beide componenten. Hoewel de lokale bijdrage PM10 hoger is dan jaargemiddeld, is deze beperkt ten opzichte van de grootschalige ophoging.

Tabel 7.2. Resultaten analyse luchtkwaliteit Dampoort

deelgebied	PM10 jaargem. (µg/m ³)	PM10 * etmaalgem. (µg/m ³)	NO ₂ jaargem. (µg/m ³)	O ₃ * 8-uursgem. (µg/m ³)	AQ-index ***	
ruraal (referentie)	29	46	27	121	0,35	II.
noord: drukke straat**	32	50	35	121	0,41	III.
noord: wijk	31	48	30	121	0,37	II.
zuid: drukke straat**	31	49	33	121	0,39	II.
zuid: wijk	31	48	28	121	0,36	II.

* Tijdens gemodelleerde hittegolf.

Op deze stedelijke en rurale achtergrondlocaties, treedt beperkte hinder op en zijn mogelijk gezondheidsrisico's aan de orde (categorie II). De risico's zijn vergelijkbaar met een overschrijding van de informatiedrempel voor ozon, hetgeen relevant kan zijn voor specifieke gevoelige doelgroepen. In de drukke straten leidt de lokale, tijdens hittegolf verhoogde, bijdrage PM10 tot een verhoogde indexwaarde. In het noordelijk deelgebied van Dampoort leidt dit tot een AQ-index van 0,41. Hier treedt hinder op en zijn gezondheidsrisico's aan de orde (categorie III). De risico's zijn vergelijkbaar met overschrijding van de alarmdrempel voor O₃, hetgeen onacceptabel is naar Europese maatstaven.

UC-index

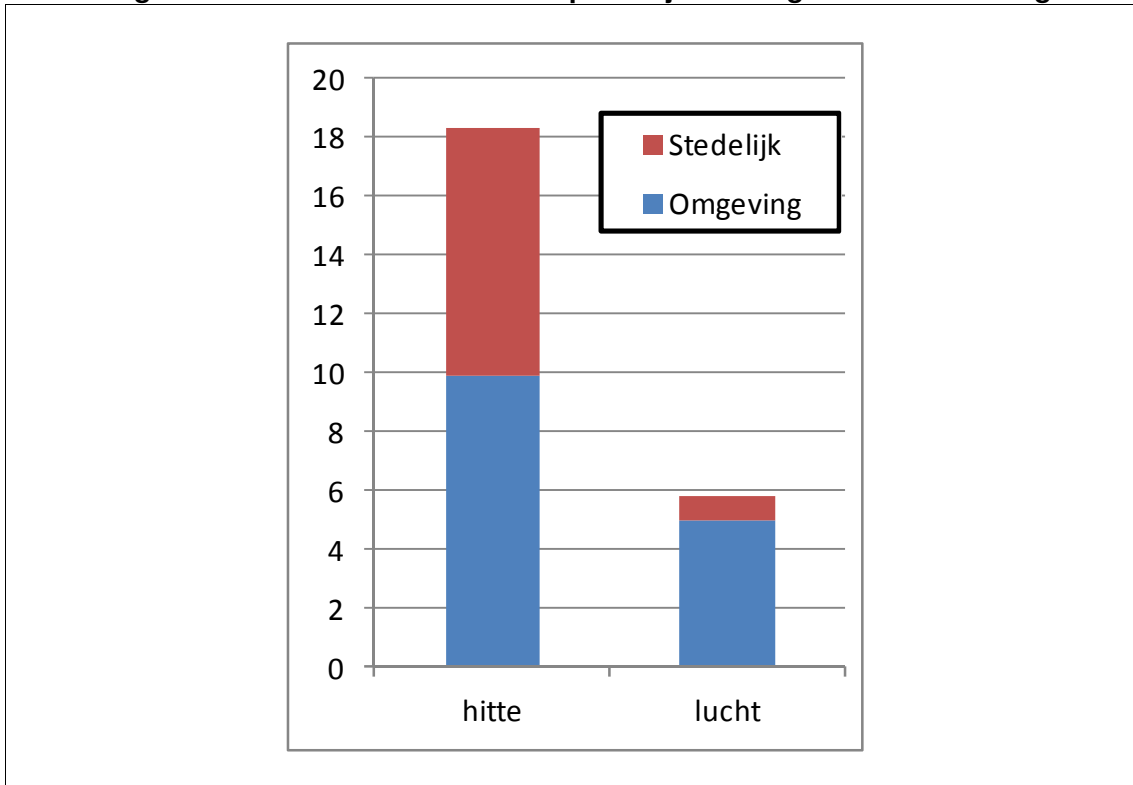
De Urban Climate index, afgekort UC-index, is samengesteld uit de 2 genoemde aspecten hitte en luchtkwaliteit. Onderstaande tabel vat de resultaten samen en geeft aan hoe de UC-index uitpakt voor de verschillende locaties in Dampoort. Tevens is weergegeven in welke mate de stedelijke omgeving van invloed is op de hitte en luchtverontreiniging tijdens een hittegolf. Elke wijk zit in categorie III (onacceptabel) van de UC-index. Er is echter wel een groot verschil in score binnen deze categorie; noord scoort hoog in categorie III terwijl zuid laag scoort.

Tabel 7.3. UC-index Dampoort

deelgebied	hitte-index ** (0-1)	AQ-index	UC-index**	wijk invloed hitte	wijk invloed luchtkwaliteit
ruraal (referentie)	0	0,35	35	+ 0 %	+ 0 %
noord: drukke straat	0,80	0,41	121	+ 86 %	+ 17 %
noord: wijk	0,80	0,37	117	+ 86 %	+ 7 %
zuid: drukke straat	0,63	0,39	102	+ 67 %	+ 12 %
zuid: wijk	0,63	0,36	99	+ 67 %	+ 4 %

** Deze categorie aanduiding is na de casus aangepast. Dit betreft dus een afwijkende aanduiding ten opzichte van de beschrijving in dit rapport.

Afbeelding 7.5. Gezondheidsrisico's Dampoort tijdens de gesimuleerde hittegolf



7.2.2. Assessment

In het tweede onderdeel (Assessment) in de UCAM-methode werd duidelijk dat de hitteproblematiek naar acceptabel niveau is terug te dringen door een aanzienlijk deel van het verharde oppervlak in de wijk om te zetten naar groen. In het noordelijk deel van de wijk is de doelstelling om 21 % verhard oppervlak om te zetten. Dit betekent concreet een ruimtelijke opgave van circa 20 ha groen. In het veel groenere zuidelijk deel van Dampoort is de opgave 3 % groen, overeenkomend met een ruimtelijke opgave van 1,5 ha groen. De invloed van de gebouwde omgeving op de stedelijke temperatuur tijdens hittegolven wordt dan teruggebracht tot onder de alarmdrempel.

Aangezien de verbeteropgave voor luchtkwaliteit vooral buiten de wijk Dampoort ligt, zijn de volgende stappen gericht op de maatregelen om hitte tegen te gaan.

Groene oplossingsrichtingen

Ruimtelijke ingrepen zijn gewenst voor zowel de nacht- als dagsituatie tijdens hittegolven. Voor de nachtsituatie is vooral een toename van het groenoppervlak het streven, waarbij relatief weinig eisen gesteld hoeven te worden aan het type groen. Alleen de toename van de groenpercentages kan immers al effect hebben op de snellere en verdere afname van de nachttemperatuur.

Tijdens de dagsituatie is juist de kwaliteit en het type groen van belang. Het realiseren van toegankelijk en beschermend (schaduwrijk) groen verhoogt de leefbaarheid van de wijk tijdens hittegolven, doordat uitvluchtmogelijkheden wordt geboden voor bewoners. De belangrijkste maatregel voor de dagsituatie is een toename in publiektoegankelijk beschermend groen. Vooral het noordelijk deelgebied van Dampoort heeft hier een groot tekort aan. Dit vraagt om de ontwikkeling van nieuwe terreinen of het aanpassen van bestaande

publieke voorzieningen. Bij de ontwikkeling van nieuwe groenvoorzieningen moet vooral gelet worden op de schaduwwerking van het groen. Daarnaast moet de plek een gebruiksfunctie hebben, waardoor bewoners tijdens warme dagen ook gebruik zullen maken van de voorziening.

Om de doelstelling te bereiken moet het streefbeeld gerealiseerd worden in de hittegevoelige delen van de wijk. Hieruit spreekt een duidelijke vraag naar management van de inrichting van de wijk.

7.2.3. Management

Voor het management van groen zijn 2 type groen onderscheiden:

- publiek groen;
- privaat groen.

Voor publiek groen geldt dat deze vooral een beschermende functie dient te hebben. Hiervoor kan bestaand publiek groen geoptimaliseerd worden maar ook vooral nieuw publiek groen gerealiseerd worden. Het verkrijgen van ruimte voor openbaar groen kan op meerdere manieren.

Voor privaat groen geldt dat er niet directe invloed uitgeoefend kan worden op de inrichting van grond. Daardoor is het moeilijk om eisen te stellen aan het oppervlak laat staan het type groen dat er gerealiseerd en behouden kan worden.

7.2.4. Conclusie ex post casus

Uit de ex post analyse is gebleken dat de hitteproblematiek van de wijk Dampoort als onacceptabel wordt geduid: door invloed van de stedelijke omgeving treedt voor alle blootgestelden een substantieel verhoogd gezondheidsrisico op tijdens hittegolven. Dit verhoogde risico is vergelijkbaar met het risico dat optreedt bij overschrijding van de alarmdrempel voor ozon.

De wijk heeft een duidelijke tweedeling wat betreft de ernst hiervan. Het noordelijk deel heeft relatief weinig groen, en is zeer sterk hittegevoelig. Hoewel het zuidelijk deel meer groen bevat, is de situatie tijdens hittegolven ook in dat deel onacceptabel. Ten aanzien van de luchtkwaliteit tijdens hittegolven, is er relatief weinig onderscheid tussen de wijkdelen onderling en ten opzichte van de rurale referentie. Dit betekent dat lokale maatregelen relatief beperkt effect hebben. Een structurele verbetering van de luchtkwaliteit in de stad en omgeving is daarvoor effectiever.

Het aanbrengen van meer groen in de wijk kan tot een meer acceptabele situatie tijdens hittegolven. Hiervoor is een groenopgave nodig van 3 % in het zuidelijk deel, en 21 % in het noordelijk deel. In de casus zijn aanbevelingen gedaan hoe dit gerealiseerd kan worden en wat de globale investeringskosten zijn.

7.3. Casus 2: Beoordeling hitteproblematiek in stadsontwikkelingsproject Dampoort

Om de praktische toepasbaarheid van de UCAM-methode in een ex-ante evaluatie te toetsen is door Stad Gent een casus aangedragen.

Het stadsontwikkelingsproject Dampoort is hiervoor geschikt omdat het project zich afspeelt in een (binnen)stedelijke omgeving met een hoge mate van verstering en de aanwezigheid van bronnen van luchtverontreiniging. Voor de ontwikkeling van een stuk braak-

liggend terrein zijn 3 verschillende alternatieven (XL, Compact en Plint) onderzocht. De alternatieven hebben een verschillende stedelijke inrichting, waaronder de hoeveelheid groen. Hierdoor is het zinvol om na te gaan hoe de verschillende alternatieven scoren op het aspect 'hitte in de stad'.

Opgemerkt wordt dat de 3 onderzochte alternatieven allemaal het ontsluitingsalternatief 'tunnel' als basisscenario hebben. De 3 beschouwde alternatieven hebben ten opzichte van elkaar uitsluitend een andere inrichting van het stationsgebied en zuidelijk deel-/woongebied.

7.3.1. Urban Climate stadsontwikkelingsproject Dampoort

Hitteanalyse

De ruimtelijke schaal waarop het UHI kan worden bepaald (met de in dit project gebruikte methode¹) is 400 tot 1.000 m doorsnede. Omdat het projectgebied kleiner is dan dat, is voor het in kaart brengen van de hitteproblematiek naast het projectgebied ook het omliggende gebied meegenomen (projectgebied en omliggend gebied = studiegebied, de totale afmeting bedraagt circa 1.200 bij 500 m). In afbeelding 7.6 is het projectgebied en omliggend studiegebied weergegeven.

In tabel 7.4 zijn de groenpercentages van het studiegebied weergegeven voor de verschillende alternatieven. Door de ontwikkeling van het projectgebied is besloten om het studiegebied in de huidige situatie te classificeren als LCZcontrol en na de ontwikkeling als LCZ2. In de huidige situatie is 14,4 % van het oppervlak groen (studiegebied), na de ontwikkeling neemt het groenpercentage af. Omdat er minder groen kan worden gerealiseerd en door verandering in de H/W-ratio (indicator skyview-factor) leidt de verandering tot een hogere hitte-index (hittegevoeliger).

¹ Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900.

Afbeelding 7.6. Studiegebied (rood omlijnd) en projectgebied (blauw omlijnd)



Tabel 7.4. Groenpercentage per alternatief in het studiegebied

alternatieven	totaal bestaand groen	realiseerbaar groen			totaal na realisatie
		tram smal	tram breed	groene daken*	
0-alternatief	14,4 %	-	-	-	14,4 %
tunnelXL	11,5 %	0,7 %	1,4 %	-	12,9 %
compact	12,2 %	0,7 %	1,4 %	1,9 %	15,5 %
plint	11,7 %	0,7 %	1,4 %	-	13,1 %

* Alleen voor het meest groene alternatief compact meegenomen.

Luchtkwaliteit

Binnen het studiegebied zijn enkele representatieve locaties geselecteerd waarvoor de concentratieverschillen zijn bepaald op basis van het luchtkwaliteitsonderzoek. Onderstaande tabel 7.5 geeft de resultaten voor deze locaties weer voor PM10 en NO₂.

Tabel 7.5. Verschillen PM10 en NO₂ tussen 0-alternatief en tunnelscenario

deelgebied	PM10 jaargemiddeld (µg/m ³)*	NO ₂ jaargemiddeld (µg/m ³)
0-alternatief (stationsgebied)	31	31
tunnelscenario *** (stationsgebied)	30	29
0-alternatief (zuidelijk deel/woongebied)	31	31
tunnelscenario *** (zuidelijk deel/woongebied)	33 (+/-2)**	35 (+/-3)**
0-alternatief (nabij tunnelmond)	31	31
tunnelscenario *** (nabij tunnelmond)	37 (+/-2)	42 (+/-3)

* De PM10-concentraties zijn geschat op basis van de NO₂ concentraties.

** In het zuidelijk deel variëren de concentraties sterk als gevolg van de diverse drukke ontsluitingswegen in het gebied.

*** Er is binnen het tunnelscenario geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende alternatieven. Vanwege verschillen in bruto oppervlaktes woon-/kantoorruimte, kan de verkeersaantrekkende werking naar het projectgebied wel degelijk verschillen per alternatief.

UC-index

Voor het bepalen van de UC-index (tabel 7.6) is onderscheid gemaakt tussen het stationsgebied, het zuidelijk deel (woongebied), en het gebied nabij de zuidelijke tunnelmond. In de bestaande situatie (het 0-alternatief) worden deze locaties aangeduid als risicovol (categorie II volgens de UC-index). Dit houdt in dat tijdens hittegolven de stedelijke omgeving leidt tot een gezondheidsrisico voor gevoelige doelgroepen.

In de situatie met planrealisatie scoren de inrichtingsalternatieven allemaal minder gunstig dan het 0-alternatief. In het stationsgebied wordt de situatie na planrealisatie onacceptabel (categorie III, volgens de UC-index). Dit houdt in dat tijdens hittegolven de stedelijke omgeving leidt tot een verhoogd gezondheidsrisico voor iedereen.

Tabel 7.6. UC-index studiegebied

alternatieven	UC-index		
	stationsgebied	zuidelijk deel/woongebied	nabij tunnelmond
0-alternatief	121	119	119
tunnelXL	126	130	136
tunnelXL (groene trambaan, breed)	126	130	136
plint	126	130	136
plint (groene trambaan, breed)	126	130	136
compact	126	130	136
compact (groene trambaan, breed)	126	130	136
compact (groene trambaan, breed en groene daken)	125	129	135

Uit het onderzoek blijkt dat de bijdrage van de wijk aan de hitteproblematiek in het huidige scenario en bij de alternatieven groot is. Groene daken en tramlijn resulteren wel in een verlaging van de problematiek maar dragen te weinig bij om de hitte-index van de hele wijk fors te verminderen. Voor het alternatief compact is ook nog berekend wat het effect van groene daken is.

7.3.2. Assessment

De hitteopgave

Voor het terugdringen van de hittegevoeligheid (risico's van hitte) is het realiseren van extra groen op dit moment de meest haalbare oplossingsrichting. In de 0-situatie wordt het studiegebied in categorie II van de hitte-index geschaald. Dit betekent dat tijdens hittegolven een risicovolle situatie ontstaat. Risico's voor de gezondheid voor met name gevoelige

doelgroepen worden verhoogd door de bijdrage van de gebouwde omgeving. De planrealisatie in het studiegebied leidt tot hogere waarden in de hitte-index (categorie III, onacceptabel). Dit is vooral het gevolg van de toename van bebouwing in het studiegebied.

Om van categorie III (onacceptabel) terug naar categorie II (risicovol) te komen, dient een groenpercentage van totaal 20 % te worden gerealiseerd in het studiegebied. Om tot categorie I (acceptabel) te komen zou in totaal 46 % groen gerealiseerd moeten zijn.

De luchtkwaliteitsopgave

De luchtkwaliteit in de wijk is in de 0-situatie geclassificeerd als risicovol (categorie II). In de tunnelscenario is sprake van deels verbetering (stationsgebied) maar ook verslechtering (zuidelijk deel/woongebied en nabij tunnelmond). Met name bij de tunnelmond, die uitkomt bij nieuwe woningen, zijn de concentraties luchtverontreiniging hoog. In het gehele gebied kunnen tijdens hittegolven risico's voorkomen die vergelijkbaar zijn met overschrijding van de alarmdrempel van ozon (AQ-index, categorie III). Het streven is om de luchtkwaliteit te verbeteren zodat de AQ-index onder de 0,4 uitkomt.

De opgave voor luchtkwaliteit heeft met name betrekking op het terugdringen van de jaargemiddelde concentraties. Om tot een acceptabele indexwaarde te komen moeten de jaargemiddelde concentraties PM10 en NO₂ dalen tot 30 µg/m³. Voor het verbeteren van de luchtkwaliteit kan het verplaatsen van de tunnelmond naar een gebied waar geen woningen staan resulteren in lagere risico's. Andere maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren moeten met name op regionale schaal worden genomen.

7.3.3. Management

Verdere optimalisering biedt een kans om de wijk nog verder te vergroenen. Dit kan gedaan worden door naast het geplande groenoppervlak, een bomenlaan langs de trambaan te realiseren of de nieuwe gebouwen van groene daken te voorzien. Van het te realiseren groen moet worden gestreefd naar een zo hoog mogelijk percentage toegankelijk en beschermend (kwalitatief) groen. Dit type groen verhoogt de leefbaarheid van de wijk tijdens hittegolven doordat uitvluchtmogelijkheden worden geboden voor bewoners.

Het inrichtingsalternatief 'compact' biedt in de centrale woongroenzone ruimte voor dit type groen, bij de andere alternatieven is dat niet/nauwelijks mogelijk. Hierdoor wordt dit alternatief beoordeeld als het meest hittebestendig.

7.3.4. Conclusie ex ante casus

Uit de ex ante analyse is gebleken dat de hitteproblematiek in de huidige situatie in het studiegebied risicovol is (categorie II). De inrichtingsalternatieven scoren rondom het stationsgebied in de UC-index ongunstiger (onacceptabel, categorie III) dan het 0-alternatief. Rondom de tunnelmond verslechtert de situatie aanzienlijk. Net als het stationsgebied zijn alle alternatieven in dit gebied geclassificeerd in categorie III (onacceptabel), echter is de UC-index wel aanzienlijk hoger dan in het stationsgebied.

Voor het verbeteren van de situatie ten aanzien van hitte moet met name worden gedacht aan extra groen in de wijk. Met 20 % groen in de inrichtingsalternatieven wordt de hitte-index teruggebracht naar categorie II. De streefwaarde van 46 % om in categorie I (acceptabel) te komen, lijkt niet realistisch. Van het te realiseren extra groen moet worden gestreefd naar een zo hoog mogelijk percentage toegankelijk en beschermend (kwalitatief) groen.

Het verbeteren van de luchtkwaliteit zal gericht moeten zijn op de tunnelmonden. Afschermingsmaatregelen (zoals een 'dove gevel' aan de kant van de tunnelmond), reductiemaatregelen (zoals elektrostatisch reinigen), overdrachtsmaatregelen (zoals afzuiging van de lucht in de tunnel) of, indien mogelijk, het verplaatsen van de tunnelmond naar een gebied waar geen woningen staan resulteren in lagere risico's. Andere maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren moeten met name op regionale schaal worden genomen.

Het inrichtingsalternatief 'compact' biedt in de centrale woongroenzone ruimte voor kwalitatief groen. Bij de andere alternatieven is het realiseren van dit type groen nauwelijks mogelijk. Hierdoor is het alternatief 'compact' in vergelijking met de andere onderzochte alternatieven het meest hittebestendig. Om het studiegebied minder hittegevoelig te maken zullen er ook maatregelen moeten worden getroffen in andere delen.

8. DISCUSSIE EN EVALUATIE

In deze discussie wordt kort stilgestaan bij de verschillende onderdelen en uitgangspunten van het project en hoe deze zich tijdens het project ontwikkeld hebben. De volgende punten aan bod:

1. kwantificering van milieueffecten tijdens een hittegolf;
2. kwantificering van gezondheidsrisico's;
3. praktijkgebruik UCAM-methode.

8.1. Kwantificering van milieueffecten tijdens een hittegolf

Hitte

Bij aanvang van het UCAM-project was de verwachting dat meerdere maatregelen (significante) invloed konden hebben op de bijdrage van de stedelijke omgeving aan de gevoeligheid. De volgende wijkparameters zijn hierbij onderzocht:

- gebouwhoogte en straatbreedte (H/W-ratio);
- dak-, gevel-, en wegmateriaaltype:
 - albedo;
 - geleidingscoëfficiënt;
 - emissiviteit (vermogen om warmtestraling uit te zenden);
- groenfactor (percentage groen oppervlak);
- waterfactor (percentage blauw oppervlak);
- antropogene warmte.

Het bleek uit de WRF-modellering dat de groenfactor er duidelijk uitspringt als factor met grote invloed heeft op de luchttemperatuur. Andere parameters blijken minder effectief. Mogelijk hebben maatregelen die ingrijpen op combinaties van parameters wel degelijk een effect. De UCAM-methode is in principe goed bruikbaar om dergelijke effecten mee te nemen in de wijkbeoordeling. Het vergt echter vervolgonwikkeling om deze effecten te kwantificeren.

De WRF-modellering biedt veel mogelijkheden om details in de parameterisatie van een wijk. Toch blijft het een model, dus een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Dit betekent dat de resultaten uit de analyses betrouwbaar kunnen zijn, maar dat de interpretatie en toepassing ervan in een specifieke wijk zijn beperkingen heeft. Het meest concreet komt dat tot uiting in de keuze van de Local Climate Zone. Hierin zijn diverse fysieke parameters gebundeld tot een wijktype. Het ligt voor de hand dat afwijkende wijktypen ook afwijkende resultaten geven. Hierin is voorzien door een eerste selectie van meest voorkomende wijktypen. In een vervolgonwikkeling kunnen meerdere wijktypen worden meegenomen. Daarnaast speelt deze modelbeperking in de groenfactor. De groenfactor is in het WRF-model ingesteld als gras dat voldoende bodemvocht heeft om te verdampen. Dit betekent dat wanneer een grasveld in een wijk niet goed wordt bevochtigd tijdens warme periodes, dit oppervlak weinig zal bijdragen aan enige verkoeling in de wijk. Dit kan leiden tot een te optimistisch resultaat. Anderzijds betekent dit dat wanneer het groen in een wijk bestaat uit bomen, het resultaat juist te conservatief is (het effect van groen wordt dan onderschat). Bomen hebben immers een bladoppervlak en kunnen daardoor meer verdampen, meer koelen. Daarnaast zal de schaduwwerking zeer lokaal een verkoeling geven. In de UCAM-beoordeling wordt deze positieve invloed op een kwalitatieve manier meegenomen.

Luchtkwaliteit

Het modelleren van concentraties luchtverontreiniging in een wijk tijdens een hittegolf is lastig. Dit komt met name doordat luchtverontreiniging van verschillende factoren (groot-schalige aanvoer, lokale productie en reductie) afhankelijk is, en deze factoren verschillen

in tijd en locatie. De transformatie die is opgesteld in dit onderzoek voor het bepalen van concentraties luchtverontreiniging houdt zeer globaal rekening met al deze factoren. De ozonconcentratie en de PM10 ophoping zijn vastgesteld. De wijkspecifieke factoren die een rol spelen bij de AQ-index zijn de jaargemiddelde concentraties en de verkeersinvloed.

Uit modellering van de verkeersinvloed kwam naar voren dat de bijdrage van het verkeer tijdens hittegolf omstandigheden 2 keer zo hoog is als normaal. Echter is de absolute bijdrage en de invloed van de verkeersemisies op de totale concentratie nog steeds relatief klein.

De invloed van stedelijke omgeving op de luchtkwaliteit tijdens hittegolven is beperkt, aangezien grootschalige invloeden dominant zijn. Wijkspecifieke maatregelen om de luchtverontreiniging tijdens hittegolven terug te dringen zijn dus weinig effectief. Maatregelen voor het verbeteren van de luchtkwaliteit moeten dus vooral op stads-, regionale of (inter)nationale schaal worden genomen.

Uit wetenschappelijke literatuur blijkt dat met name de kleinere fracties fijn stof (zoals PM2.5, PM1.0, ultra fijn stof, roet en elementair koolstof) relevant zijn voor gezondheidseffecten. Met name op fysiologisch niveau (cel, weefsel van organismen) is de laatste jaren meer inzicht ontstaan en is de causaliteit van luchtverontreiniging aangetoond. Op epidemiologische schaal ontbreekt het echter nog aan voldoende gefundeerde relaties tussen de concentraties van deze stoffen tijdens hittegolven en de verhoogde mortaliteit. Dit komt vooral vanwege de nog onvoldoende, nog onbetrouwbare of nog te recente beschikbaarheid van meetgegevens tijdens hittegolven. Door de opzet van de UCAM-beoordeling, met de relatieve risico's als basis, kunnen nieuwe wetenschappelijke inzichten worden meegenomen. Wanneer de relatieve risico's op basis van kleinere fracties kunnen worden bepaald, kan dit mogelijk leiden tot een sterker contrast tussen straten en wijken.

8.2. Interactie hitte en luchtkwaliteit

Bij aanvang van het UCAM-project is de veronderstelling gemaakt dat hitte en luchtverontreiniging 2 aspecten zijn die zowel qua fysieke effecten als gezondheidseffecten een interactie aangaan. Dit is ten dele ook zo gebleken. Er ligt een sterk (statistisch) verband tussen waargenomen hoge temperaturen en waargenomen hoge concentraties luchtverontreiniging. De causale oorzaken hiervan kunnen dit bevestigen, zoals het geval bij ozon, waarvan de productie sterk toeneemt bij hogere temperaturen en sterke UV-straling. Van andere vormen van fysieke wisselwerking tussen hitte en luchtverontreiniging is vastgesteld dat deze te complex is en onvoldoende betrouwbaar kunnen worden bepaald.

De interactie van hitte en luchtverontreiniging op het gebied van gezondheidseffecten is ook te dele gevonden. Diverse wetenschappelijke studies geven hogere relatieve risico's in de zomer, dan bij vergelijkbare concentratieveranderingen in de winter. Dit kan door veel factoren worden verklaard. Een studie vond wel degelijk ook een grotere gevoeligheid bij mensen voor luchtverontreiniging tijdens hitte, in vergelijking met koudere temperaturen. Indien hierover meer wetenschappelijke consensus ontstaat, zou dit in de UCAM-beoordeling kunnen worden meegenomen in een vervolgonwikkeling.

8.3. Baten uit verminderde gezondheidsrisico's

Bij de start van het UCAM-project stond de kwantificering van gezondheidseffecten centraal. Deze kwantificering zou mede mogelijk maken dat (naast de kosten) ook de baten van maatregelen beter kunnen worden geschat.

De baten van maatregelen hangen sterk samen met de vermindering van gezondheidseffecten en hoe dat in geld uitgedrukt kan worden. Het optreden van gezondheidseffecten is echter lastig te voorspellen. Gezondheidseffecten zijn afhankelijk van de blootstelling aan schadelijke stoffen, maar ook van individuele factoren zoals leeftijd, eetgewoonte, conditie etc. Omdat deze factoren sterk verschillen per individu kan geen schatting worden gemaakt voor de effecten die optreden onder de bevolking van een wijk. Wel kan aan de hand van de verhoogde blootstelling aan schadelijke stoffen het extra risico op gezondheidseffecten (in dit geval mortaliteit) worden voorspeld.

Voor de berekening van de gezondheidseffecten van maatregelen kan met de UCAM-methode wetenschappelijk onderbouwd worden wat het effect van een maatregel is op het extra risico van mortaliteit. Met behulp van kentallen kan het extra risico in geld worden uitgedrukt. Echter is bekend dat sterfte (en verminderde levensjaren) slechts een zeer klein deel van de gezondheidseffecten zijn. Een toevoeging kan het berekenen van verloren arbeidsproductiviteit zijn, of de opname van personen in het ziekenhuis of bij de dokter. De afname van deze effecten door maatregelen, zijn echter veel moeilijker te voorspellen dan het risico. Bovendien zijn voor deze aspecten geen (eenduidige) kengetallen beschikbaar, waardoor het vraagt om aanvullend onderzoek. Verschillende aannames maken de betrouwbaarheid van de baten laag, en manipuleerbaar voor het gewenste resultaat (een positieve kosten-batenanalyse). De baten van groen in de stad kunnen natuurlijk ook bijdragen. De toegevoegde vastgoedwaarde is daarin belangrijk, maar vooral ook de verminderde beheerskosten van openbaar groen ten opzichte van verharde inrichtingstypen.

Een koppeling van de UCAM-methode aan een MKBA of aan bijvoorbeeld TEEB vereist nader onderzoek.

9. GEBRUIKTE WETENSCHAPPELIJKE LITERATUUR

1. Analitis, A., Michelozzi, P., D'Ippoliti, D., de'Donato, F., Menne, B., Matthies, F., ... & Katsouyanni, K. (2014). Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants. *Epidemiology*, 25(1), 15-22.
2. Armstrong, B. G., Chalabi, Z., Fenn, B., Hajat, S., Kovats, S., Milojevic, A., & Wilkinson, P. (2010). Association of mortality with high temperatures in a temperate climate: England and Wales. *Journal of epidemiology and community health*, jech-2009.
3. Black, E., Blackburn, M., Harrison, G., Hoskins, B. & Methven, J. (2004) Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. *Weather* Vol. 59, No. 8.
4. CBS, PBL, Wageningen UR (2013) Stikstofoxiden in lucht, 1990-2012 (indicator 0493, versie 07, 31 oktober 2013).www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
5. D'Ippoliti, D. en anderen (2010) The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project; *Environmental Health* 9:37.
6. Donaldson, G.C., Ermakov, S.P., Komarov, Y.M., McDonald, C.P., Keatinge, W.R. (1998) Cold related mortalities and protection against cold in Yakutsk, eastern Siberia: observation and interview study. *BMJ*; 317: 978-982.
7. Elshout, van den, S., Léger, K., & Nussio, F. (2008). Comparing urban air quality in Europe in real time: A review of existing air quality indices and the proposal of a common alternative. *Environment International*, 34(5), 720-726.
8. Environmental Protection Agency (2008) Reducing Urban Heat Islands - Compendium of Strategies; United States Environmental Protection Agency.
9. Fischer, P.H., Brunekreef, B., Lebet E. (2004) Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands; *Atmospheric Environment* 38; 1083-1085
10. Garssen, J., C. Harmsen, en J. de Beer (2005) The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *Euro Surveill*; 10(7): 165-8.
11. Gryparis, A., Forsberg, B., Katsouyanni, K., Analitis, A., Touloumi, G., Schwartz, J., Samoli, E., Medina, S., Anderson, H.R. Maria Niciu, E., Erich Wichmann H., Kriz, B., Kosnik, M., Skorkovsky, J., Vonk, J.M. Dörtbudak, Z. (2004) Acute effects of ozone on mortality from the "air pollution and health: a European approach" project. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 170(10), 1080-1087.
12. Hajat, S., Kovats, R. S., Atkinson, R. W., & Haines, A. (2002). Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *Journal of epidemiology and community health*, 56(5), 367-372.
13. Heusinkveld, B.G. G.J. Steeneveld, L.W.A. van Hove, C.M.J. Jacobs, and A.A.M. Holtslag 2013: Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use, *J. Geophys. Res*, in press, doi: 10.1002/2012JD019399.
14. Hoek, G., Brunekreef, B., Verhoeff, A., Wijnen, J. van & Fischer, P. (2000) Daily Mortality and Air Pollution in the Netherlands, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50:8, 1380-1389.
15. Huynen et al, 2001, The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population, *Environmental Health Perspectives* • VOLUME 109 | NUMBER 5 | May 2001.
16. Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Gryparis, A., Le Tertre, A., Monopoli, Y., ... & Schwartz, J. (2001) Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology*, 12(5), 521-531.
17. KNMI'14; klimaatscenario's voor Nederland, leidraad voor professionals (2014) KNMI.
18. KNMI (2014): KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century - A Netherlands perspective; by Bart van den Hurk, Peter Siegmund, Albert Klein Tank (Eds), Jisk Attema, Alexander Bakker, Jules Beersma, Janette Bessembinder, Reinout Boers, Theo

Brandsma, Henk van den Brink, Sybren Drijfhout, Henk Eskes, Rein Haarsma, Wilco Hazeleger, Rudmer Jilderda, Caroline Katsman, Geert Lenderink, Jessica Loriaux, Erik van Meijgaard, Twan van Noije, Geert Jan van Oldenborgh, Frank Selten, Pier Siebesma, Andreas Sterl, Hylke de Vries, Michiel van Weele, Renske de Winter and Gerd-Jan van Zadelhoff. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands. www.climatescenarios.nl.

19. Kovats, R. S., & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: a critical review. *Annu. Rev. Public Health*, 29, 41-55.
20. Künzli, N. & R. Kaiser, S. Medina, M. Studnicka, O. Chanel, P. Filliger, M. Herry, F. Horak Jr, V. Puybonnieux-Texier, P. Quénel, J. Schneider, R. Seethaler, J-C. Vergnaud, H. Sommer (2000) Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment; *The Lancet*, Volume 356, Issue 9232, Pages 795-801.
21. Maiheu, B., Karel Van den Berghe, Luuk Boelens, Koen De Ridder en Dirk Lauwaet (2013) Opmaak van een hittekaart en analyse van het stedelijk hitte-eiland effect voor Gent. VITO 2013/RMA/R/113.
22. Meehl, G.A. & Tebaldi, C. (2004) More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st Century. *Science*, 305:994-997.
23. Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, in samenwerking met RIVM, GGD Nederland, GHOR Nederland, Actiz, Nederlandse Rode Kruis. Nationaal Hitteplan, 2007.
24. Näyhä, S.; (2005) Environmental temperature and mortality; *Int J Circumpolar Health* 64(5): 451-458.
25. Planbureau voor de Leefomgeving en Centraal Bureau voor de Statistiek, 2013. Grote gemeenten goed voor driekwart van bevolkingsgroei tot 2025. PB13-062.
26. Powell, H., Lee, D., Bowman, A. (2012). Estimating constrained concentration-response functions between air pollution and health. *Environmetrics*, 23(3):228-237.
27. RIVM, Dossier Ozon 2011. Een overzicht van de huidige stand van kennis over ozon op leefniveau in Nederland, juni 2011.
28. Roemer, M., L. Klok, en S. Janssen, 2011. Gaat hitte gepaard met slechtere luchtkwaliteit: onderzoek naar oversterfte tijdens hittegolven; *Milieu* 17: 1.
29. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X. Y. Huang, W. Wang, W. G. Powers (2008), A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR technical note; Boulder, USA.
30. Steeneveld, G.J., S. Koopmans, B.G. Heusinkveld, and N.E. Theeuwes, 2014: Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect, *Landscape and Urban Planning*, in press, doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.09.001.
31. Stedman. J.R.(2004) The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. *Atmospheric Environment* 38; 1087-1090.
32. Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900.
33. Theeuwes, N.E., A. Solcerova, G.J. Steeneveld, 2013: Modeling the influence of open water surfaces on summertime temperatures and thermal comfort in the city, *J. Geophys. Res.* 118, 8881-8896.
34. Touloumi, G., Atkinson, R., Tertre, A. L., Samoli, E., Schwartz, J., Schindler, C., Vonk, J. M., Rossi, G., Saez, M., Rabszenko, D. and Katsouyanni, K. (2004), Analysis of health outcome time series data in epidemiological studies. *Environmetrics*, 15: 101-117. doi: 10.1002/env.623.
35. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (2003) Heat wave in Europe in 2003, new data shows Italy as the most affected country.
36. Van der Wal, J. T., & Janssen, L. H. J. M. (2000) Analysis of spatial and temporal variations of PM10 concentrations in the Netherlands using Kalman filtering. *Atmospheric Environment*, 34(22), 3675-3687.

37. Wehner, B.; Wiedensohler, A. (2003) Long-term measurements of submicrometer urban aerosols: statistical analysis for correlations with meteorological conditions and trace gases. *Atmos. Chem. Phys.* 3, 867-879.
38. WHO-Europe (2008) Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. ISBN 978 92 890 42895.
39. WHO (2006) Air Quality Guidelines: Global Update 2005 2006; http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf.

Bijlage I



UCAM
WIJKGERICHTE
BEDORDELING
VAN HITTE IN DE STAD

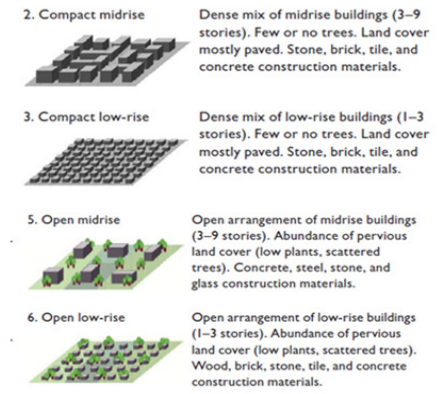
BIJLAGE I URBAN CLIMATE TOOL

Urban Climate Tool

in te vullen door gebruiker

1. Hittegevoeligheid

Wijktype:	Wijktype (kies het nummer van de overeenkomstige wijk)	Mogelijke opties
	23	2
Wijktype na maatregel:	23	3
		5
		6
Vegetatie fractie:	10	23
Vegetatie fractie na maatregel:	20	



	UHI	% verklaard door gebouwde omgeving
Huidige situatie	2.75	43.9
na maatregel	2.57	42.2

klimaatscenario (de Bilt)	aantal dagen per jaar (o.b.v. '91-'10)	GI	aantal dagen per jaar (o.b.v. '31-'50)		
			Gh	WI	Wh
Huidige situatie	31.45	31.8	33.1	35.3	37.9
na maatregel	28.55	29.7	31.4	33.1	35.5

aantal keer zo veel extra risicovolle dagen per jaar tov ruraal					
Huidige situatie	3.1	2.8	2.8	2.8	2.7
na maatregel	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5

	categorie	hitte-index
Huidige situatie	2	0.83
na maatregel	2	0.78

Categorie	hitte-index	Omschrijving / duiding
0.	0 - 0,29	comfortabel geen invloed, geen extra risico's van de gebouwde omgeving
I.	0,3 - 0,57	acceptabel beperkt extra risico door bebouwingsinvloed (acceptabel tot 25 dagen per jaar)
II.	0,58 - 0,86	risicovol extra risico door bebouwingsinvloed (vergelijkbaar met overschrijding informatiedrempel O3)
III.	0,87 - 1,0	onacceptabel extra risico door bebouwingsinvloed (vergelijkbaar met overschrijding alarmdrempel O3)

2. Luchtkwaliteit

Jaargemiddelde concentratie (ug/m3)	verkeersluwe deel		verkeersdrukke deel
	Huidige situatie	35	40
NO2-concentratie	28	35	
PM10-concentratie			
Na maatregel	30	35	
NO2-concentratie na maatregel	26	31	
PM10-concentratie na maatregel			

AQ-index	luw	categorie	druk	categorie
Huidige situatie	0.38	2	0.44	3
na maatregel	0.35	2	0.39	2

Categorie	AQ-index	Omschrijving / duiding
0.	0 - 0,1	comfortabel schone lucht
I.	0,1 - 0,2	acceptabel licht verontreinigde lucht
II.	0,2 - 0,4	risicovol overschrijding van WHO richtlijnen vergelijkbaar met overschrijding informatiedrempel O3
III.	0,4 - 0,6	onacceptabel hinder en gezondheidsrisico's, vergelijkbaar met overschrijding alarmdrempel O3
IV.	0,6 - 1,0	zeer sterk ernstige hinder en acute gezondheidsrisico's

3. UC-index

	UC-index
Huidige situatie luw	121
Huidige situatie druk	128
na maatregel luw	113
na maatregel druk	117

Categorie	uc-index	Omschrijving / duiding
0.	0 - 35	comfortabel nagenoeg geen gezondheidsrisico
I.	35 - 75	acceptabel beperkt gezondheidsrisico
II.	75 - 125	risicovol gezondheidsrisico
III.	125 - 160	onacceptabel verhoogde gezondheidsrisico
IV.	160 - 200	zeer sterk acute gezondheidsrisico



UCAM
WIJKGERICHTE
BEOORDELING
VAN HITTE IN DE STAD

