

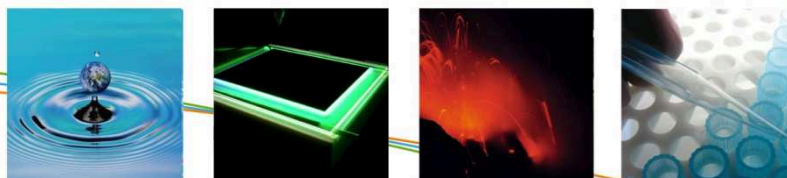
Eindrapport

Opmaak van een hittekaart en analyse van het stedelijk hitte-eiland effect voor Antwerpen

Dirk Lauwaet, Bino Maiheu, Joris Aertsens, Koen De Ridder

Studie uitgevoerd in opdracht van: Stad Antwerpen
2013/RMA/R/352

December 2013



VITO NV

Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

RMA/N7817/2013

VERSPREIDINGSLIJST

Griet Lambrechts, Stad Antwerpen
Iris Gommers, Stad Antwerpen
Johan De Herdt, Stad Antwerpen
Pieter Beck, Stad Antwerpen
Gert Van Oost, Stad Antwerpen
Bino Maiheu, VITO
Koen De Ridder, VITO
Dirk Lauwaet, VITO
Stijn Janssen, VITO

WOORD VOORAF

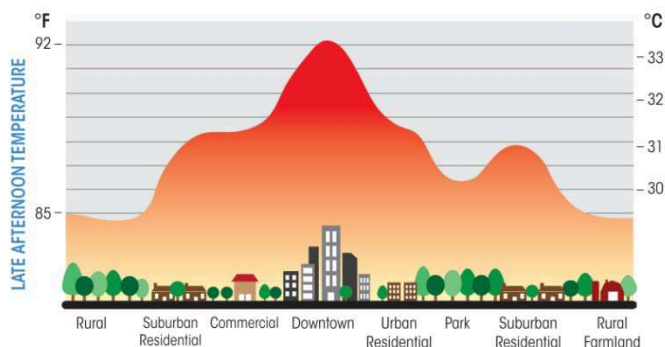
Dit rapport bevat de analyse van het stedelijk hitte-eiland effect en het voorkomen van hittestress in Antwerpen. De hoofdstukken 1 t.e.m. 5 beschrijven in detail een experimentele meetcampagne die heeft plaatsgevonden tijdens de zomer van 2013, een analyse van de oorzaken van de geobserveerde temperatuurpatronen, een modelleerstudie aan de hand van het URBCLIM stedelijk klimaatmodel en de verwerking van een aantal satellietopnames van de oppervlaktetemperatuur in en om de stad om het hitte-eilandeffect in Antwerpen in beeld te brengen. Verder bevat het rapport in de hoofdstukken 6 t.e.m. 8 een literatuurstudie over de potentiële impacten van het stedelijk warmte-eiland, een kwetsbaarheidsonderzoek en een toekomstprojectie. Hoofdstuk 9 tenslotte bevat onze beleidsaanbevelingen omtrend het stedelijk hitte-eiland in Antwerpen.

Gezien dit rapport relatief lijvig en de beschrijving technisch van aard is, is hierna eerst een samenvatting van het werk opgenomen met verwijzingen naar de relevante stukken in de uitgebreide rapportage.

SAMENVATTING

Dirk Lauwaet - VITO

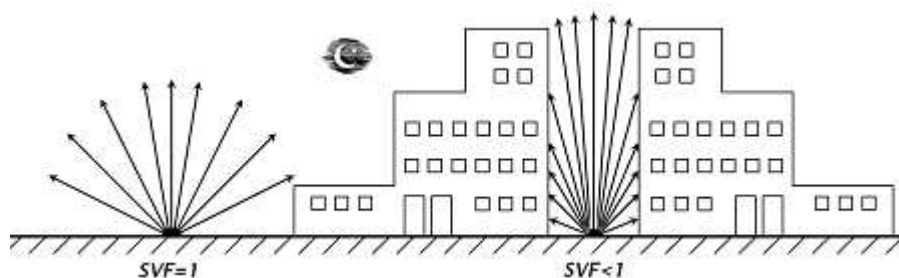
Het is gekend dat het in een stedelijke omgeving vooral 's avonds flink warmer kan zijn dan op het platteland. We spreken van een stedelijk hitte-eiland effect (SHE-effect). Aan de basis hiervan



Bron: <http://www.cleanairpartnership.org/files/urbanheatland.jpg>

liggen een aantal oorzaken die goed gekend zijn in de literatuur. Allereerst is het zo dat steden gekenmerkt worden door een zeer groot aandeel aan beton, asfalt, natuursteen, Deze materialen hebben een hoge warmtecapaciteit en slaan dus meer warmte op die dan 's nachts terug wordt vrijgegeven. Maar niet alleen de karakteristieken van de bouwmaterialen spelen een rol. Een tweede belangrijke oorzaak is een

verlaagde aanwezigheid van vegetatie in de stedelijke omgeving en de grote hoeveelheid verharde oppervlakken. Hierdoor kan er veel minder water verdampen. De beschikbare energie voor het verdampen van water (waardoor de luchttemperatuur niet verhoogt), komt dus vrij voor het opwarmen van het oppervlak en de lucht erboven. Ook de stedelijke geometrie speelt een belangrijke rol. Doordat in een stedelijke omgeving de gebouwen het vrije zicht naar de hemel vanaf de grond blokkeren (men spreekt van een lage *sky view factor*), kan het oppervlak ook minder efficiënt energie verliezen door het uitzenden van thermische straling (Infra-Rood). De uitgezonden IR-straling blijft m.a.w. "gevangen" in het stedelijk weefsel en hierdoor koelt het minder vlug af 's avonds.



Bron : www.knmi.nl/klimatologie/weeramateurs/UHI/index.html

Maar niet alleen de geometrie hindert de uitgaande IR-straling, ook de verhoogde luchtverontreiniging (met name verhoogde CO₂ concentraties) kan bijdragen aan een soort van mini-broeikas-effect. De stedelijke geometrie op zich zorgt er dan ook nog voor dat minder zonnestraling gereflecteerd wordt. Het zonlicht verdwijnt als het ware in diepe street canyons, waaruit het minder makkelijk kan ontsnappen (en gereflecteerd worden m.a.w.). Diepe street canyons zien er dus van bovenaf gezien relatief donker uit. De gebouwen zorgen verder ook nog voor het afremmen van het windveld, waardoor er globaal gesproken minder ventilatie optreedt in stedelijk gebied. Ook dragen wij als mens bij tot het stedelijk hitte-eiland door onze activiteiten: verkeer (hete uitlaatgassen), airco, industrie etc...

Tijdens hittegolven krijgt de volledige bevolking uiteraard te kampen met hittestress, een gevoel van onbehagen of gezondheidsproblemen met zelfs in extreme gevallen de dood tot gevolg. Het is

nu zo dat het stedelijk hitte-eiland effect die nefaste gevolgen van hittegolf episodes nog kan versterken doordat het minder afkoelt in steden. Dit surplus is voornamelijk voelbaar in de luchttemperatuur 's avonds en 's nachts. Maar ook de oppervlakte temperatuur, de temperatuur van de straatstenen, gevels etc... kent een duidelijk SHE – effect, weliswaar met een andere dynamiek.

In deze studie zullen beide vormen van het stedelijk hitte-eiland aan bod komen:

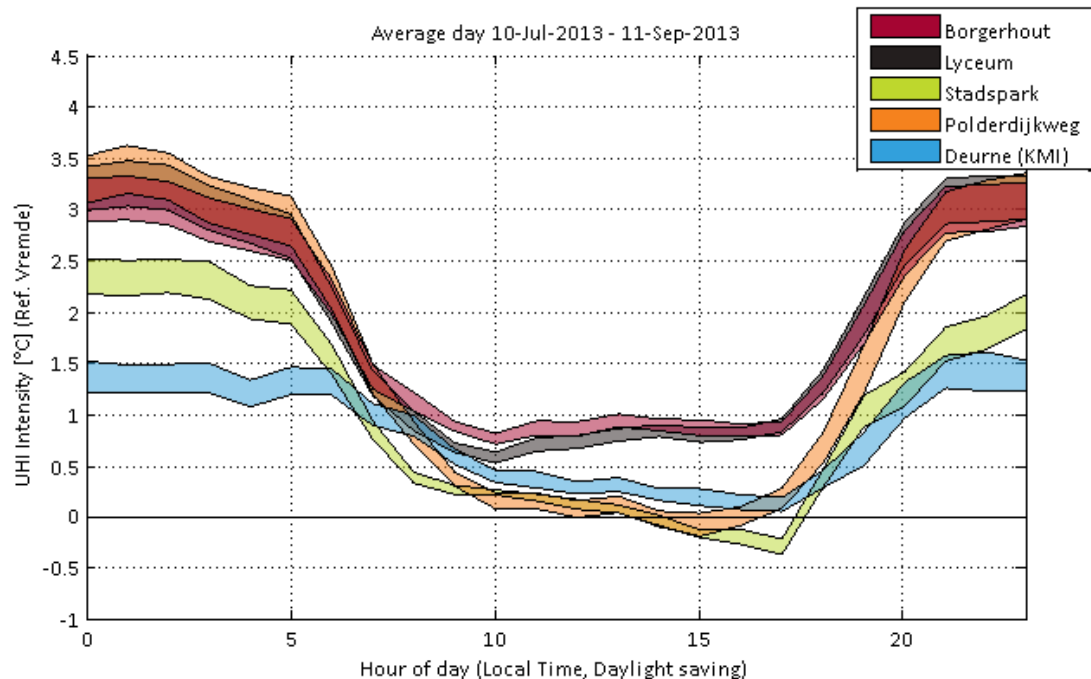
- het **Canopy Layer Urban Heat Island** (CLUHI), betreft het verschil in luchttemperatuur tussen de stad en het platteland nabij het oppervlak (typisch 2m hoogte) en is bepalend voor het thermisch welzijn van de bevolking: alle gebruikte indices (bv. van de Wereld Gezondheidsorganisatie WHO) die hitte linken aan gezondheidseffecten baseren zich hiervoor op de luchttemperaturen. Dit effect kent de grootste intensiteit 's avonds en 's nachts, en is klein of zelfs negatief overdag. Hoewel de opwarming van de oppervlaktematerialen aan de basis ligt van het CLUHI effect, kent dit laatste een beduidend minder uitgesproken ruimtelijke variatie door transport en menging in de atmosfeer. Het CLUHI effect wordt meestal door directe metingen vastgesteld, met name aan de hand van weerstations of mobiele metingen.
- het **Surface Urban Heat Island** (SUHI), met name de oppervlaktetemperatuur. Dit effect is direct gerelateerd aan de opwarming van de materialen in de stad door de zon en is het meest intens overdag. Afhankelijk van de warmtecapaciteit van de individuele gebruikte materialen in de stedelijke omgeving (beton, asfalt, roofing etc...) kunnen materialen sterk of minder sterk opwarmen, waardoor het SUHI een grote ruimtelijke variabiliteit vertoont. Het oppervlakte hitte eiland effect wordt meestal indirect via remote sensing (IR satellietsensoren) in kaart gebracht. De oppervlakte temperatuur kan gelinkt worden aan het thermisch comfort van de bevolking buitenshuis.

Experimentele meetcampagne – SHE effect luchttemperaturen in Antwerpen

Tijdens een experimentele meetcampagne werd in Antwerpen een duidelijk SHE effect vastgesteld. Op 2 locaties baat de VITO urban climate groep professionele meetstations uit: het Koninklijk lyceum in de Hertoginstraat (stedelijke locatie) en te Vremde op de bio-boerderij Van Leemputten (rurale locatie). Daarnaast werden er op 3 plaatsen bijkomende metingen verricht: in het stadspark naast de vijver (park locatie), aan de Plantin en Moretuslei te Borgerhout (een tweede binnenstedelijke locatie) en in de Antwerpse haven aan het einde van de Polderdijkweg (industriële locatie). Naast deze eigen metingen werd data aangekocht van externe partijen, ondermeer de metingen te Luchtbal en Zwijndrecht van de VMM en de KMI metingen op de luchthaven van Deurne. Op die manier hebben we betrouwbare data van 8 verschillende meetstations op diverse types van locaties in en om de stad.

A. Analyse eigen metingen

Onderstaande grafiek geeft het gemiddelde gemeten temperatuurverschil tussen de eigen stads- en havenmetingen en onze rurale meting aan de bio-boerderij te Vremde. Merk op dat het hier dus gaat om de gemiddelde zomerdag in 2013 (10 juli – 11 september).



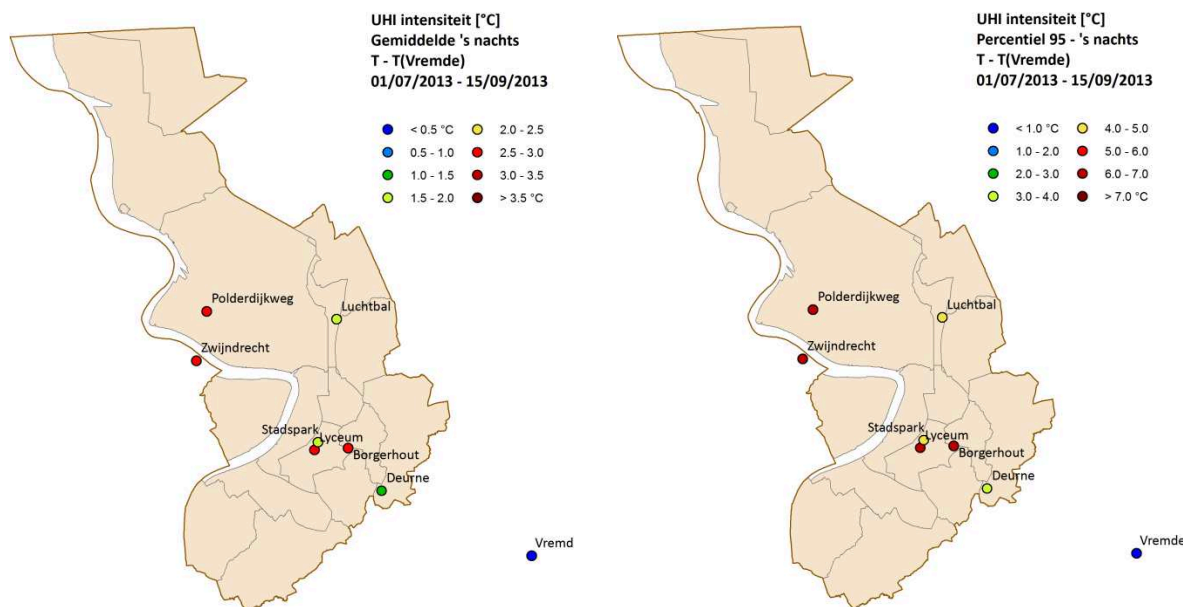
Voor zowel de typisch stedelijke stations in **Borgerhout** en het **Lyceum** als de meetsite in de haven zien we duidelijk een gemiddelde intensiteit van het SHE-effect, dat zijn maximum van **ongeveer 3.5 °C (gemiddeld over de zomerperiode)** kent rond middernacht. Het effect neemt af naar de ochtend toe en bereikt z'n minimum intensiteit in de voormiddag rond 10 h. De intensiteit blijft minimaal tot rond 18h, wanneer het warmte eiland effect opnieuw tot z'n volle ontwikkeling komt. Een analoog tijdsverloop zien we verder ook voor de metingen in het **Stadspark**, de intensiteit is weliswaar iets geringer, met een maximum in de gemiddelde dagcyclus van **2.5 °C (eveneens gemiddeld over de zomerperiode en rond middernacht)**. De luchthaven van **Deurne** is een meer open locatie, buiten de stad gelegen, en dat vertaalt zich in een veel kleiner SHE-effect, dat maximaal **1.5°C** bedraagt.

Naast deze gemiddelde dagcyclus werden duidelijk ook **enkele pieken tot meer dan 8°C** in de nachtelijke hitte-eiland intensiteit **tussen de boerderij in Vremde en Antwerpen-centrum** vastgesteld. Dergelijke pieken werden vastgesteld tijdens avonden en nachten met heldere open hemel en typisch heel lage windsnelheden.

B. Analyse alle metingen

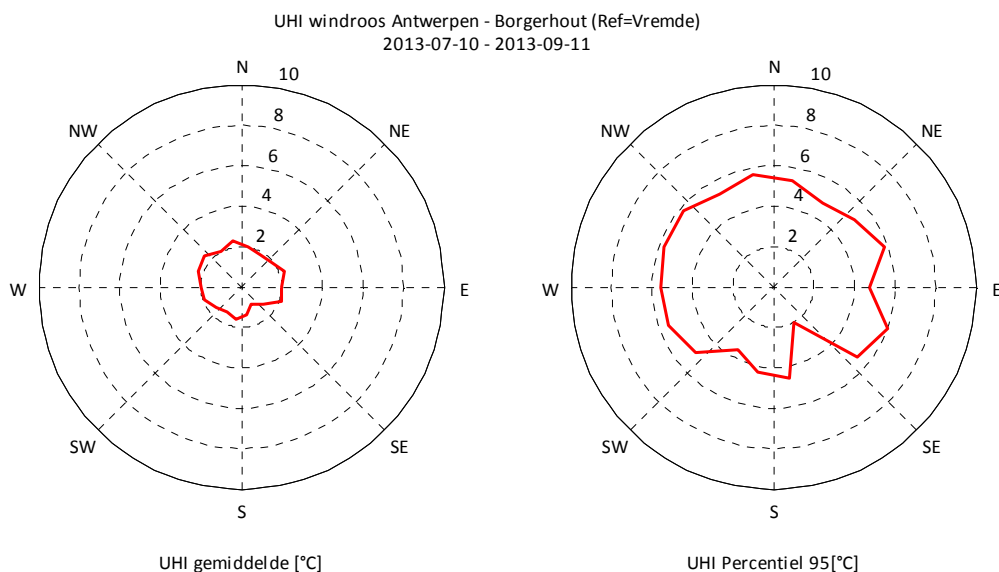
In onderstaande figuur worden alle meetlocaties met elkaar vergeleken voor de hele zomerperiode, en zien we dat de gemiddelde intensiteit voor alle stedelijke en industriële stations tussen de 2.0 en 3.5°C ligt. De piek intensiteit (95^{ste} percentiel waarde¹) 's nachts bedraagt voor deze stations zo'n goeie 6 °C. De hoge nachtelijke temperaturen in de haven lijken op het eerste zicht wat vreemd gezien het daar toch om een relatief open omgeving gaat. De sterke versterking en afwezigheid van vegetatie door de talrijke industrie terreinen is hier blijkbaar toch dominant in het bepalen van de luchttemperatuurdynamiek. Verder is het milderend effect van stedelijk groen duidelijk merkbaar in de figuur. We zien dat het nachtelijk SHE in het stadspark beduidend lager is dan in de versteende omgeving.

¹ Dit 95^{ste} percentiel of P95 betekent dat er slechts in 5 % van de uurlijkse metingen (overdag of s' nachts) nog grotere temperatuurverschillen zijn vastgesteld.



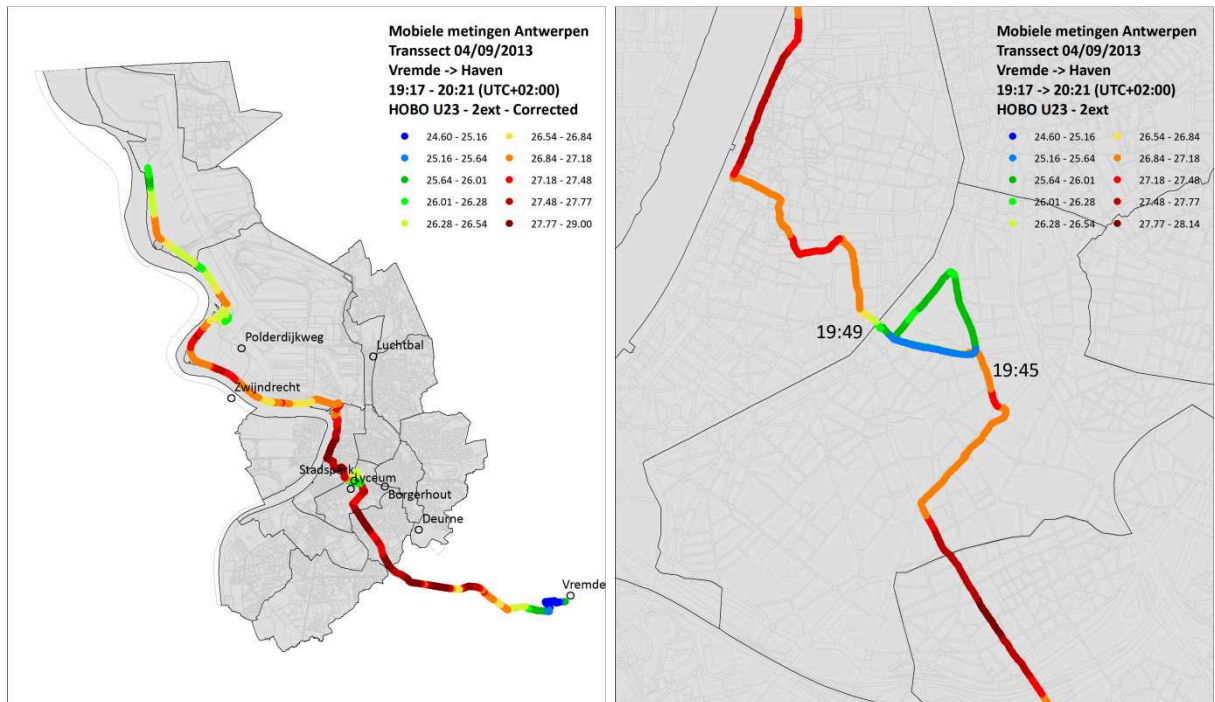
Na analyse van alle gemeten SHE-intensiteiten, blijkt het gemiddeld verschil in luchttemperatuur **overdag** voor alle meetlokaties kleiner dan 1 °C te zijn, met een piekintensiteit (95^{ste} percentiel waarde) voor de zomerperiode voor het Lyceum van slechts 1.5 °C.

Er is verder een analyse uitgevoerd van de directionaliteit van het SHE-effect. We zijn m.a.w. nagegaan voor welke windrichtingen het grootste SHE-effect optreedt. Verrassend genoeg blijkt dit voor een groot deel de noord-westelijke windrichting te zijn, hetgeen verklaard kan worden door het effect van de haven op het SHE in de stad. Er is ook een oostelijke tot zuidoostelijke component, typisch voor de aanwezigheid van een hoge-druk gebied dat gepaard gaat met mooi, helder en rustig weer, de ideale SHE condities. Onderstaande windrozen geven telkens het gemiddelde en het 95^{ste} percentiel voor de intensiteit van het SHE, gemeten te Bergerhout gedurende de zomer van 2013.



C. Analyse mobiele metingen

Naast een meetcampagne met vaste temperatuursensoren, zijn in de zomer van 2013 ook enkele auto-transsecten door Antwerpen gereden met een mobiel meettoestel. Een voorbeeld is hieronder opgenomen voor het transsect op 04-09-2013 tussen 19:17 en 20:21 h lokale tijd. Het stadspark komt hier opnieuw duidelijk als ‘koelte-eiland’ in de warme stad naar voor.



Deze transsecten stellen het gemeten stedelijk hitte-eiland in Antwerpen iets grafischer voor dan simpelweg de statische in-situ metingen. Deze data vormen ook de onafhankelijke dataset waarmee in Hoofdstuk 3 naar de oorzaken van het SHE zal worden gekeken.

Detectie van de oorzaken van het CLUHI effect in Antwerpen

Nu we het stedelijk hitte-eiland-effect door middel van metingen gekwantificeerd hebben, kunnen we overgaan tot de detectie van de oorzaken ervan. Hiervoor brachten we een aantal lokaal beschikbare databronnen in verband met de gemeten luchttemperatuurtranssecten (zie boven), een onafhankelijke dataset.

De gevolgde methodiek is die van een regressie analyse :

$$Y = \text{constante} + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$$

waarbij Y de datasets van de gemeten transecten zijn op een bepaald moment en x_i de verschillende onafhankelijke variabelen zijn. Het is expliciet de bedoeling om te kijken welke parameters bijdragen/in relatie staan tot het CLUHI. Uit de literatuur is geweten welke zaken het SHE in het algemeen beïnvloeden, hier willen we echter bepalen wat de grootte-orde van hun invloed is in Antwerpen. Met name, wat is de belangrijkste parameter die in Antwerpen bijdraagt tot verhitting / verkoeling.

We beginnen hieronder kort met een toelichting van de gebruikte onafhankelijke variabelen en waarom ze relevant zijn in deze analyse:

- De **sky view factor** (SVF): de SVF geeft de fractie weer van het hemelgewelf dat zichtbaar is vanaf de grond, en waarvoor het zicht dus niet geblokkeerd is door gebouwen. Het is bekend dat hoe lager de SVF, hoe dieper de street canyon, of hoe meer ingesloten tussen de gebouwen men zich bevindt. Een lage SVF bemoeilijkt het verlies van thermische energie door IR uitstraling en zal dus bijdragen tot het SHE. Dit effect is enigszins verwant met het beperkt afkoelen 's nachts onder bewolkte hemel (waterdamp absorbeert de IR straling en bemoeilijkt dus het energieverlies door uitstraling) of het juist sterk afkoelen onder open hemel. De SVF werd op basis van het 3D model voor Antwerpen afgeleid. In Antwerpen komen de laagste SVF uiteraard voor in het historisch centrum van de stad en de dichte stadswijken zoals Borgerhout.
- De **fractie vegetatie**: de afwezigheid van evapotranspiratie (verdampen van water en de vochthuishouding in bladeren) is een bepalende parameter voor het SHE. De energie gebruikt voor het verdampen van water is niet meer beschikbaar voor het opwarmen van de lucht. Hoe minder evapotranspiratie, hoe meer energie beschikbaar is voor de opwarming van de lucht. Voor het in kaart brengen van de fractie vegetatie maakten we gebruik van satellietopnames van Landsat. Doordat vegetatie andere reflectie/absorptie karakteristieken vertoont voor zichtbaar licht en IR-straling kunnen we uit het verschil tussen beide signalen de hoeveelheid vegetatie afleiden. We dienen wel op te merken dat deze variabele een totale fractie groen voorstelt. Het is op basis van deze parameter niet mogelijk om onderscheid te maken tussen bepaalde vegetatietypologieën zoals grasveld of bos.
- De **fractie water**: de aanwezigheid van water is, analoog als hierboven beschreven, ook een potentieel belangrijk element in het verklaren van het SHE.
- De totale **fractie verharding** van de openbare ruimte geeft een indicatie van de hoeveelheid warmte die kan gestockeerd worden in het stedelijk weefsel. Gezien typische stedelijke constructiematerialen een relatief hoge warmtecapaciteit hebben, kunnen die veel langer 's nachts hun warmte afgeven en dus bijdragen tot een verhoogd SHE. Vanzelfsprekend is de verharding het grootst in het stadscentrum en de haven. Het dient wel gezegd te worden dat de materialiteit van de verharding ook belangrijk is, in die zin dat zij bepaalt in welke mate invallende zonnestraling gereflecteerd wordt (men spreekt van albedo). Oppervlakten met een lage albedowaarde absorberen meer zonnestraling en worden daarom sneller warm dan oppervlakten met een hoge albedowaarde. Het verschil in oppervlaktetemperatuur tussen het donkere² asfalt en lichtere beton oppervlakten (met een iets hogere albedo) kan oplopen tot 32 °C. Wij hadden echter geen gegevens tot onze beschikking wat betreft het type verharding in Antwerpen, en kunnen dit dan ook niet meenemen in onze analyses.

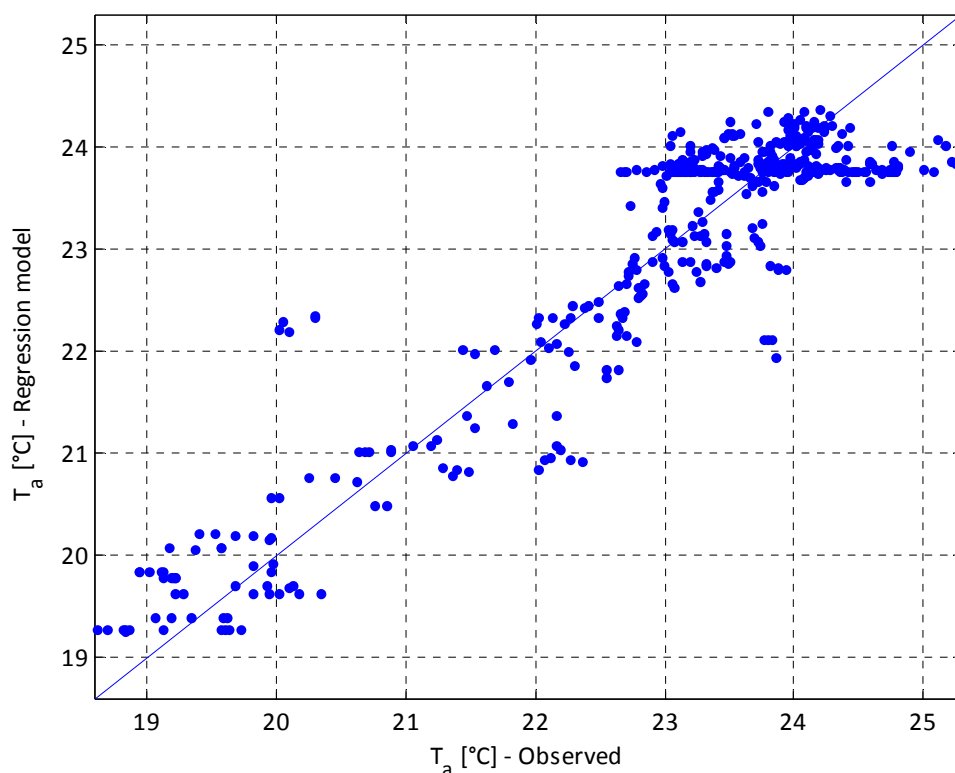
Wanneer we deze proxy variabelen in verband brengen met de gecorrigeerde mobiele metingen, dan geeft onderstaande tabel de resultaten van de correlatie analyse. De luchttemperatuur op dit

² Vers asfalt heeft een albedo (α) van 0.04 (<http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/Pavements/Albedo/>), wat betekent dat slechts 4 % van het invallende zonlicht weerkaatst wordt, voor gebruikt asfalt is $\alpha \sim 0.12$. Voor nieuw beton kan de albedo 0.55 (Markvart et al, 2003) bedragen. Merk op dat ook vegetatie een gevoelig hogere albedo heeft dan artificiële constructie materialen (zie onder meer ook de UrbClim modelbeschrijving in Hoofdstuk 4)

transect vertoont een zeer sterke negatieve correlatie met de vegetatie fractie, die bijna 62% van de ruimtelijke variantie verklaard. Ook voor de sky view factor zien we een duidelijk negatieve correlatie. Er geldt dus m.a.w. hoe hoger de SVF, hoe lager de temperatuur. Inderdaad, hoe meer open het stedelijk weefsel, hoe efficiënter het warmte kan verliezen en dus afkoelen. De fractie water heeft hier weinig tot geen verklarende kracht. Voor de fractie verzegeld gebied zien we een duidelijk positieve correlatie, hoe hoger de graad van verzegeling, hoe hoger de luchttemperatuur. Logisch, maar we merken wel dat de verklaarde variantie relatief beperkt is, slechts 7%. We dienen hier echter op te merken dat de fractie verzegeld gebied en de fractie vegetatie zeker geen onafhankelijke variabelen zijn. Doordat het grootste deel van de ruimtelijke variantie door de fractie vegetatie verklaard wordt impliceert dit dat een even groot deel van de variantie door de afwezigheid van vegetatie verklaard wordt (i.e. verzegeld gebied, de fractie naakte grond in Antwerpen zal naar alle waarschijnlijkheid relatief beperkt zijn). We merken echter wel duidelijk een niet-lineaire afhankelijkheid van de fractie vegetatie in deze analyse. Wanneer we een correlatie analyse uitvoeren met de fractie vegetatie in het kwadraat, dan slagen we er zelfs in om 75 % van de ruimtelijke variabiliteit te verklaren (zie tabel).

	Constante	SVF	Fractie verzegeld	Fractie Water	Fractie Vegetatie	Fractie Vegetatie ²
Pearson correlatie	-	-0.36	0.26	-0.05	-0.79	-0.86
coëfficiënt	-	-0.36	0.26	-0.05	-0.79	-0.86
R ²	-	0.13	0.07	0.00	0.62	0.75
β_i	24.31	-0.55	-0.17	0.29	3.58	-8.07

We kunnen dit alles nu in een regressie model gieten, waarvan de coëfficiënten ook in de tabel zijn weergegeven. Dit regressie model slaagt erin om in totaal 86 % van de ruimtelijke variantie van de gemeten luchttemperaturen te verklaren voor het gereden transect. Een vergelijking tussen de regressie resultaten en de originele gemeten luchttemperaturen is in onderstaande figuur opgenomen.



Met deze oefening willen we enkel het belang van de verschillende variabelen voor het SHE-effect aantonen. We zullen in Hoofdstuk 5 met een gesofisticeerd en state-of-the-art model de luchttemperaturen en het CLUHI van Antwerpen in kaart brengen.

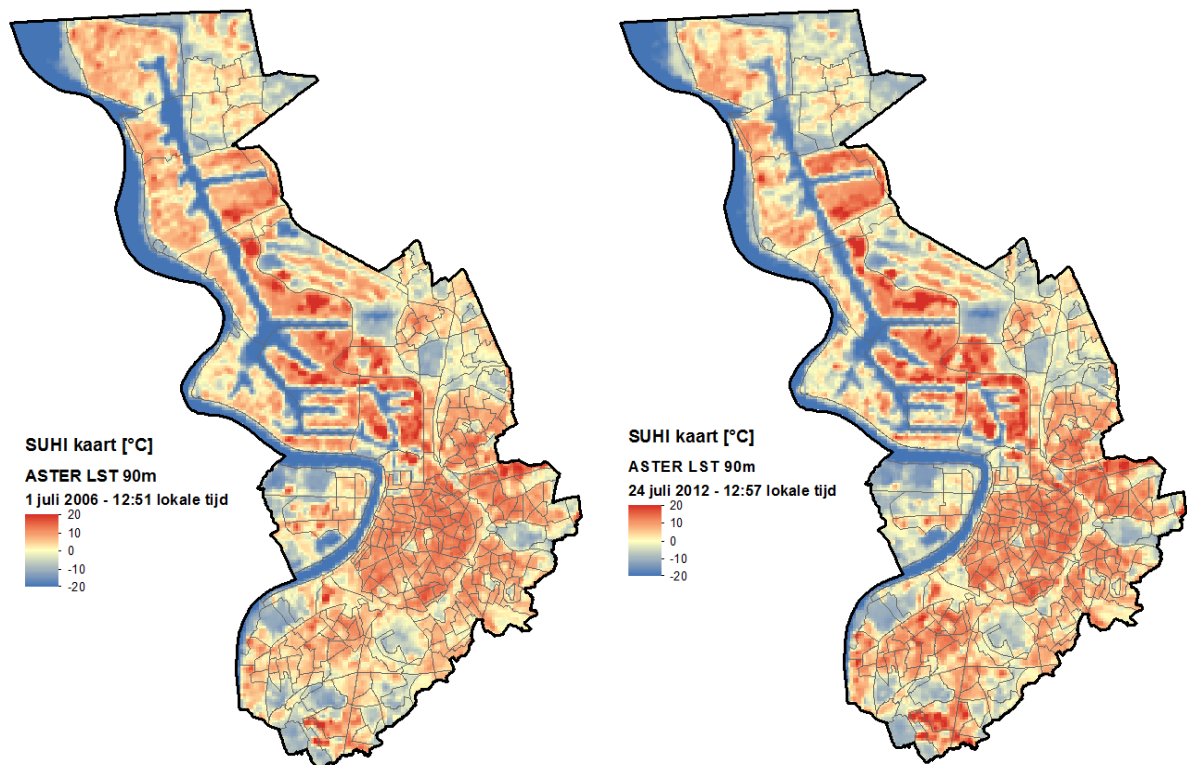
Ruimtelijk zicht op het oppervlakte SHE in Antwerpen door middel van satellietdata

Uit de puntmetingen en de mobiele metingen kunnen we afleiden dat het SHE effect op sommige plaatsen in Antwerpen sterker is dan op andere plaatsen. Hoe die ruimtelijke indeling eruit ziet kunnen we achterhalen aan de hand van satellietbeelden. We moeten echter duidelijk stellen dat we aan de hand van een satelliet informatie over de oppervlaktetemperatuur verkrijgen (Surface Urban Heat Island of SUHI), m.a.w. de temperatuur van de straatstenen, het asfalt, de daken en het bladerdek. Om een ruimtelijk beeld te krijgen van de luchttemperatuur (Canopy Layer Urban Heat Island of CLUHI) zullen we gebruik maken van een model, maar daarover later meer.

Voor de oppervlaktetemperatuur werden enkele beelden van het ASTER instrument aangekocht, die heel geschikt zijn voor het in kaart brengen van stedelijke oppervlaktetemperatuur. We zijn hier echter beperkt tot slechts een handvol bruikbare beelden die dan nog telkens om 13u 's middags genomen zijn, wanneer de satelliet overvliegt.

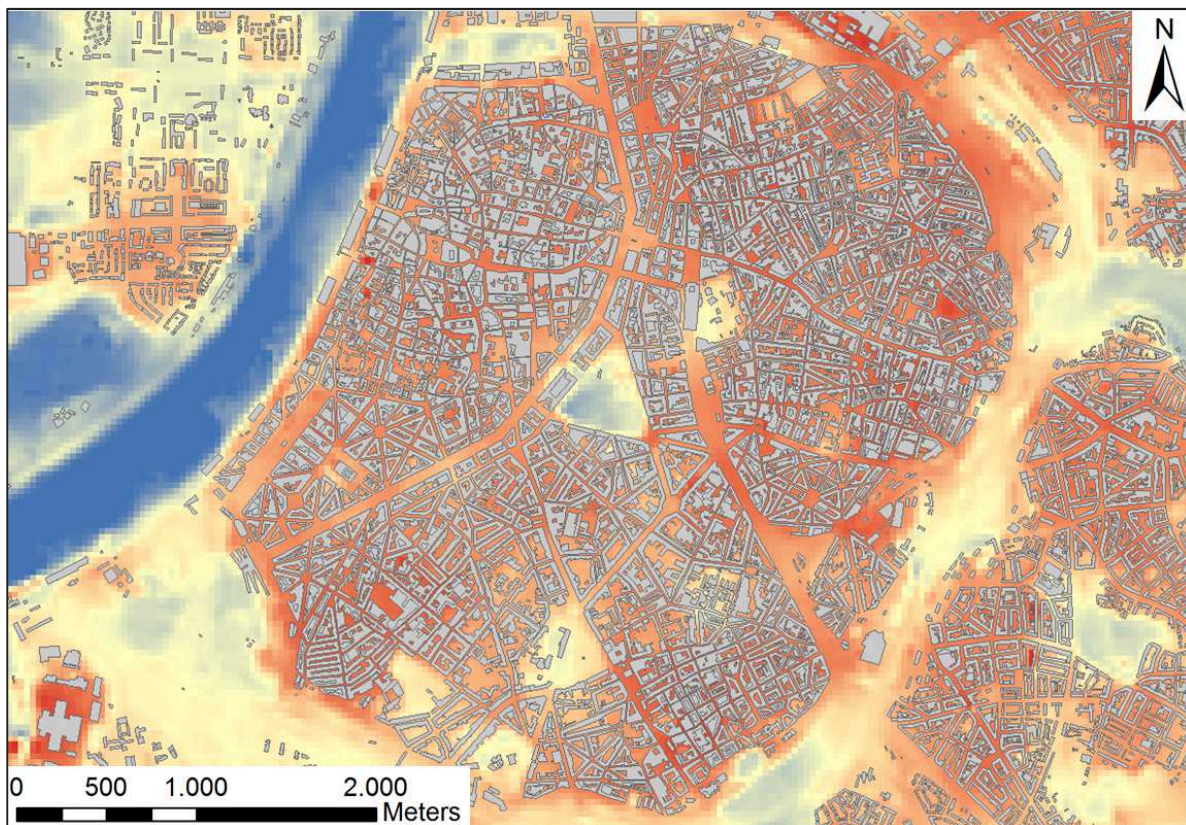
A. Oppervlakte hitte-eiland (SUHI)

De figuren hieronder geven twee satellietopnames weer van de oppervlaktetemperatuur voor Antwerpen. Om de temperatuurverschillen duidelijk te maken geven we de temperatuur weer t.o.v. de gemiddelde temperatuur voor het gehele beeld. We merken duidelijk het oppervlakte warmte eiland of SUHI van de Antwerpse binnenstad en het havengebied. We zien op het eerste zicht ook enkele "hotspots" opduiken, voornamelijk in het havengebied (bv. de terreinen rond het Albertdok en het Churchilldok, het stuk industrieterrein aan de Noorderlaan ten zuiden van de Tijsmanstunnel, het industrieterrein van Deurne tegen de oostelijke grens van Antwerpen en enkele terreinen in Wilrijk langs de Boomsesteenweg in het zuiden). Deze locaties worden stevast gekenmerkt door grote, open industriële terreinen, met asfalt (of steenslag/kolen) als bodembedekking. De dakbedekking van grote fabriekshallen bestaat veelal uit donker, weinig reflecterend roofing materiaal dat heel sterk kan opwarmen en dus voor hoge oppervlaktetemperaturen kan zorgen. Bij de grote container terminals kunnen ook het grote aantal metalen containers een belangrijke oorzaak zijn voor de verhoogde oppervlaktetemperatuur, zoals gezien vanuit de ruimte. Het belang van die hotspots is echter relatief. Dergelijke industriële sites warmen weliswaar snel op, maar kunnen ook snel afkoelen en het blijft uiteraard zo dat bij grote industriële complexen we voornamelijk de dak-temperatuur zien vanuit de ruimte. Desalniettemin zal bij een grote geasfalteerde vlakte, typisch voor industrie gebied, de hogere oppervlakte temperaturen aanleiding geven tot een verhoogde stralingsbelasting overdag.



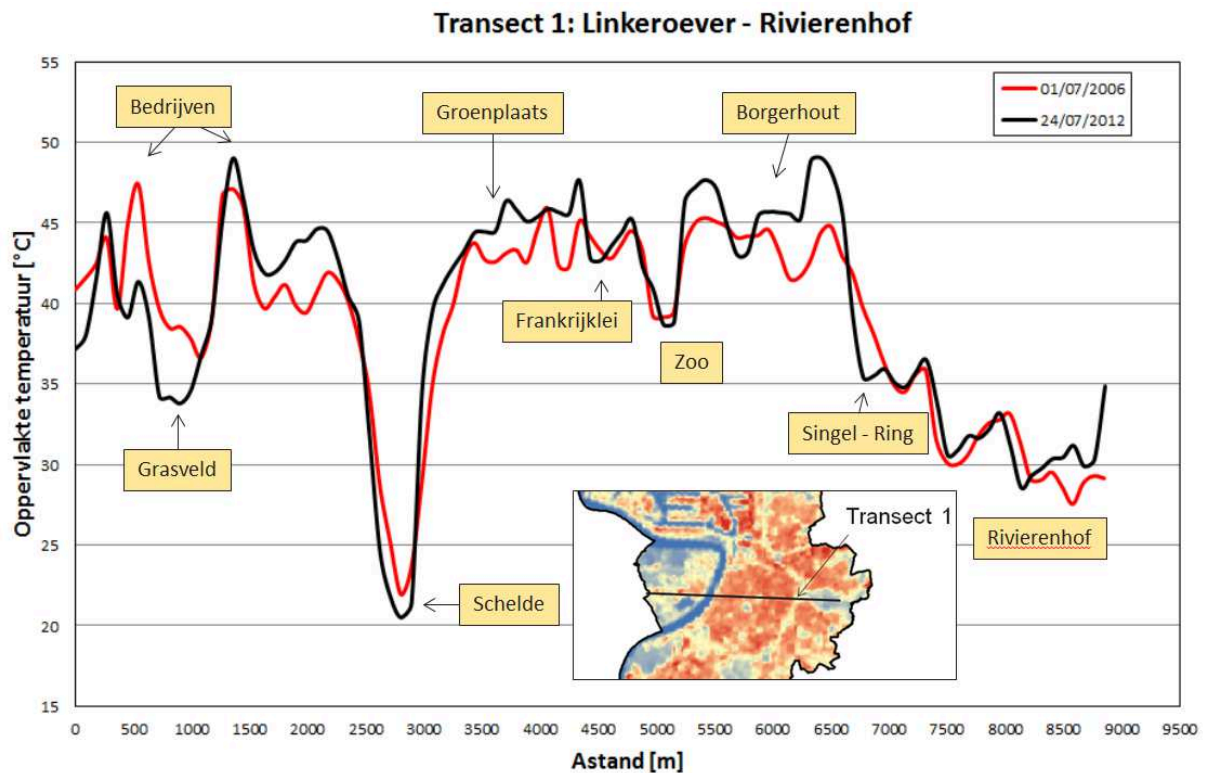
Om met nog meer detail de situatie te kunnen analyseren, met name voor de binnenstad, hebben we bovenstaande kaarten verfijnd naar een horizontale resolutie van 30m, gebaseerd op een vegetatiebeeld van de Landsat satelliet. Vegetatiehoeveelheden zijn namelijk erg sterk gecorreleerd aan de oppervlaktetemperaturen. De gebruikte methode wordt in detail beschreven in Hoofdstuk 4. In onderstaande figuur kunnen we het resultaat van deze oefening zien, waarbij ingezoomd is op het centrum van Antwerpen. De gebruikte kleurschaal is dezelfde als in bovenstaande beelden.

Het beeld laat duidelijk zien dat de Antwerpse binnenstad in feite één grote hotspot is, enkel onderbroken door plaatsen met veel groen of water. Het stadspark, en dan vooral de zuidkant waar de vijvers gelegen zijn, komt duidelijk naar voren als koelste locatie binnen het centrum. Ook de zoo en de grotere parken in het zuiden van de stad zijn frissere plaatsen wat betreft de oppervlaktetemperatuur. De warmste plaatsen vinden we in het historisch centrum tegen de Schelde, het noorden en oosten van de stad waar de huizen dicht op elkaar staan en er weinig groen is. Ook de buurt rond de Bell in het zuiden komt als erg warm naar voren. Ook de rol van water voor het oppervlakte hitte-eiland is heel nadrukkelijk aanwezig. De Schelde en de havendokken zijn de koudste plaatsen qua oppervlaktetemperatuur.



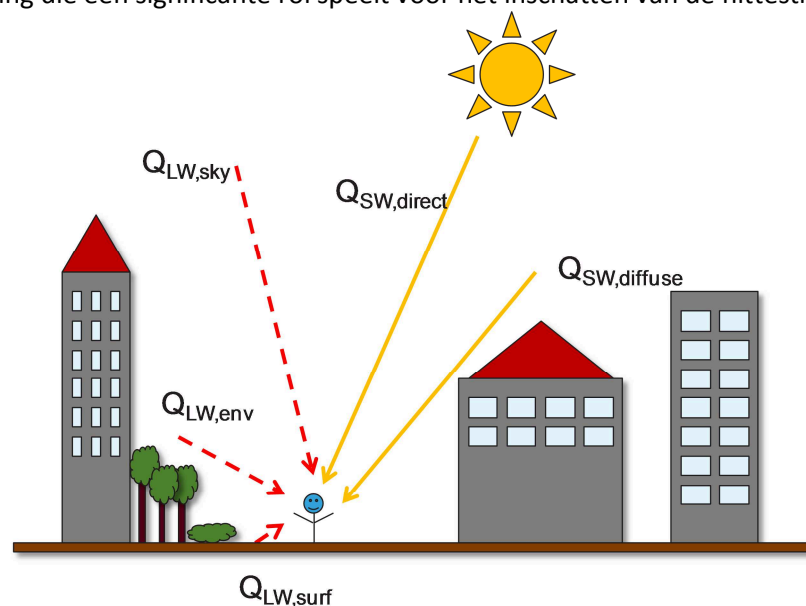
Tijdens de verdere analyse van de beelden in Hoofdstuk 4 is ook gekeken naar de evolutie van het oppervlakte SHE in Antwerpen gedurende de afgelopen 6 jaar. Daarbij viel op dat er weinig evolutie was waar te nemen in de sterkte van het SUHI. Enkele locaties in de haven en op linkeroever zijn kouder geworden in die periode, allicht omdat de vegetatie er is gegroeid of uitgebreid. De grootste opwarming viel te noteren in het zuiden van de stad, waar de urbanisatie van Wilrijk en Hoboken een duidelijk en grootschalig opwarmend effect heeft.

Vervolgens zijn er enkele transect analyses opgenomen, waarbij we de oppervlaktetemperaturen grafisch weergeven op een rechte. Je kan dit zien als een soort van 'blote voeten' pad, m.a.w. welke temperatuur zouden je voeten ervaren wanneer je dit transect zou afstappen. Op die manier kunnen we duidelijker de effecten van bvb. parken of industrie terreinen weergeven. Onderstaand transect van Linkeroever naar het Rivierenhof toont duidelijk aan dat de oppervlakte temperatuur van een park zoals de zoo een significant verschil van een 7-tal °C kent met bvb. Borgerhout. De oppervlaktetemperatuur van industriële terreinen met grote asfaltvlaktes kan dan weer makkelijk nog een aantal °C hoger liggen dan in het centrum. We zien ook dat een locatie met veel vegetatie en water zoals het Rivierenhof significant koeler is (15 °C in oppervlakte temperatuur t.o.v. het stadscentrum). Meer details zijn terug te vinden in Hoofdstuk 4.



B. Afleiding van de potentiële dagstress

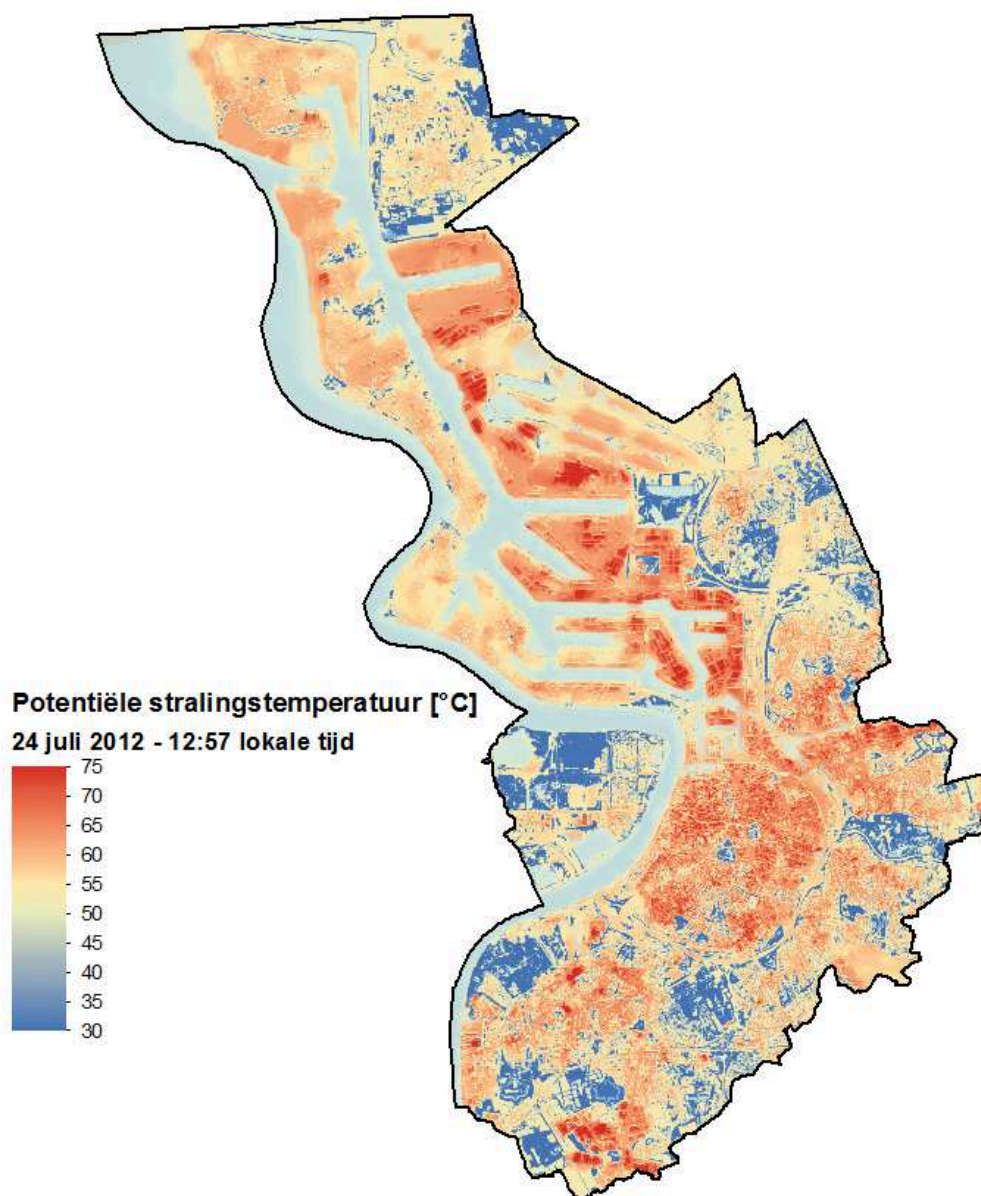
Nu we de oppervlaktetemperatuur in Antwerpen in kaart hebben gebracht, kunnen we proberen om nog een stapje verder te gaan en deze kaart te gebruiken om de hittestress die mensen buitenshuis ondervinden expliciet te berekenen. Want door de opwarming van de materialen en dus de hogere oppervlaktetemperatuur komt er in een stedelijke omgeving meer warmte-straling³ vrij, waardoor de stralingsbelasting van mensen in de stad hoger ligt. Het is net die stralingsbelasting die een significante rol speelt voor het inschatten van de hittestress overdag.



Vereenvoudigd schema van de stralingsbelasting op een menselijk lichaam in stedelijke omgeving.

³ Immers, warmte kan op 2 manieren worden doorgegeven : door warmte straling (infra-rode straling) of door botsing van luchtmoleculen (convectie).

Voor het inschatten van de directe en diffuse componenten van de invallende zonnestraling gebruiken we het ter beschikking gestelde 3D model van Antwerpen. De resultaten zijn hierdoor beperkt tot het grondgebied van de stad Antwerpen. Op basis van een GIS rekenprogramma werd de potentiële invallende directe en diffuse zonnestraling berekend op het overeenkomstige tijdstip van de ASTER oppervlaktetemperatuuropname, waardoor we een inschatting kunnen maken van de potentiële gemiddelde stralingstemperatuur, die een directere maat is voor potentiële hittestress overdag dan de oppervlaktetemperatuur. We kunnen immers direct de link maken met de Universal Thermal Climate Index (utci.org) en voor deze specifieke situatie kunnen we stellen dat voor alle waarden boven 60 °C (de rode gebieden in onderstaande figuur) er sprake is van 'sterke hittestress'. De gebieden tussen 40 en 60 °C hebben af te rekenen met 'matige hittestress', en enkel in de donkerblauwe gebieden onder de 40 °C is er geen sprake van hittestress. Het zijn uiteraard de meest kwetsbare bevolkingsgroepen die hier het meeste last van kunnen ondervinden, daarover verderop meer.



Een aantal zaken vallen op in de figuur. Zo zien we dat de zones met de allerhoogste potentiële MRT zich niet direct in de stadskern bevinden, maar vooral in grote open industrieterreinen in de haven. We zien in feite een relatief gelijkaardig beeld ontstaan als voor de SUHI kaarten (zie hiervoor), maar met dat verschil dat de stadskern iets beter gespaard blijft door de verhoogde schaduwvorming en beschutting voor directe zonnestraling die we in deze berekening hebben meegenomen. Door het in rekening brengen van de gebouwen en de vegetatie zit er wel duidelijke meer detail en structuur in dit beeld.

We hebben bovenstaande kaart ook op Google maps gelegd, waardoor het mogelijk is om de details per buurt te bestuderen. Het is duidelijk dat bomen, zelfs in kleinere parkjes en tuintjes, een groot effect hebben op de stralingstemperatuur, zowel door hun schaduwvorming als hun effect op de oppervlaktetemperatuur. En zelfs grote open grasvelden zoals ten zuiden van het gerechtsgebouw, die gevoelig zijn aan directe zonnestraling, hebben toch een duidelijk lagere MRT dan de meer bebouwde delen van Antwerpen.



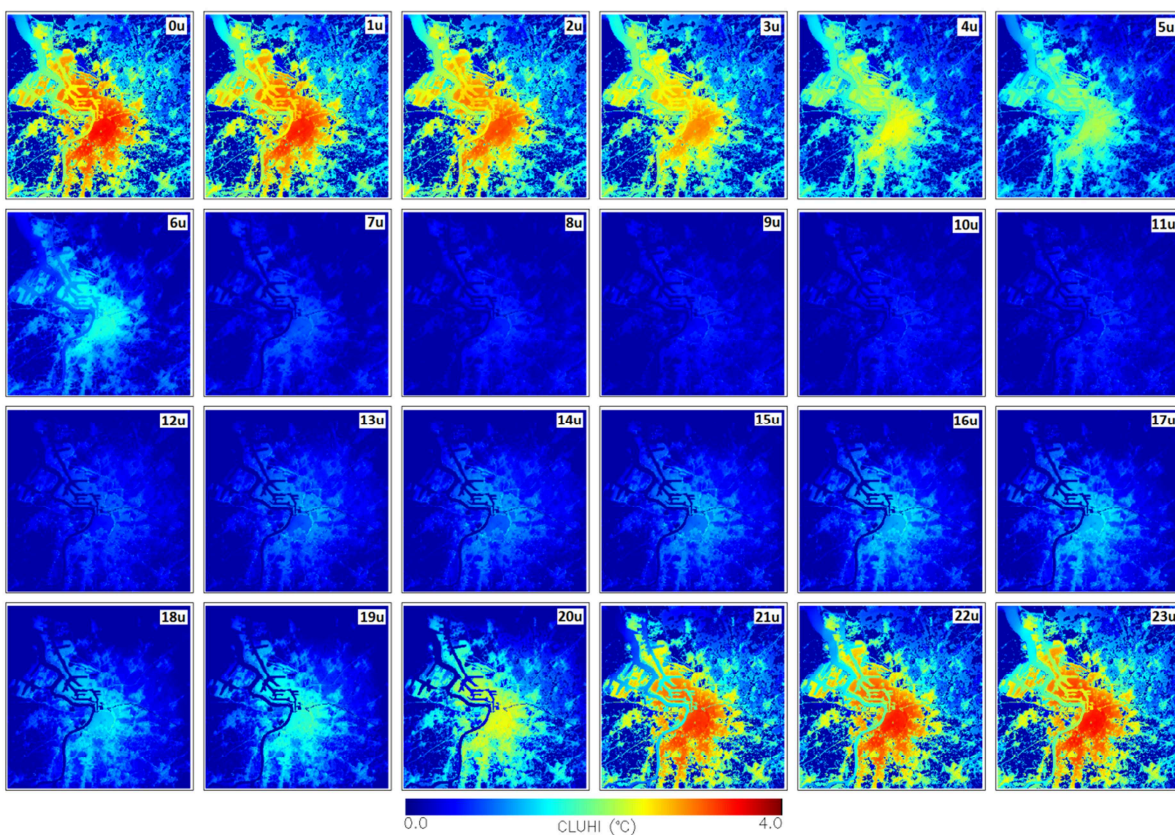
Modelberekeningen luchttemperatuur

A. Luchttemperatuur hitte-eiland (CLUHI)

Nu we een goed beeld hebben van de potentiële hittestress overdag in Antwerpen, kunnen we ook de nachtelijke hittestress in kaart brengen. Deze wordt in grote mate bepaald door de luchttemperatuur en m.a.w. hoe sterk het in de stad afkoelt. Voor het in kaart brengen van de oppervlaktetemperatuur konden we ons eenvoudig beroepen op satellietgegevens. Er bestaan echter geen universeel geldende relaties om satellietbeelden van oppervlaktetemperatuur te vertalen in luchttemperatuur. En ook de resultaten van de meetcampagne geven slechts een heel gelokaliseerd beeld van het CLUHI, zodat modellering noodzakelijk wordt om tot gebiedsdekkende informatie inzake de luchttemperatuur te komen.

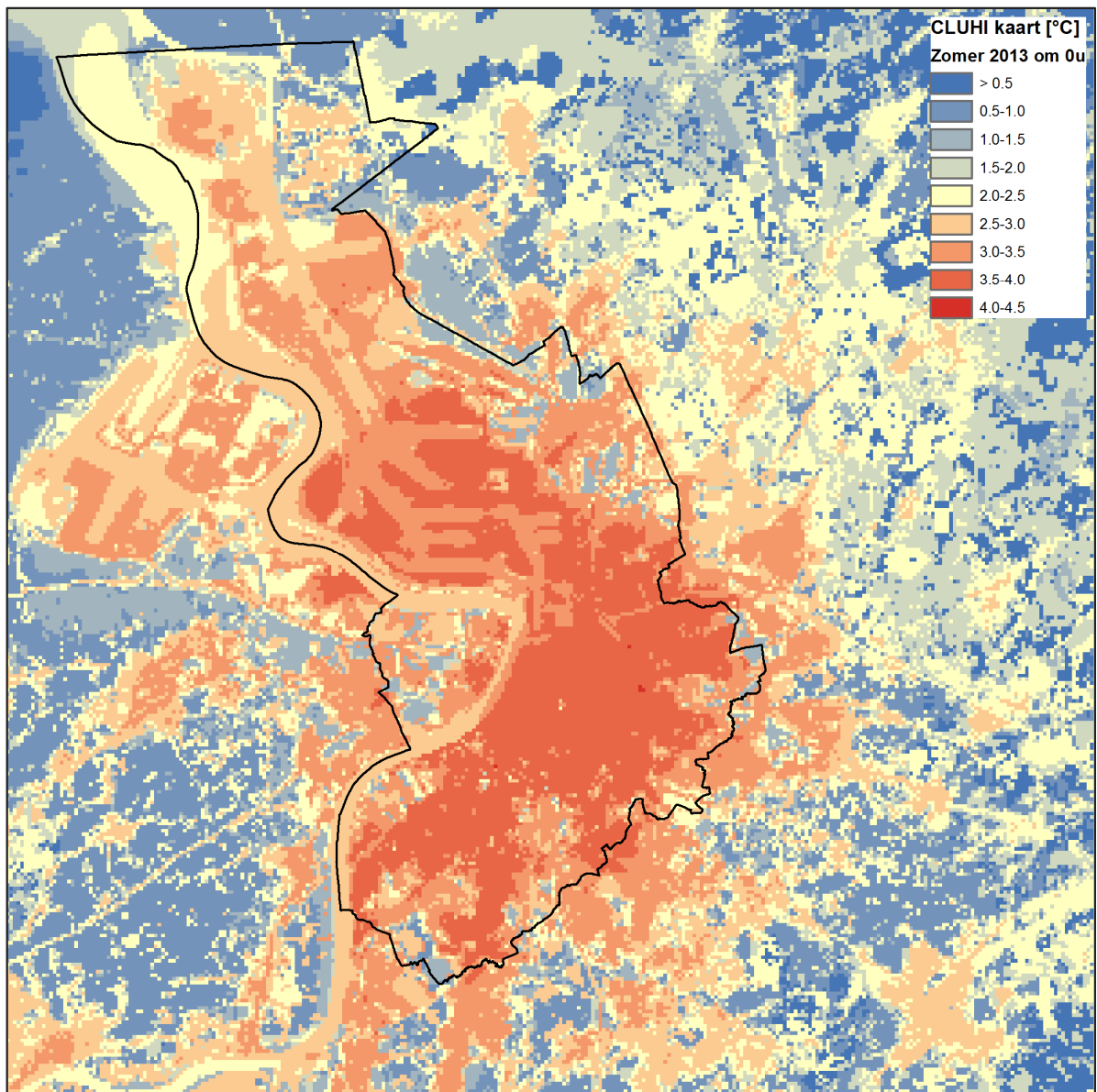
Voor de luchttemperatuurmodellering kozen we voor een modelconcept dat zowel de grootschalige meteorologische condities als de lokale stedelijke effecten in vereenvoudigde vorm in rekening brengt. Dit modelconcept, UrbClim, is gedetailleerd beschreven in Hoofdstuk 5 en vormt een compromis tussen rekentijd, ruimtelijk detail en complexiteit. UrbClim stelt ons in staat de uurlijkse luchttemperatuur te berekenen voor een volledige stad met een horizontale resolutie van 100 m en met een nauwkeurigheid die vergelijkbaar is met complexere klimaatmodellen. Naast landgebruiks-informatie en een globaal meteorologisch model⁴ maakt UrbClim ook gebruik van satellietopnames van de vegetatie-index.

In onderstaande figuur is het temperatuurverschil tussen de stad en het rurale gebied rond Antwerpen weergegeven per uur van de dag, **gemiddeld over de periode juli-augustus 2013**. Dit wil zeggen dat we in elk van de 24 afbeeldingen telkens het CLUHI effect tonen gemiddeld over de hele zomerperiode voor het afgebeeld uur van de dag, **beginnende om middernacht**.



We merken duidelijk dat, net als bij de metingen, ook uit de modellering volgt dat het SHE-effect het meest uitgesproken is rond middernacht (eerste beeld) met een intensiteit in het centrum van Antwerpen van gemiddeld zo'n 3 à 4°C. Heel vergelijkbaar dus met wat gemeten is in het Lyceum en Borgerhout (zie hoger). Gedurende de nacht verliest de stad geleidelijk aan haar warmte, en het CLUHI bereikt een minimum rond 9 à 10u 's morgens. Onder invloed van de zon warmt de stad overdag terug op. Naar mate de namiddag vordert wordt de opgeslagen warmte in de stad afgegeven aan de lucht en vergroot opnieuw het verschil met de omliggende rurale gebieden en rond 21u lokale tijd bereikt het CLUHI terug z'n volledige intensiteit. Hoewel deze temperatuurverschillen een heel stuk kleiner zijn dan de verschillen in stralingstemperatuur, hebben ze toch een groter effect op de menselijke gezondheid, waarover later meer.

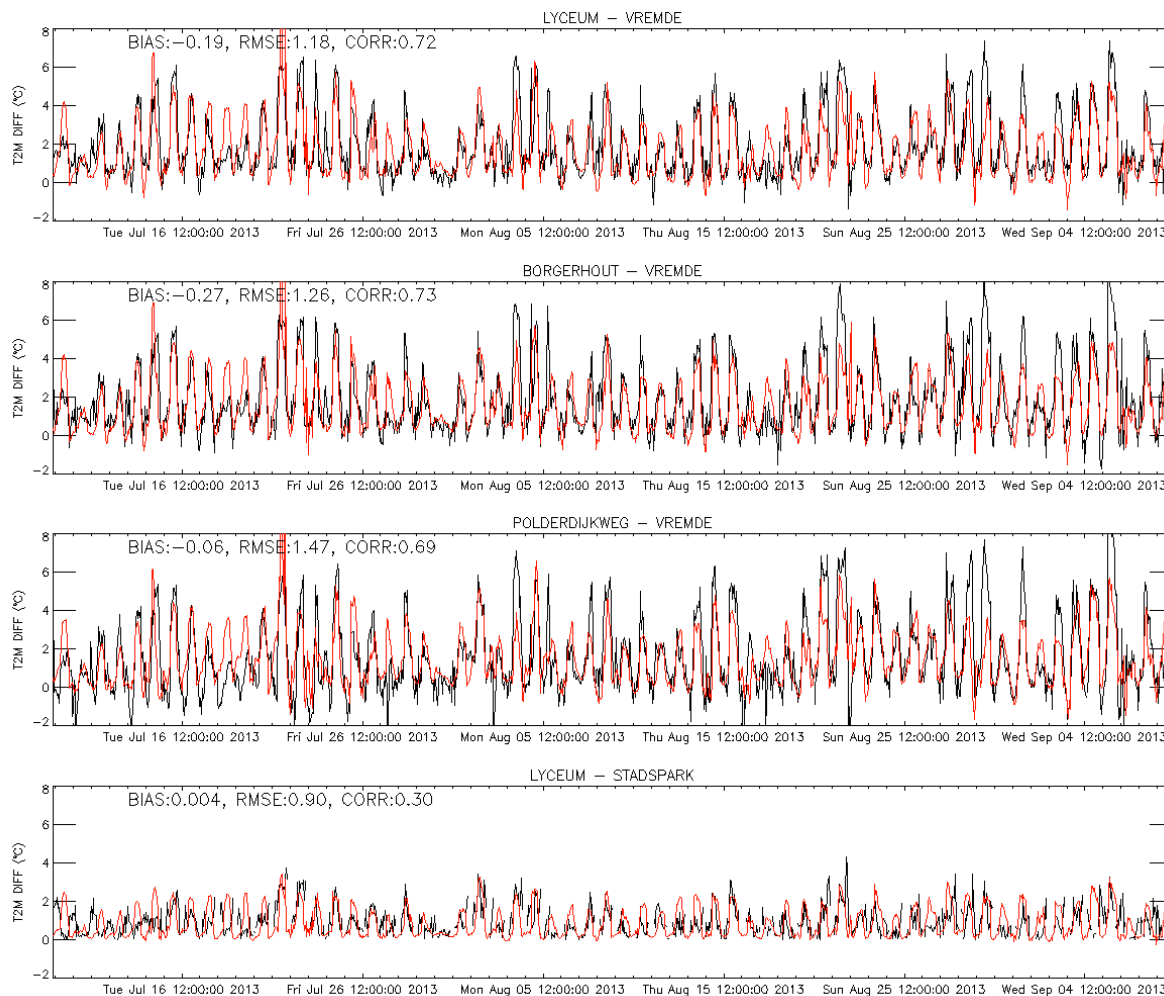
⁴ We gebruiken het model van het Europees weersvoorspellingcentrum te Reading, UK (ECMWF)



Hier zien we dan finaal het getailleerde CLUHI beeld van Antwerpen op basis van ons model: de gemiddelde luchttemperatuur gedurende de maanden juli en augustus om middernacht lokale tijd.

B. Validatie modelresultaten

Het model slaagt er dus in de grootte orde van het gemiddeld CLUHI-effect in Antwerpen (met name een kleine 4 °C in de binnenstad) correct te reproduceren. De modelresultaten werden echter aan een uitgebreide validatie onderworpen door ze te vergelijken met de gemeten tijdsreeksen. We zien hieronder een tijdsreeks van het verschil in luchttemperatuur zoals gemeten (**zwart**) en gemodelleerd met UrbClim (**rood**) tussen onze 4 stedelijke stations en het rurale station in Vremde. Op de figuren staan ook enkele foutstatistieken weergegeven: de bias (verschil tussen de gemiddeldes), de Root Mean Square Error (RMSE) en de correlatie coëfficiënt.



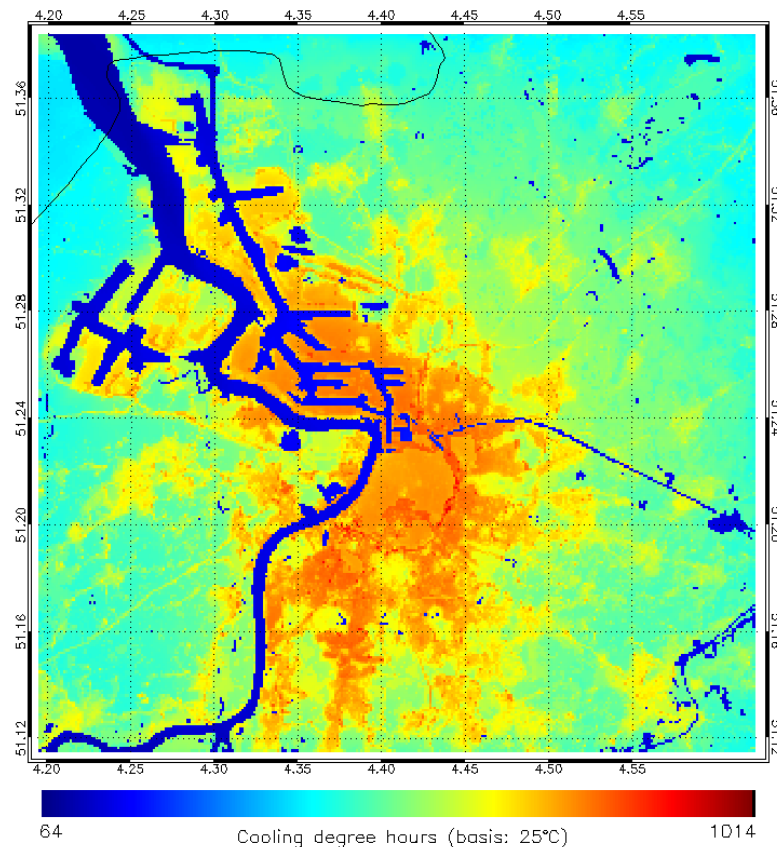
De overeenkomst tussen model en metingen is zeer bevredigend. Het UrbClim model is in staat om de temporele evolutie van de temperatuurverschillen correct te reproduceren. Het dient gezegd dat dit een heel stuk moeilijker is dan het reproduceren van de temperatuur op één locatie, hetgeen het model quasi foutloos kan. In het stadspark zijn er problemen geweest met de ventilator van het meetinstrument, waardoor de resultaten overdag niet betrouwbaar zijn en uit deze analyse zijn weggelaten. De gedetailleerde validatie resultaten worden besproken in Hoofdstuk 5, waar respectievelijk de capaciteit van het model bekeken werd om de evolutie van het CLUHI-effect in de tijd te reproduceren en in het tweede geval de capaciteit van het model om het ruimtelijk patroon van het CLUHI-effect weer te geven. Samengevat kunnen we stellen dat UrbClim er voor de beschouwde dataset in slaagt om 50 % van de variabiliteit⁵ als functie van de tijd van het CLUHI effect te verklaren, wat aanvaardbaar is voor dergelijke modellering, en een 75 % van het ruimtelijk patroon van het CLUHI effect s' nachts.

C. Afgeleide grootheden

Op basis van deze uurlijkse luchttemperaturen bespreken we nog enkele afgeleide grootheden zoals de maximale CLUHI-intensiteit, die in het model zo'n 6-7°C bedraagt, iets minder dan gemeten, wat doet vermoeden dat het model iets minder getrouw de pieken in de CLUHI-intensiteit kan reproduceren, zoals ook te zien is in bovenstaande figuur. Verder hebben we de

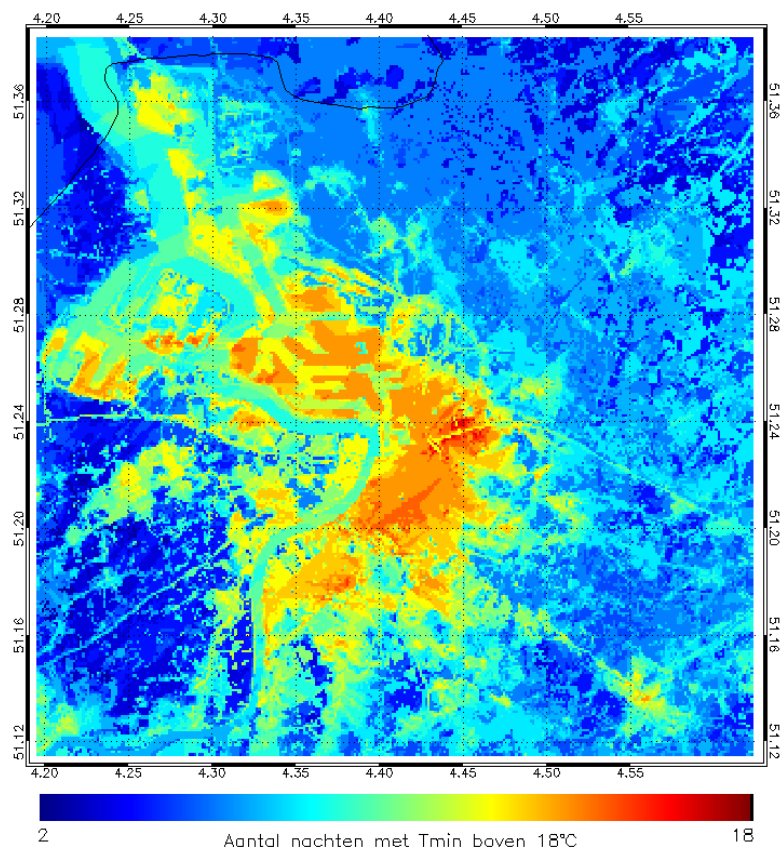
⁵ Gemeten als het kwadraat van de temporele correlatie coëfficiënt R^2

zogenoeten cooling degree hours⁶ berekend, die direct gelinkt zijn aan energieconsumptie. Het onderstaande beeld toont het resultaat van deze berekening. In het stadcentrum is het aantal uren dat de airco installaties zeker gebruikt zullen worden maar liefst dubbel zo groot als in het omliggende platteland. Dit betekent dus een enorme meerkost aan energie.



Een ander effect van het SHE blijkt uit het aantal dagen waar de minimum temperatuur 's nachts niet onder de 18 °C zakt. Daar zien we in het centrum tot meer dan twee weken langer "terrasjesweer" in de zomer dan in het platteland errond. We dienen er wel bij te vermelden dat dergelijke overschrijdingsindicatoren relatief gevoelig zijn en dat dit resultaat met enige voorzichtigheid dient benaderd te worden.

⁶ Het totaal aantal graad-uren dat de buitentemperatuur boven de 25 °C is, en wanneer de energievraag dus typisch gaat toenemen door het gebruik van airco installaties. Bv. een buitentemperatuur van 28 °C gedurende 3 uren komt overeen met 9 graad-uren.



Potentiële impact - literatuurstudie

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de mogelijke gevolgen van het SHE. Aangezien we niet beschikken over specifieke data voor de stad Antwerpen en er ook geen onderzoek is verricht specifiek voor Antwerpen, kunnen we ons enkel baseren op de beschikbare wetenschappelijke literatuur en een algemeen overzicht geven. In eerste instantie denken velen vooral aan de negatieve impact op gezondheid en zelfs het verband met (voortijdige) overlijdens, waaraan we hier ook het meeste aandacht besteden. Er zijn echter nog andere effecten waar we korter op ingaan.

A. Gezondheid en welzijn

De omgevingstemperatuur is één van de belangrijkste factoren die de **nachtrust** beïnvloeden. Hitte kan het slaappatroon verstoren en aangezien alle mensen nood hebben aan slaap, kan de totale negatieve impact hiervan groot zijn. Op basis van de huidige onvolledige kennis van de invloed van hitte op slaap en de economische impact van slaapte kort, kan echter geen onderbouwde inschatting gemaakt worden over de grootteorde van de maatschappelijke kost van deze oorzaak-gevolg keten.

In het algemeen zijn er meer **ziekenhuisopnames** gedurende hitte golven en dit zowel bij oudere als jongere volwassenen. De meeste opnames zijn te wijten aan directe hitte-gerelateerde verschijnselen zoals “uitputting door hitte” en hitte-slag, dehydratatie, verstoring van de elektrolytenbalans (zouten) en acuut nierfalen. Sommige opnames zijn te wijten aan neurologische problemen, psychologische problemen of geweld-gerelateerde oorzaken. Het opwarmen van het

menselijk lichaam bij hitte wordt aangeduid als hyperthermie. Vooral wanneer deze opwarming langdurig is, kan dit leiden tot hitte gerelateerde ziekten zoals krampen, flauwtes, beroertes en zelfs de dood.

Liefst 95 procent van de geregistreerde **sterftegevallen** als gevolg van natuurlijke rampen in postindustriële samenlevingen, is gelinkt aan extreme temperaturen. De relatie tussen een bepaalde stijging in temperatuur en de daaruit volgende stijging in menselijk onbehagen en in sterfte varieert sterk naargelang de breedtegraad en de klimatologische zone. Voor België betekent dit dat mensen meer kwetsbaar zijn voor hittegolven dan bijvoorbeeld mensen uit Zuid-Europa, waar men meer gewend is aan hitte(golven). Deze kwetsbaarheid is des te groter in stedelijke omgevingen, zoals Antwerpen, waar het effect van hittegolven versterkt wordt door het optreden van het SHE effect.

Echter het achterhalen van wie er nu meer of minder gevoelig is aan een bepaalde stijging in temperatuur is verre van eenvoudig, elke persoon ervaart een hittegolf anders, het is een combinatie van fysiologische, sociale en ecologische variabelen. Een belangrijke factor kan **voorafgaande ziekte** zijn, bijvoorbeeld personen met cardiovasculaire problemen en een slechtere werking van de nierfunctie zijn extra kwetsbaar voor hitte. Verder kan geconstateerd worden dat vooral leeftijd een rol speelt en dan vooral in de leeftijdsgroepen **tot 4 jaar en boven 65 jaar**. Dit is omdat ouderen en jonge kinderen minder hitte-regulerende mechanismen hebben.

Ook op sociaal vlak zijn er enkele algemene vaststellingen te maken. Allereerst is **sociale isolatie**, waarmee bedoeld wordt dat deze personen weinig contact hebben met anderen, een significante voorspeller voor personen die lijden onder de hitte. Ook taal-onkundigen, in het geval van Antwerpen **niet-Nederlandstaligen**, zijn meer vatbaar voor de gevolgen van hitte omdat ze minder kennis hebben van de lokale taal wat ervoor zorgt dat communicatie met overheid en hulpverleners minder goed verloopt. Tenslotte zijn **lage inkomensgroepen** meestal meer vatbaar voor hitte door een combinatie van: (1) een grotere blootstelling door het wonen in de delen van de stad waar het SHE het grootst is; (2) een lagere adaptieve capaciteit (dit is bijvoorbeeld het verhuizen naar beter geïsoleerde huizen of het aanpassen van die huizen); (3) een lagere graad van bescherming (fysiologisch, door onbekendheid, maar ook minder afgesloten verzekeringen etc.).

De negatieve impact van het milieu op ziektelast en voortijdige overlijdens wordt vaak uitgedrukt in DALY (*Disability Adjusted Life Year*). DALYs staan voor de potentieel verloren gezonde levensjaren door ziekte (morbiditeit) of voortijdige overlijdens (mortaliteit). Op basis van cijfers voor Vlaanderen die we extrapoleren naar Antwerpen, kunnen we het **jaarlijks gemiddeld verlies aan verloren levensjaren ten gevolge van hitte in Antwerpen ramen op minimaal een 80-tal DALYS per jaar**. De details van deze inschatting zijn terug te vinden in Hoofdstuk 6.

B. Energieverbruik

Om op warme dagen het microklimaat te reguleren en een aangename temperatuur te bereiken, wordt vaak veel energie verbruikt. Het aantal nachten waar de minimumtemperatuur 's nachts niet onder de 18 °C zakt en het aantal uren dat de temperatuur boven de 25°C ligt (zie boven), geven een goede indicatie van de vraag naar het gebruik van airco-installatie. Het SHE leidt dus ongeveer tot een verdubbeling van het aantal uren waarop mensen geneigd zijn om hun airco op te zetten. Deze gegevens geven duidelijk aan dat het SHE een belangrijke invloed zal hebben op de vraag naar energie voor koeling. Op basis van resultaten van steden in gelijkaardige klimaatzones verkregen

we een indicatie van het effect van (het temperen van) het SHE op het energieverbruik in zulke steden. De waarde hiervan blijkt in de grootteorde van 5 tot 20 euro per inwoner te liggen.

C. Faling van infrastructuur

Overmatige hitte kan leiden tot het (tijdelijk) falen van bepaalde infrastructuren, zoals (spoor)wegen en elektriciteitscentrales. Uit de literatuurstudie blijkt dat hogere temperaturen zullen leiden tot snellere achteruitgang van bepaalde basismaterialen (bvb. asfalt, betonklinkers, ...) van (spoor)weginfrastructuren en bruggen. Sterkere thermische expansie en contractie kan resulteren in meer problemen. De hittegolf van 2003 resulteerde in het Verenigd Koninkrijk tot heel wat vervormde sporen met belangrijke vertragingen tot gevolg met een totale geschatte kost van meer dan £3.5 miljoen. Een recente studie rapporteert dat de degradatie van voetpaden ten gevolge van klimaatverandering tegen 2050 drie keer sneller zou gaan dan vandaag door de toegenomen temperaturen. In het voorbije decennium waren er in Europa regelmatig periodes met tekorten aan “koelwater” voor nucleaire energiecentrales. In de warme zomer van 2003 moesten 30 energiecentrales daardoor hun productie verlagen. Dit kan in de toekomst een belangrijke issue worden, ook voor Antwerpen, dat afhankelijk is van de productie in Doel.

D. Positieve effecten

Op basis van satellietbeelden van 70 steden is ontdekt dat het groeiseizoen van planten tot op een afstand van 10 kilometer van de stadsrand verlengd is. Het groeiseizoen is daar ongeveer 15 dagen langer dan in de landelijke zone verderaf van de steden. In de lente is er ook eerder bloei, ongeveer 3 dagen eerder per graad Celsius temperatuurverschil met de landelijke omgeving buiten de invloedzone. Zoals eerder aangegeven betekent het SHE vooral dat het 's avonds trager afkoelt in de stad dan in de landelijke omgeving. Dit doet vermoeden dat het SHE een positieve invloed heeft op de omzet van horecazaken met terras. Hoewel dit een leuk onderzoeksthema lijkt, vonden we hierover geen cijfermateriaal terug in de wetenschappelijke literatuur.

Kwetsbaarheidsanalyse

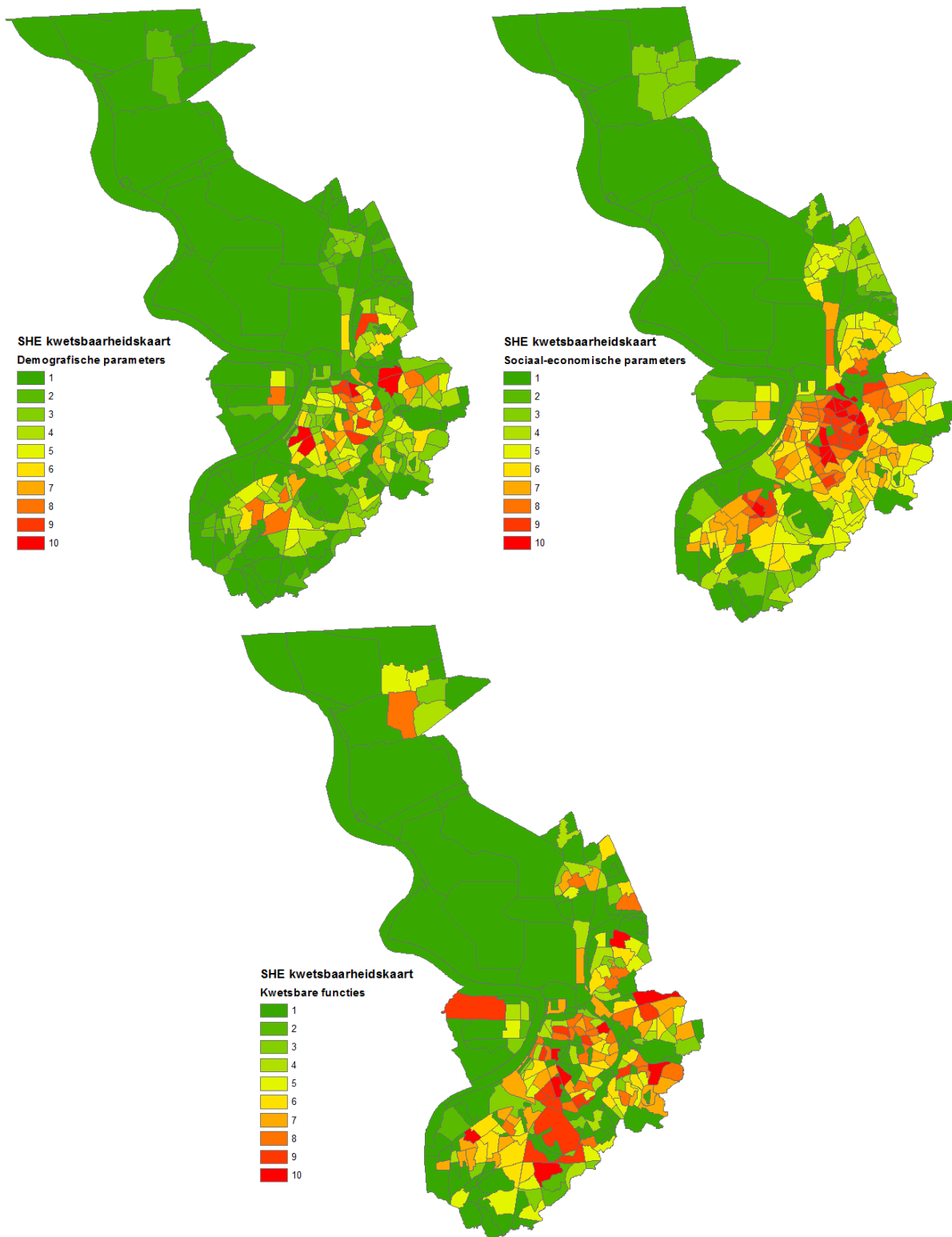
Vervolgens is er een kwetsbaarheidsanalyse uitgevoerd om naast het voordoen van het SHE (zowel CLUHI als SUHI) de gevoeligheid van de bevolking hieraan te onderzoeken. Dit gebeurt door de resultaten van het SHE in verband te brengen met de karakteristieken van de bevolking. In het vorige hoofdstuk is reeds dieper ingegaan op het bepalen van welke bevolkingsgroepen meer of minder gevoelig zijn aan een stijging van de temperatuur. We willen hierbij opmerken dat we geen cijfers tot onze beschikking hadden wat betreft de niet-Nederlandstaligen in Antwerpen, voor de analyse hebben we daarom gebruik gemaakt van het aantal vreemdelingen per buurt, zoals ter beschikking op de online Antwerpse buurtmonitor.

De centrale vraag in dit hoofdstuk was nu: welke buurt(en) in Antwerpen is(zijn) het meest gevoelig voor het hitte-eiland effect in relatie tot de voornoemde fysiologische, sociologische en economische factoren, zowel op het gebied van de dagstress (SUHI-waarden), als de nachtstress (CLUHI-waarden). De parameters die voor deze kwetsbaarheidsanalyse zijn gebruikt, zijn onderverdeeld naar demografische factoren, sociaal-economische factoren en kwetsbare functies (zie onderstaande tabel).

		CLUHI (nachtstress)	SUHI (dagstress)
Demografie	Gevoelige leeftijd (0-9 jaar)	x	x
	Gevoelige leeftijd (> 65 jaar)	x	x
	Totaal aantal inwoners	x	x
	Aantal alleenstaanden	x	x
	Aantal vreemdelingen	x	x
Sociaal-economisch	Ondermodaal inkomen	x	x
	Werkloosheidsgraad	x	x
Kwetsbare functies	Ziekenhuis	x	x
	Rusthuis	x	x
	Dagzorg		x
	Kinderopvang		x
	Kleuteronderwijs		x

Er is hierna door ons een methode uitgewerkt om de verschillende statistische sectoren in Antwerpen met elkaar te kunnen vergelijken wat betreft hun SHE-kwetsbaarheid, zowel per parameter als voor de overkoepelende indeling. De details van deze analyse zijn terug te vinden in Hoofdstuk 7. Onderstaande figuren geven de gecombineerde kwetsbaarheid voor alle parameters weer, zowel voor dag- als nachtstress, geschaald van 1 (weinig kwetsbaar) tot 10 (erg kwetsbaar).

Wat opviel in de analyse is dat de SHE-gevoeligheden van iedere buurt sterk verschillen naar gelang de parameter die beschouwd werd. De algemene rangorde is sterk gerelateerd aan het totaal aantal inwoners, hetgeen vrij logisch is. De sterkste gevoeligheden wat betreft de kinderen, ouderen en vreemdelingen zijn telkens in andere buurten terug te vinden hetgeen aangeeft dat er een sterke segregatie is van leeftijd en origine in de verschillende Antwerpen buurten. Dit biedt uiteraard ook kansen naar een gerichte aanpak van de SHE-problematiek op buurtniveau, aangezien ouderen andere noden en zorgen nodig hebben dan jonge kinderen tijdens een hittegolf.



Op basis van de bekomen tabellen en kaarten is er vervolgens een selectie gemaakt van 5 'case studies', kwetsbare buurten wat betreft het stedelijke warmte-eiland, waar we in meer detail zijn gaan kijken naar de lokale situatie. Als **voorbeeld** bespreken we hier de situatie in de Noordwijk, een cluster van buurten rond het Stuivenberg ziekenhuis, die uit de SHE-kaarten en de kwetsbaarheidsanalyse duidelijk naar voren komt als belangrijke 'hotspot' en aandachtsgebied van Antwerpen. De sociaal-economische situatie is er het slechtst naar SHE-kwetsbaarheid, met hoge

werkloosheidscijfers en lage inkomens, er wonen bovengemiddeld veel vreemdelingen, het totaal aantal inwoners is er erg hoog, waarbij er ook veel jonge kinderen zijn. Het luchtbeeld hieronder brengt de problematiek in beeld: de wijk bestaat uit een aaneenschakeling van volgebouwde, kleine straatjes en grote betonnen woonblokken. Buiten een aantal verspreide bomen rond het ziekenhuis is er van groen weinig sprake.



Om het visuele beeld van de wijk te versterken, werd er ook een kwantitatieve analyse uitgevoerd, waarbij de score van alle buurten berekend werd voor de verklarende variabelen van het SHE-effect (zie Hoofdstuk 3). Om te kunnen vergelijken met de standaardwaarden voor Antwerpen zijn in onderstaande tabel ook de gemiddelde waarden voor alle statistische sectoren van Antwerpen toegevoegd. De cijfers in de tabel bevestigen duidelijk het visuele beeld: deze wijk scoort voor alle verklarende variabelen een heel stuk slechter dan het Antwerpse gemiddelde. Er is geen open water aanwezig in de hele wijk. De fractie vegetatie, zelfs in de buurt van het ziekenhuis, is slechts half zo hoog als het Antwerpse gemiddelde. De belangrijkste factor lijkt hier de versteningsgraad, die quasi maximaal is. De weinige bomen die er zijn staan duidelijk apart of in verhardingen en grasveldjes of groene tuinen met doorlaatbare bodem zijn er niet of nauwelijks. Ook de sky view factor is hier erg laag door de vele kleine straatjes met hoge gebouwen, waardoor de invallende en uitgaande straling efficiënt ingevangen wordt. Er is in deze wijk duidelijk nood aan - en heel veel opportuniteiten voor - beleidsmaatregelen, die uitgewerkt worden in Hoofdstuk 9.

Buurt	Fractie water [%]	Fractie vegetatie [%]	Versteningsgraad [%]	Sky view factor [%]
STUIVENBERG ZIEKENHUIS (NOORDWIJK)	0,0	25,4	92,2	47,4
DE ZAVEL (NOORDWIJK)	0,0	17,0	99,8	38,2
ST.-ANNA	0,0	20,1	98,0	46,8
STUIVENBERG - WEST	0,0	19,6	98,2	47,2
Gemiddelde	0,0	20,5	97,0	44,9
Gemiddelde Antwerpen	3,3	38,2	61,2	73,7

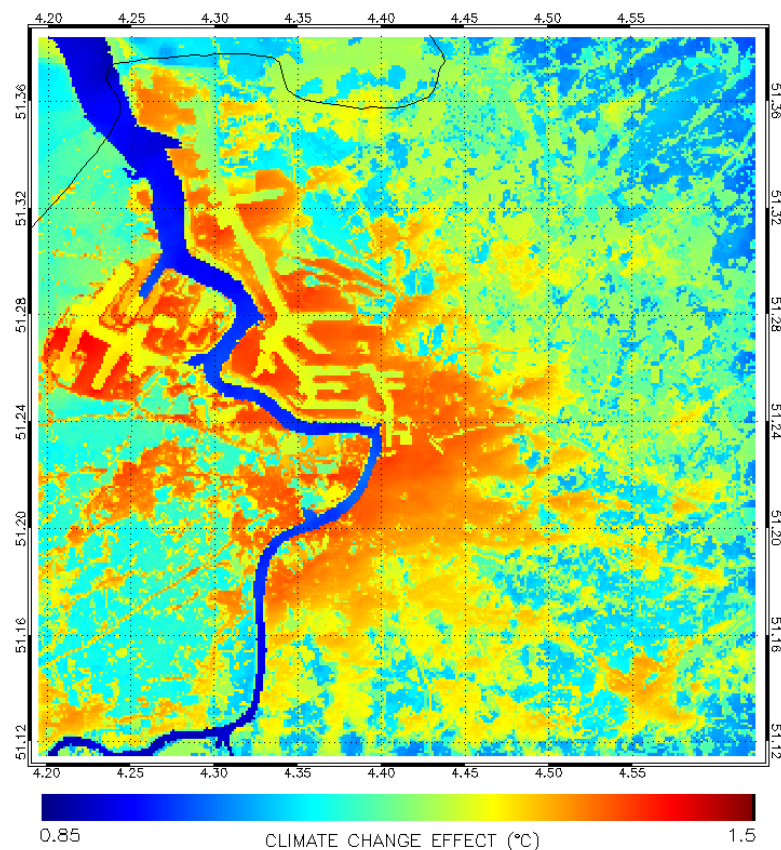
Toekomstprojectie

In een volgend onderdeel van de studie werd een inschatting gemaakt van hoe het SHE in Antwerpen zal evolueren in de toekomst. Twee zaken spelen hier een rol:

- **Klimaatverandering**: Uit de IPCC (2013) rapporten en de literatuur blijkt dat de huidige concentratie broeikasgassen in de atmosfeer zal leiden tot een geschatte temperatuurstijging van bijna 2 °C in de komende decennia. Eind 2012 werden door VMM-MIRA een aantal klimaatindicatoren geactualiseerd, waaruit bleek dat het in ons land al gemiddelde 2.3 °C warmer is dan de pre-industriële periode. Klimaatonderzoekers verwachten ook dat het aantal hittegolven en zeer warme dagen nog verder toeneemt. Onderzoek toont daarbij ook aan dat de intensiteit van het hitte-eiland effect toeneemt bij hogere temperaturen, m.a.w. hoe warmer, hoe intenser het hitte-eiland effect. Ook hier blijkt uit analyse van VMM-MIRA dat er een zekere trend aanwezig is in ons land met een verdubbeling van het aantal hittegolven sinds 1990 t.o.v. het gemiddelde van de 20^e eeuw.
- Een tweede facet aan dergelijke toekomstprognose dat we dienen in rekening te brengen is het veranderende **landgebruik**. Een stad is uiteraard geen statisch gegeven en zal zich deels afhankelijk van de macro-economische toestand gaan ontwikkelen. We beroepen ons hiervoor op de resultaten van de landgebruiksmodellering in het kader van de LNE studie “De Vlaamse Ruimte in 4 Wereldbeelden” en meer bepaald kiezen we voor een business-as-usual scenario gezien dit momenteel nog altijd als het meest waarschijnlijke geacht wordt. In de studie wordt rekening gehouden met een bevolkingstoename op basis van cijfers van het Federaal planbureau per arrondissement. In dit dynamisch landgebruiksmodel wordt de toekomstige invulling voor een bepaalde cel bepaald op basis van een aantal beslissingsregels die rekening houden met de *functionele omgeving* (i.e. het landgebruik in de onmiddellijke omgeving van de cel), de *bio-fysische geschiktheid* (kan een bepaalde cel weldegelijk een bepaald type landgebruik ondersteunen), de *beleidsstatus* (legale toestand, bestaande gewestplannen, beschermingszones etc...) en tenslotte de *ontsluiting* van de cel waarmee we de bereikbaarheid via verkeersinfrastructuur bedoelen. We zien in dit landgebruiksmodel in het centrum van Antwerpen een status quo naar 2030 toe, maar ook een verdere verdichting in de omliggende gemeenten rond Antwerpen.

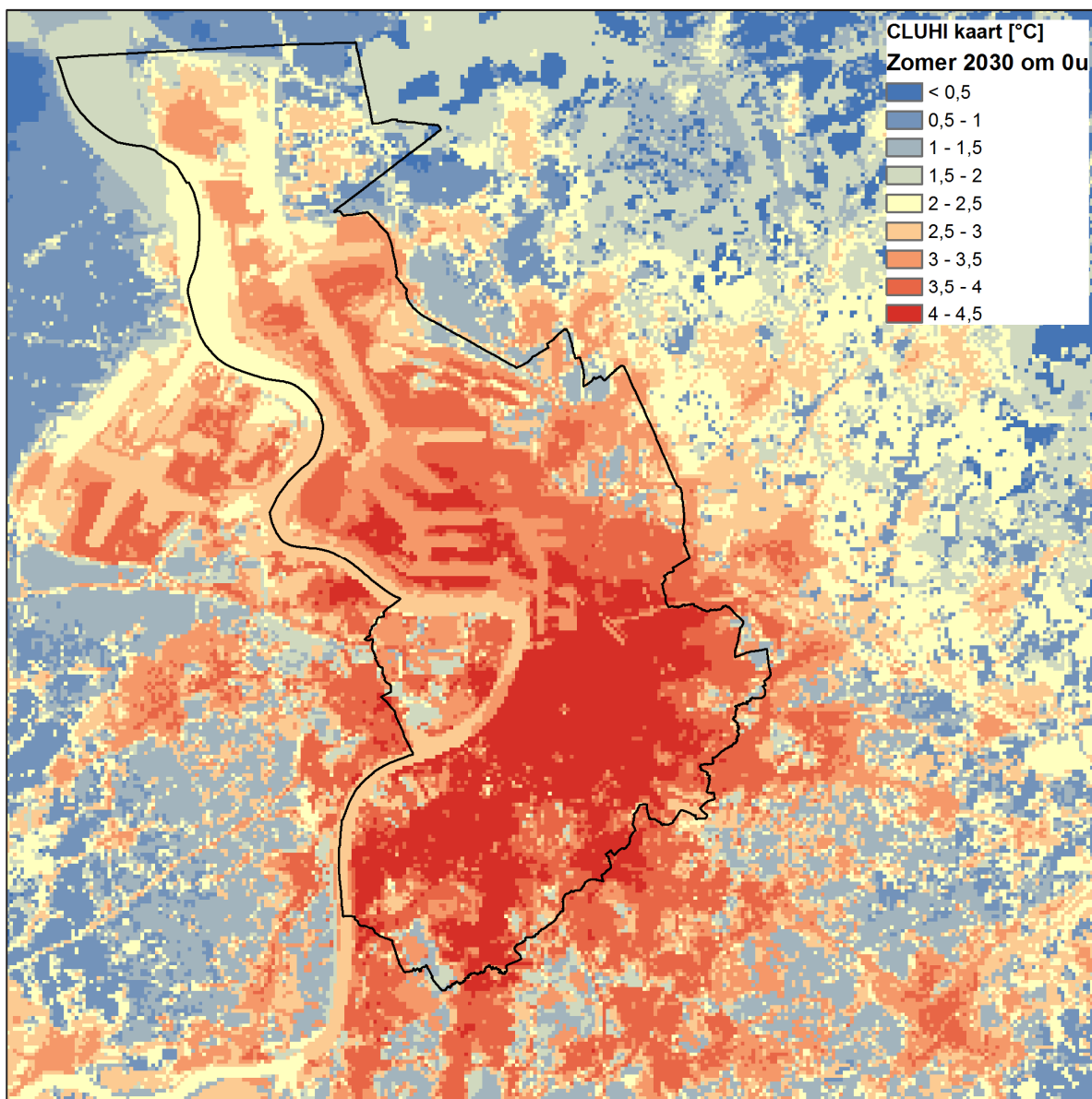
A. Toekomstprojectie stedelijk hitte-eiland effect omwille van klimaatverandering

Voor deze toekomstprojectie werd een doorrekening gedaan aan de hand van de meteorologische condities van één enkele zomerperiode, nl. de hete zomer van 2003, als representatief jaar voor een verwachte toekomstige zomer. Dit is uiteraard een significante simplificatie, maar gezien de beperkte beschikbare tijd voor deze studie hebben we geopteerd voor een pragmatische aanpak. Het is uiteraard niet voor niets dat men in klimaatscenarios typisch periodes van 10-30 jaar doorrekent. We kunnen echter wel op basis hiervan een inschatting doen van de impact van de klimaatverandering op het stedelijk hitte-eiland-effect voor Antwerpen.



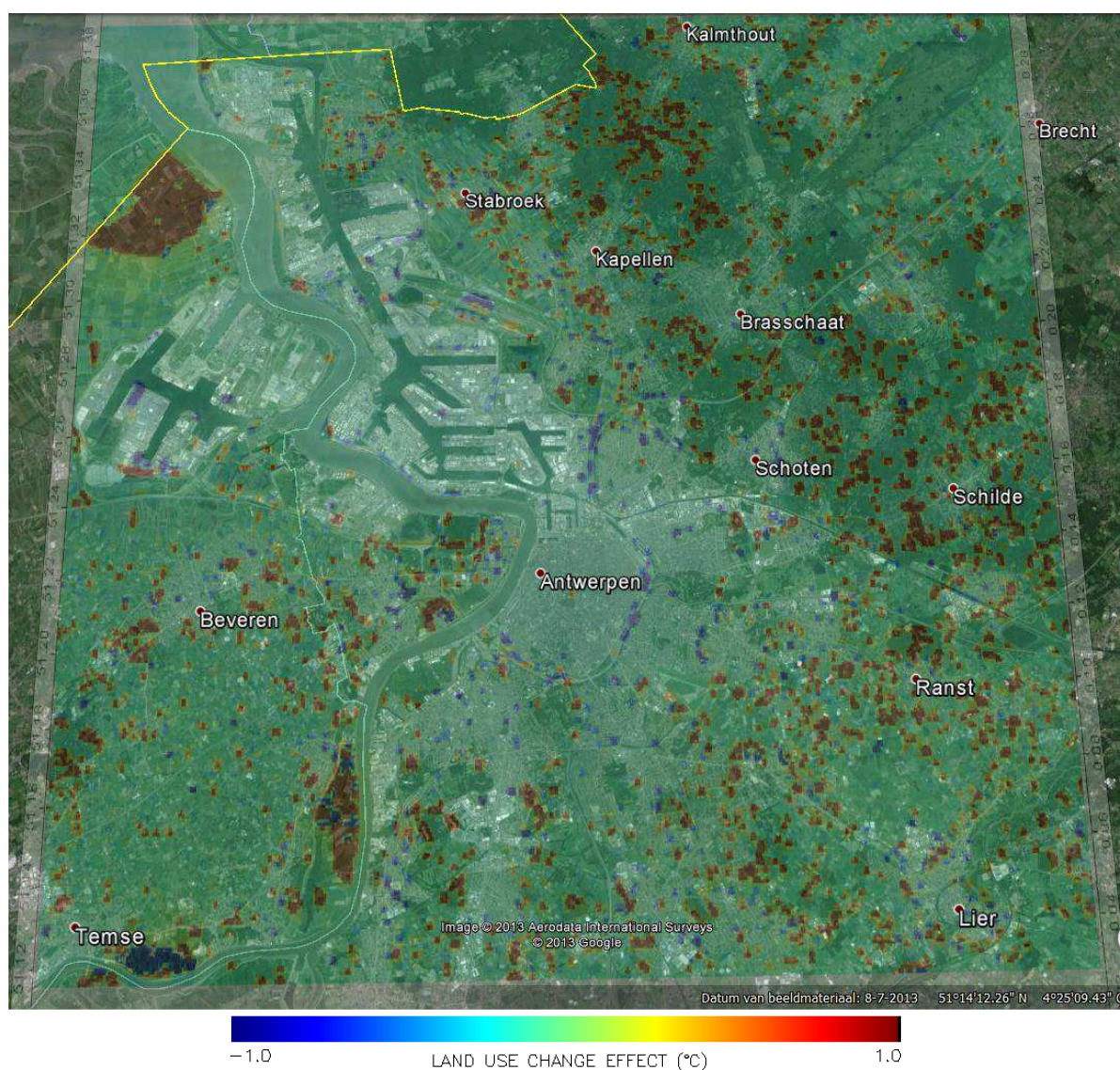
Bovenstaande figuur geeft het **gemiddeld** temperatuurverschil weer tussen de zomer van 2003 (onze proxy voor het toekomstig klimaat) en de zomer van 2013. We zien dat de temperatuur globaal gezien toeneemt met ongeveer 1°C, maar ook dat de stad en het havengebied nog een iets sterkere toename kennen tot 1.5°C. Het stedelijk warmte-eiland zorgt er dus voor dat de temperatuurstijging als gevolg van de klimaatverandering nog met ongeveer 50% wordt verhoogd in de stad. Ook bleek dat de binnenstad een 6-tal extra dagen met een nachtelijke minimum temperatuur boven de 18 °C ondervond, en een dubbel zo hoge stijging van de cooling degree hours dan het omringende platteland. Verder kon er een duidelijke toename van de pieken in SHE intensiteit vastgesteld worden.

De resulterende CLUHI kaart is in onderstaande figuur weergegeven. In vergelijking met de kaart voor de huidige situatie (zie boven) zien we dat de **maximale waarden** in de verstedelijkte zones van Antwerpen verder toenemen van 4 tot 4.5 °C. Gezien het hier gaat om een gemiddelde waarde voor de volledige zomer is dit toch een aanzienlijke stijging, en dat voor een erg groot gedeelte van het Antwerpse grondgebied.



B. Toekomstprojectie stedelijk hitte-eiland effect op basis van landgebruik in 2030

In onderstaande figuur is het model resultaat weergegeven van het effect van de toegepaste landgebruiksveranderingen op de gemiddelde temperatuur van de volledige zomer. We zien dat de effecten beperkt zijn, zowel in grootte als in hun ruimtelijke omvang. Lokaal ondervinden verstedelijkte zones een temperatuurstijging van maximaal 1 °C, maar er zijn ook zones waar er door bebossing of uitbreiding van natuurgebied een temperatuurdaling kan verwacht worden. We dienen hierbij wel op te merken dat deze geïdentificeerde zones het resultaat zijn van een landgebruiksprojectie aan de hand van een dynamisch landgebruiksmodel, er is m.a.w. enige onzekerheid voor wat betreft de locatie van de individuele zones van sterke verstedelijking. De landgebruiksprojecties bevatten met name geen directe informatie afkomstig van concrete beleidsplannen van de Stad Antwerpen. De grote trends die we hieruit echter kunnen halen lijken wel relevant, nl. een toename van het SHE-effect t.g.v. verstedelijking vooral in de buurgemeenten van Antwerpen, en niet zozeer in Antwerpen zelf, met een lokale toename van ongeveer 0.5 °C tot in bepaalde gevallen 1 °C gemiddeld.



Algemene conclusies en beleidsaanbevelingen

Tenslotte worden de voornaamste conclusies uit dit onderzoek samengevat in Hoofdstuk 9. Op basis hiervan kan dan worden ingegaan op een aantal aanbevelingen en potentiële beleidsmaatregelen om het effect van hittestress voor de gezondheid van de bevolking te beperken, en het algemene welzijn in de stad te bevorderen. Dit betreffen zowel ruimtelijke, sociaal-economische, sensibiliserende, als andere organisatorische maatregelen. Daarbij bevelen wij aan zowel een generiek, als een gebiedspecifiek deel te onderscheiden. Het generieke deel betreft daarbij de algemene beleidsmaatregelen die men kan voorstellen om hitte-stress in Antwerpen te voorkomen; de gebiedspecifieke delen de meer concrete maatregelen die ook sterk context gevoelig zijn. Vanuit de algemene lijnen die uit het onderzoek naar voren komen kan men bijvoorbeeld denken aan de volgende generieke beleidslijnen:

- Uitbreiding en verdichting van opgaand groen (dus bomen en struiken) en gevelgroen. Idealiter wordt dit groen niet alleen geconcentreerd op enkele plekken, maar gespreid langs 'klimaatassen' vanuit de stad richting het meer koele ommeland. "Groene straten"-

projecten kunnen mogelijk ook de sociale cohesie versterken tussen de buurtbewoners, op basis van een gemeenschappelijk project en de contacten die dat meebrengt.

- De doorstroming van water doorheen de stad te bevorderen gezien stromend water minder vlug zal opwarmen.
- Tegelijkertijd is het gewenst om tijdens natte dagen zoveel mogelijk water vast te houden, waar mogelijk natuurlijk te zuiveren, om deze waterreservoirs in droge dagen weer te gebruiken.
- De koppeling van vegetatie en waterelementen resulteert in een koelend “oase”-effect. Deze koppeling kan eventueel geïntegreerd worden in een groen-blauw-route-netwerk met inbegrip van de hierboven vermelde ‘klimaatassen’. Best is om zoveel als mogelijk groene oevers en bomenaanplant langs de rivier- en kanaallopen te bevorderen, teneinde het verkoelend effect van water zoveel mogelijk te benutten.
- Voorzien van voldoende verkoelende plekken, badhuizen, watertappunten per buurt.
- Specifiek in het streven naar een ruimte neutrale ontwikkeling van de stad is nader ontwerpend onderzoek op microschaal aan te raden om een optimale combinatie van verdere verdichting te combineren met een beperking van het SHE. Enkele voorbeelden hiervan worden in Hoofdstuk 9 gegeven.
- Een verdere sensibilisering van de bevolking, werkers en bezoekers zal uiteraard de impact van het SHE reduceren. Periodieke en ook op hittedagen toegespitste communicatie en informatie is hiertoe nodig; met name ook richting kansarmen, Belgen van vreemde afkomst/niet-Belgen en (onvermoede) bezoekers aan de stad. Daarnaast is het gewenst te komen tot een flankerende programmering ter versterking van de onderlinge sociale controle, met name ook bij alleenstaanden en bejaarden. Dat geldt tevens voor een aangepaste zomerse sport-, recreatie- en eventprogrammering, en een aangepast openlucht speelpleinprogramma op hittedagen. Gratis verlening van drinkwater (op deze dagen) kan helpen.

Naast deze generieke maatregelen is het gewenst om meer gebiedsgerichte maatregelen te overwegen. Als voorbeeld zullen we hier ingaan op de hierboven besproken Noordwijk, andere voorbeelden zijn terug te vinden in Hoofdstuk 9. Om de situatie te verbeteren en de Noordwijk binnen de gegeven beperkingen meer robuust te maken, kan gedacht worden aan de volgende mogelijkheden:

- Een zoveel mogelijk SHE-neutrale aanleg binnenstedelijke verdichting; waaronder:
 - o Het zoveel mogelijk gebruik van reflecterende, lichte bouwmaterialen;
 - o Gebruik groene daken, bevordering groene gevels, schaduwplekken en pergola's;
 - o Zoveel mogelijk voorkoming asfalt in de buitenruimte, waar mogelijk herstel met licht gekleurde betonplaten en/of grassteen;
 - o Het opzetten van collectieve ontwerpende verkenning voor een klimaat robuuste opzet, waarin ook de informatie, kennisuitwisseling met en zelfinitiatief van de (aangrenzende) bevolking zoveel mogelijk wordt gestimuleerd.
- Een consequente uitvoering van alle openlucht parkeerplaatsen met grasbeton en/of open groene tegels (reductie fractie verharding met 40-70%), ook ter bevordering van de waterinlaat in de ondergrond.
- Aangepast binnenblok beleid, door het afbreken of beperken van bebouwing en/of bevordering van een groene daken programma waar mogelijk.
- Bevordering van nieuwe buurtgebonden collectieve parkeerruimten en/of deel autogebruik, in combinatie met een bomen voor parkeren programma in de buurtstraten; mogelijk naar voorbeeld van de woonerven in Nederland.
- Sociaalgroene dooradering van de wijk naar voorbeeld van bijv. De Venning Kortrijk of de Foodscape Schilderswijk Den Haag (zie Hoofdstuk 9).

- Bevordering schaduwrijke speelterreinen voor jonge kinderen en bij de betreffende peuter- en kleuteropvang; vergroening kleine pleintjes
- In alle geval een op hitte dagen toegespitst informatie- en communicatieprogramma voor de niet-Belgen in de wijk. Dit kan via in taal aangepaste brochures, informatieavonden in koffie-, buurt-, badhuizen e.d. of via de reguliere kanalen bij de school en moskee.