

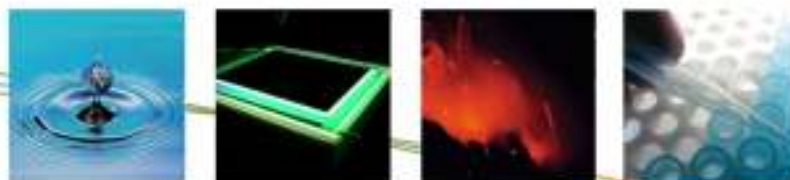
Eindrapport

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

Bino Maiheu, Karel Van den Berghe, Luuk Boelens, Koen De Ridder en Dirk Lauwaet

Studie uitgevoerd in opdracht van: Stad Gent - Milieudienst
2013/RMA/R/113

Juni 2013



VERSPREIDINGSLIJST

Maike Breugelmans, Stad Gent
Jeroen Mercy, Stad Gent
Cathy De Bruyne, Stad Gent
Bino Maiheu, VITO
Koen De Ridder, VITO
Dirk Lauwaet, VITO
Stijn Janssen, VITO
Karel Van den Berghe, UGent-AMRP
Luuk Boelens, UGent-AMRP
Georges Allaert, UGent-AMRP

WOORD VOORAF

Dit rapport bevat de analyse van het stedelijk hitte-eiland effect en het voorkomen van hittestress in Gent. De hoofdstukken 1 t.e.m. 4 beschrijven in detail een experimentele meetcampagne die heeft plaatsgevonden tijdens de zomer van 2012, een modelleerstudie aan de hand van het URBCLIM stedelijk klimaatsmodel en de verwerking van een aantal satellietopnames van de oppervlaktetemperatuur in en om de stad om het hitte-eilandeffect in Gent in beeld te brengen. Verder bevat het rapport in de hoofdstukken 5 t.e.m. 8 een analyse van de oorzaken van de geobserveerde temperatuurspatronen, een kwetsbaarheidsonderzoek, toekomstprojectie en tenslotte beleidsaanbevelingen.

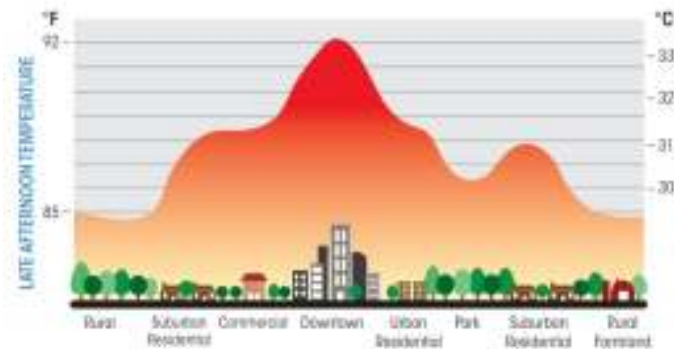
Gezien dit rapport relatief lijvig en de beschrijving technisch van aard is, is hierna eerst een samenvatting van het werk opgenomen met verwijzingen naar de relevante stukken in de uitgebreide rapportage.

Deze studie werd door VITO in opdracht van Stad Gent uitgevoerd met UGent in onderaanneming. In deze studie werd dankbaar gebruik gemaakt van data afkomstig van een aantal externe partijen. Zo waren de hobby-meteorologen Gert Coone (weerstation Drongen-Baarle) en Joris Synaeve (weerstation Gent-Dampoort) zo vriendelijk hun metingen ter beschikking te stellen voor dit project. Verder zijn we ook dank verschuldigd aan de UGent sterrenwacht Armand Pien, de UGent faculteit Bio-ingenieurswetenschappen (Kathy Steppe) en de Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM) die hun luchttemperatuursdata in Gent ter beschikking stelden van dit project. Speciale dank gaat uit naar de personen waar wij een luchttemperatuurssensor mochten installeren : Philippe Smet (meetsite Ledeborg), Lydia Bommelé en Matthias Cougnon (referentiemeting aan de UGent proefhoeve in Gontrode) en Chantal Dugardin van de botanische tuin aan het Citadelpark. Ook danken wij de heer Tony De Kimpe, gebouwenverantwoordelijke van de UGent afdeling AMRP aan de Vrijdagmarkt om ons de mogelijkheid te bieden een temperatuurssensor te installeren op het binnenplein daar.

SAMENVATTING

Bino Maiheu - VITO

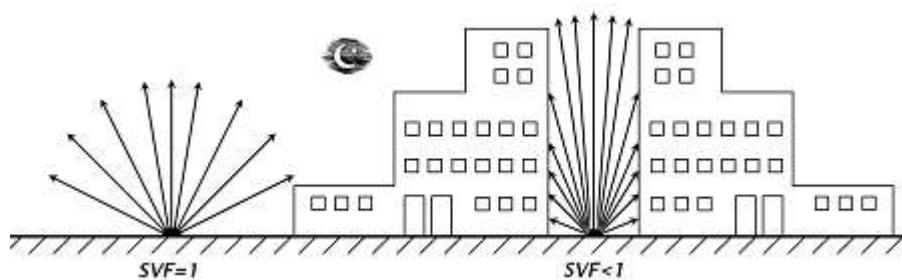
Het is gekend dat het in een stedelijke omgeving vooral 's avonds flink warmer kan zijn dan op het platteland. We spreken van een stedelijk hitte-eilandeffect (SHE-effect). Aan de basis hiervan liggen



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

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

en de grote hoeveelheid verharde oppervlakken. Hierdoor kan er veel minder water verdampen. De beschikbare energie voor het verdampen van water (wat geen effectieve verhoging van de luchttemperatuur tot gevolg heeft), komt dus vrij voor het opwarmen van de lucht. 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 (of infrarode) straling. Die uitgezonden stralingsenergie blijft m.a.w. "gevangen" in het stedelijk weefsel en hierdoor koelt het minder vlug af.



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 minibroeikaseffect. De geometrie op zich zorgt er dan ook weer voor dat minder zonnestraling gereflecteerd wordt. Het zonlicht verdwijnt als het ware in diepe streetcanyons, waaruit het minder makkelijk kan ontsnappen (en gereflecteerd worden m.a.w.). Diepe streetcanyons zien er dus van bovenaf gezien relatief donker uit. De gebouwen zorgen verder ook nog voor een 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, deels door ons metabolisme, deels door onze activiteiten: verkeer (hete uitlaatgassen), airco, industrie etc...

Tijdens hittegolven krijgt de bevolking uiteraard in het algemeen te kampen met hittestress, met een gevoel van onbehagen, gezondheidsproblemen of zelf in extreme gevallen de dood tot gevolg. Het is zo dat het stedelijk hitte eiland effect die nefaste gevolgen van hittegolf episodes kan

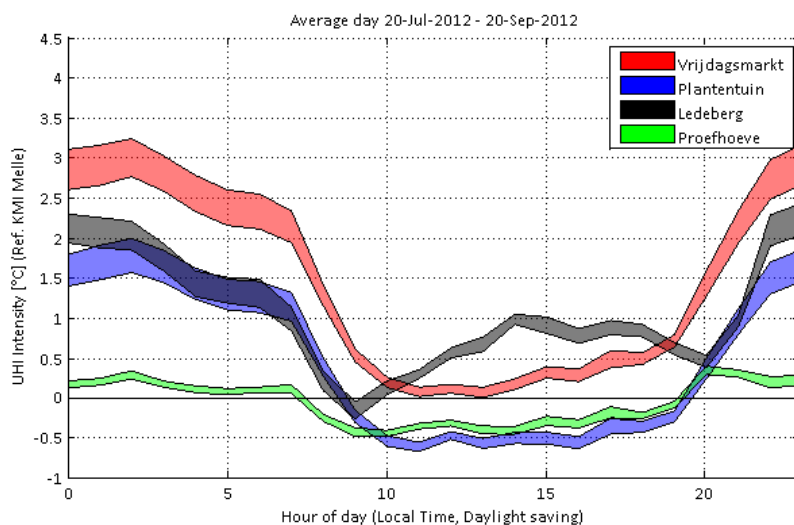
versterken doordat het juist minder afkoelt in steden. Dit surplus is voornamelijk voelbaar in de luchttemperatuur 's avonds en 's nachts. Maar ook de oppervlakte temperatuur, de temperatuur van de straatstenen, gevels etc... kent een duidelijk SHE – effect, weliswaar met een andere dynamiek, maar daarover later meer.

Experimentele meetcampagne – SHE effect in Gent

Tijdens een experimentele meetcampagne werd ook in Gent een duidelijk SHE effect vastgesteld. Op 4 plaatsen werden eigen metingen verricht: achteraan de gebouwen van de UGent – afdeling Mobiliteit en Ruimtelijke Planning (AMRP) aan de Vrijdagmarkt (typisch binnenstedelijke lokatie), in de Plantentuin naast het Citadelpark (typisch stadspark lokatie) en aan de proefhoeve van de UGent te Melle – Gontrode (rurale referentiemeting). Ook in Ledeberg werd gedurende korte tijd een meting in een achtertuinje verricht. Naast deze eigen metingen werd data verkregen van een aantal externe partijen, ondermeer een tweetal hobbymeteorologen in Drongen en Dampoort zodat in totaal voor een 10-tal verschillende lokaties (zie Tabel 1 en Tabel 3) in en om Gent temperatuursmetingen verkregen werden.

A. Analyse eigen metingen

Onderstaande grafiek geeft het gemiddelde gemeten temperatuursverschil tussen de eigen stadsmetingen en de rurale meting van de KMI meetpost aan de proefhoeve te Melle. Merk op dat het hier dus gaat om de gemiddelde zomerdag in 2012 (20 juli – 20 sept).

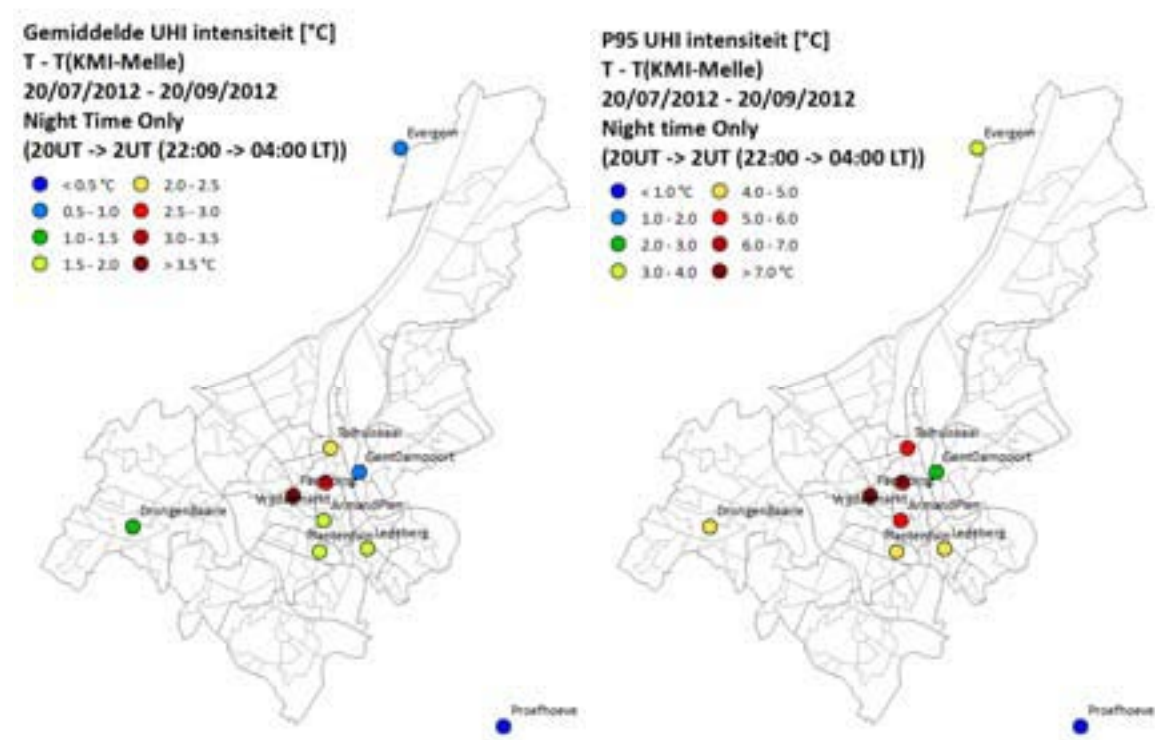


Voor de meetsite op de **Vrijdagmarkt** zien we duidelijk een gemiddelde intensiteit van het SHE-effect, dat in de dagcyclus z'n maximum van een **kleine 3 °C (gemiddeld over de zomerperiode)** kent rond middernacht. Het effect neemt af naar de ochtend toe en bereikt z'n minimum intensiteit in de voormiddag rond 10 h. Er is een trage maar weinig significante toename van 0.5 °C tot de vroege avond 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 de **Plantentuin**, de intensiteit is weliswaar iets geringer, met een maximum in de gemiddelde dagcyclus van **1.5 °C (eveneens gemiddeld over de zomerperiode en rond middernacht)**. Zie § 2.1.4 voor meer detail.

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

B. Analyse alle metingen

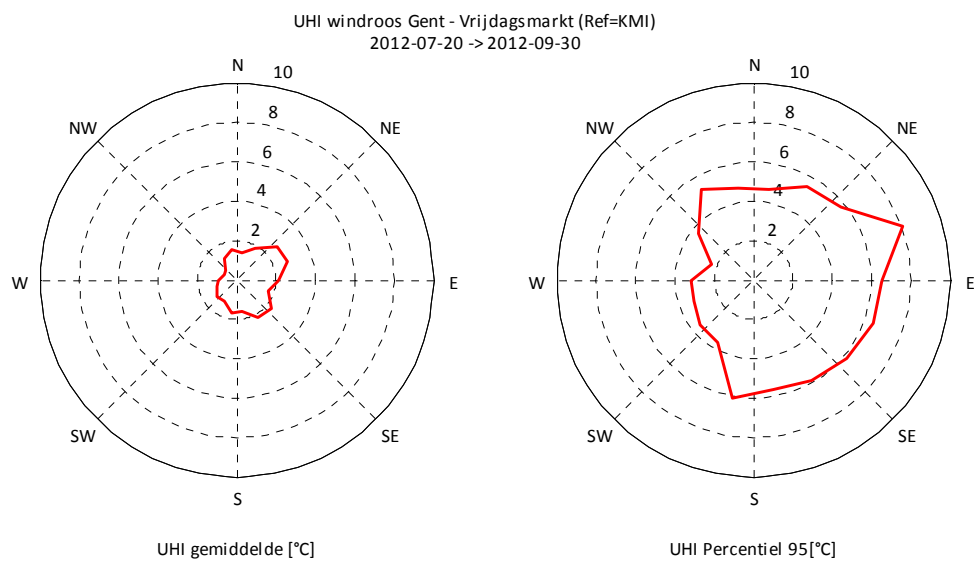
Ook in de metingen aangeleverd door externe partijen zien we een gelijkaardig patroon ontstaan met een gemiddelde intensiteit tussen 1.5 en 3.0 °C. De piek intensiteit (P95) 's nachts bedraagt voor de Vrijdagmarkt zo'n goeie 6.3 °C en ook aan de Tolhuiskaai wordt maximaal 5.8 °C verschil gemeten. Hieronder zien we de verschillende meetlokaties weergegeven op kaart met de gemiddelde nachtelijke intensiteit links, en de piekintensiteit (95^{ste} percentiel waarde) rechts.



Na analyse van alle gemeten SHE-intensiteiten (Tabel 5), bleek het gemiddeld verschil in luchttemperatuur **overdag** voor bijna alle meetlokaties kleiner dan 0.50 °C te zijn, met een piekintensiteit (95^{ste} percentiel waarde¹) voor de zomerperiode voor de Vrijdagmarkt van slechts 1.2 °C.

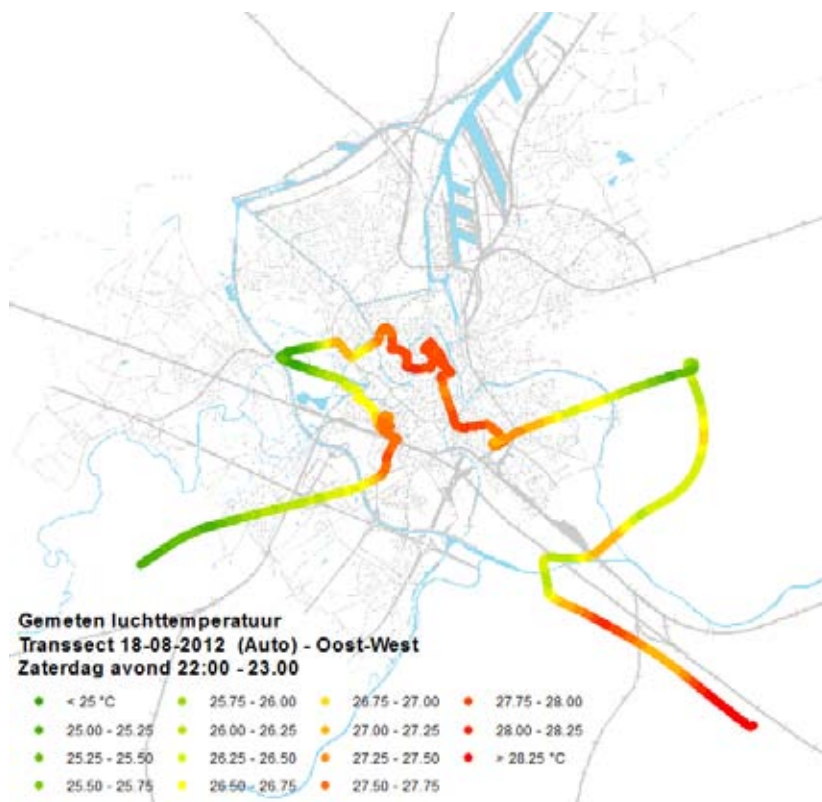
Er is verder een analyse uitgevoerd van de directionaliteit van het SHE-effect. We zijn m.a.w. nagegaan voor welke windrichtingen het grootste SHE-effect optreedt. Dit blijkt in hoofdzaak noordoostelijke tot zuidoostelijke windrichting te zijn, welke typisch is voor de aanwezigheid van een hoge-druk gebied dat gepaard gaat met mooi, helder en rustig weer. Onderstaande windrozen geven telkens de gemiddelde en het 95^{ste} percentiel voor de intensiteit van het SHE, gemeten op de Vrijdagmarkt gedurende de zomer van 2012.

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



C. Analyse mobiele metingen

Naast een meetcampagne met vaste temperatuursensoren, zijn in de zomer van 2012 ook enkele fiets- en autotranssecten door Gent gereden met een mobiel meettoestel. Een voorbeeld is hieronder opgenomen voor het transsect op zaterdagavond 18-08-2012 tussen 22:00 en 23:00 h lokale tijd.



Deze transsecten stellen het gemeten stedelijk hitte-eiland in Gent iets grafischer voor dan simpelweg de statische in-situ metingen. Uit een regressie-analyse bleek dat het luchttemperatuurspatroon langs dit gemeten traject sterk bepaald wordt door de sky view factor

(hoe meer ingesloten tussen de gebouwen, hoe hoger de luchttemperatuur), het procentuele aandeel verhard oppervlak en de aanwezigheid van vegetatie (zie sectie 2.2.4 en Tabel 7).

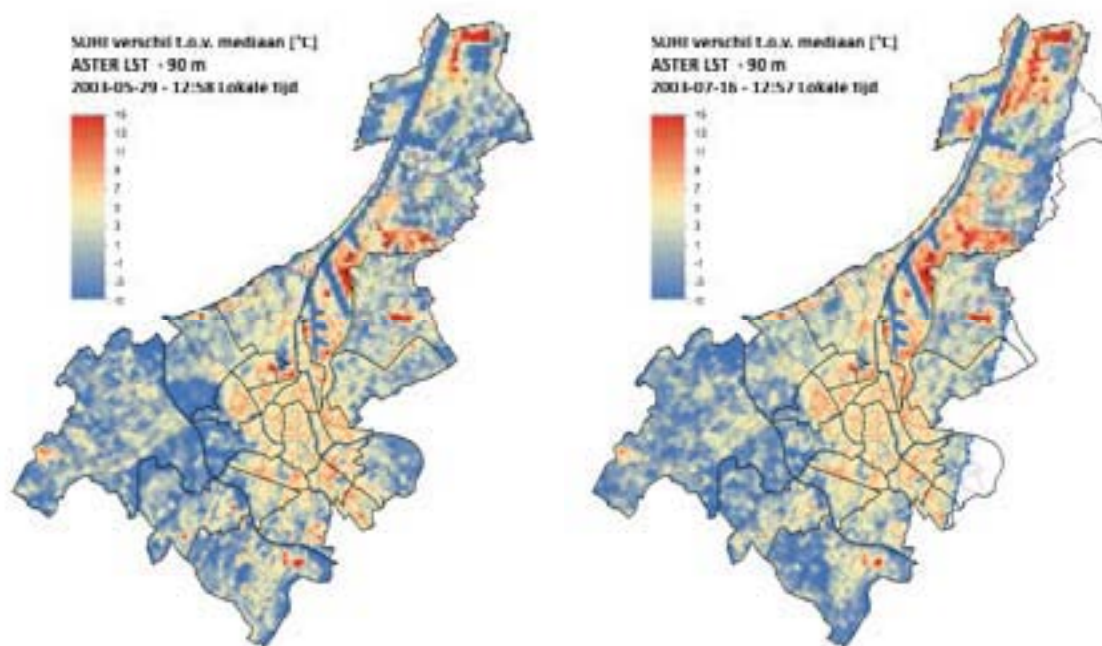
Ruimtelijk zicht op het hitte-eiland effect in Gent door middel van satellietdata

Uit de puntmetingen en de mobiele metingen kunnen we afleiden dat het SHE-effect op sommige plaatsen in Gent sterker is dan op andere plaatsen. Hoe die ruimtelijke verdeling 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, m.a.w. de temperatuur van de straatstenen, het asfalt en het bladerdek. Om een beeld te krijgen van de luchttemperatuur zullen we gebruik maken van een model, maar daarover later meer. Het SHE effect treedt weliswaar op voor zowel de oppervlakte- als de luchttemperatuur. In Tabel 8 uit HOOFDSTUK 3 worden de verschillen duidelijk gemaakt.

Voor de oppervlaktetemperatuur werden enkele beelden van het ASTER instrument aangekocht, wat heel geschikt is 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

De figuren hieronder geven twee satellietopnames weer van de oppervlaktetemperatuur voor Gent. Om de temperatuursverschillen duidelijk te maken geven we de temperatuur weer t.o.v. de gemiddelde temperatuur voor gans het beeld. We merken duidelijk het oppervlakte warmte eiland of SUHI van de Gentse binnenstad. We zien op het eerste zicht ook enkele "hotspots" opduiken, voornamelijk in het havengebied (bv. de terreinen van Volvo Cars en Honda, het stuk industrieterrein aan de Skaldestraat ten oosten van de Kennedylaan, de terreinen van Volvo Trucks langs de R4, de terreinen van Arcelor Mittal, de meer zuidelijk gelegen loodsen in de haven aan de Wiedauwkaai en de 11ha grote UCO-site in de Maïsstraat). Deze havenlokaties worden steevast 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 wat heel sterk kan opwarmen en dus voor hoge oppervlaktetemperaturen kan zorgen. Op de grote parkings van de autoconstructeurs kunnen ook het grote aantal metalen daken 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 en dus hittestress overdag.



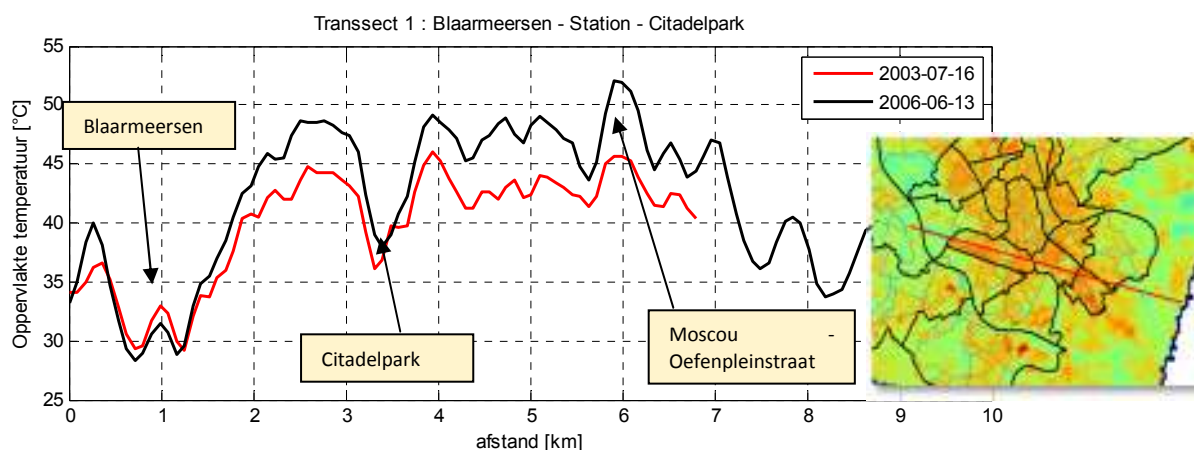
Voor de binnenstad kunnen we op onderstaande Google Earth screenshot zien welke de belangrijkste hotspots zijn voor wat betreft oppervlaktetemperatuur. Hierbij zien we duidelijk Ledeberg en Moscou, de stationsbuurt, de buurt rond het Strop. Verder zien we ook duidelijk de Brugse Poort en delen van Sint Amandsberg. Dit zijn stuk voor stuk relatief dicht bebouwde wijken.



De rol van water voor het oppervlakte hitte-eiland is heel nadrukkelijk aanwezig. Het valt op dat alle open waterwegen als koele aders door de binnenstad lopen. We zien duidelijk afgetekend de Coupure, de Visserij, de Portus Ganda en het historisch centrum rond Koren- en Graslei, evenals de grote groene zones zoals het Citadelpark, de Blaarmeersen en de Bourgoyen.

Tijdens de analyse viel het verder nog op dat hoe verder we het einde van de zomerperiode naderen, hoe minder sterk het havenwateroppervlak afgetekend is t.o.v. de omringende omgeving. In het beeld van eind september 2002 zien we bijna geen contrast meer tussen het omringende havengebied en het wateroppervlak, dat aan het einde van de zomer dan ook al flink zal zijn opgewarmd. Voor de beelden die in maart – april zijn genomen merken we het grootste contrast tussen de oppervlaktetemperatuur van het water en het omringende havengebied, waardoor we kunnen stellen dat het typisch verkoelend effect van water het sterkst zal aanwezig zijn aan het begin van een zomerperiode.

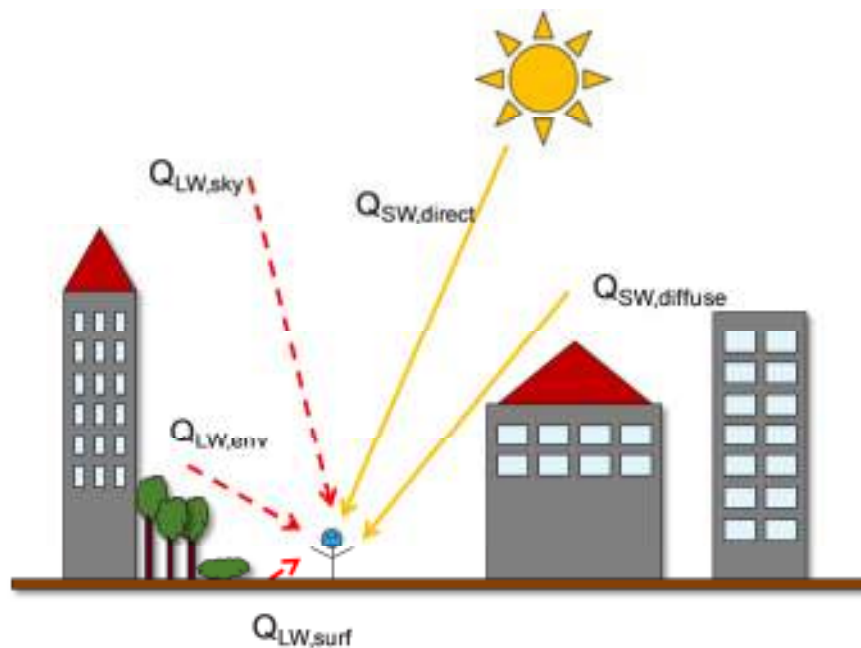
In sectie 3.2.2 zijn vervolgens enkele transect analyses opgenomen. Op die manier kunnen we duidelijker de effecten van bvb. parken of industrie terreinen weergeven. Onderstaand transect van de Blaarmeersen naar Moscou toont duidelijk aan dat de oppervlakte temperatuur van een park zoals het Citadelpark een significant verschil van een 8-tal °C kent met bvb. de stationsbuurt, de oppervlaktetemperatuur van industriële terreinen met grote asfaltvlaktes kan dan weer makkelijk een 5 – tal °C hoger liggen dan in het centrum. We zien ook dat de Blaarmeersen significant koeler zijn (15 °C in oppervlakte temperatuur t.o.v. de stationsbuurt). Zie verder in sectie 3.2.2 voor meer detail.



B. Afleiding van de potentiële dagstress

Naast het in kaart brengen van de oppervlaktetemperatuur, is het natuurlijk interessant deze te gebruiken voor het inschatten van de potentiële hittestress overdag (sectie 3.3). Door de opwarming van de materialen en dus de hogere oppervlaktetemperatuur komt er in een stedelijke omgeving meer warmtestraling² 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.

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



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

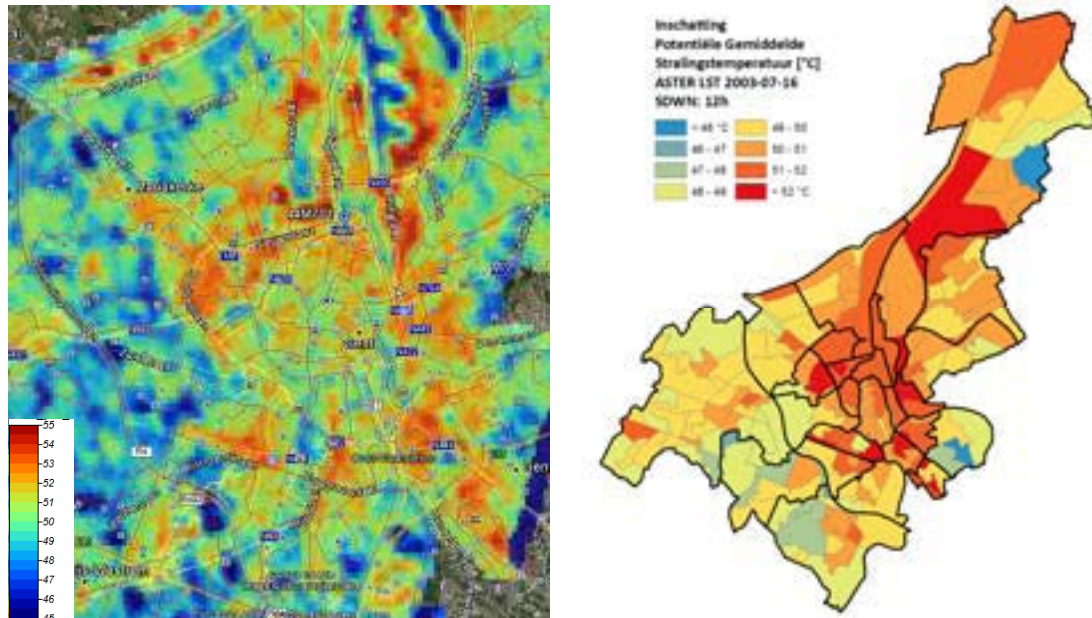
De oppervlaktetemperatuur, afgeleid van satellietdata, geeft ons een inschatting van de stralingsbelasting door langgolvlige straling (IR) afkomstig van het stedelijk weefsel ($Q_{LW,env}$, $Q_{LW,surf}$). Daarnaast moeten we echter nog de langgolvlige straling afkomstig van de atmosfeer ($Q_{LW,sky}$) en de invallende zonnestraling ($Q_{SW,direct}$ en $Q_{SW,diffuse}$) (en dus schaduw effecten) in rekening brengen om de volledige stralingsbalans op het menselijk lichaam te berekenen. Kwantitatief wordt deze stralingsbalans als temperatuurswaarde uitgedrukt door middel van de Mean Radiant Temperature (MRT) (zie § 3.3.1), welke een directere maat is voor hittestress overdag dan puur de oppervlakte temperatuur.

Voor het inschatten van de directe en diffuse componenten van de invallende zonnestraling dienen we te beschikken over een 3D model van Gent. Dit werd binnen dit project op basis van beschikbare LIDAR³ puntmetingen afgeleid:



³ Light Detection and Ranging: is een remote sensing techniek waarbij op basis van laser stralen de afstand vanaf een vliegtuig tot de grond (en bijgevolg de hoogte van het terrein) kan gemeten worden.

Op basis van een GIS rekenprogramma werd de potentiële invallende directe en diffuse zonnestraling berekend voor dit 3D terreinmodel op het overeenkomstige tijdstip van de ASTER oppervlaktetemperatuursopname. Op basis hiervan maakte we een inschatting van een potentiële MRT, afgebeeld hieronder.



Een aantal zaken vallen op. Zo zien we dat de zones met de hoogste potentiële MRT zich niet direct in de stadskern bevinden. In het oosten van de stad zien we duidelijk de buurt rond het rangeerstation en ter hoogte van de dokken aan de Vliegtuiglaan (Zuidnok). Ook de industrie ten noorden van de Nieuwevaart en in iets mindere mate de wijken Rabot en Brugse Poort zijn duidelijk zichtbaar. Ledeberg zelf blijft een hotspot voor stralingstemperatuur net als St. Amandsberg, maar ook de wijk rond het Sint-Pieters station. 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.

Hoewel delen van de grote natuurgebieden zoals de Bougoyen en de Blaarmeersen grote open ruimtes bevatten (en dus gevoelig zijn aan directe zonnestraling), zien we toch duidelijk dat de MRT daar duidelijk lager is dan in de meer bebouwde delen van Gent.

Modelberekeningen luchttemperatuur

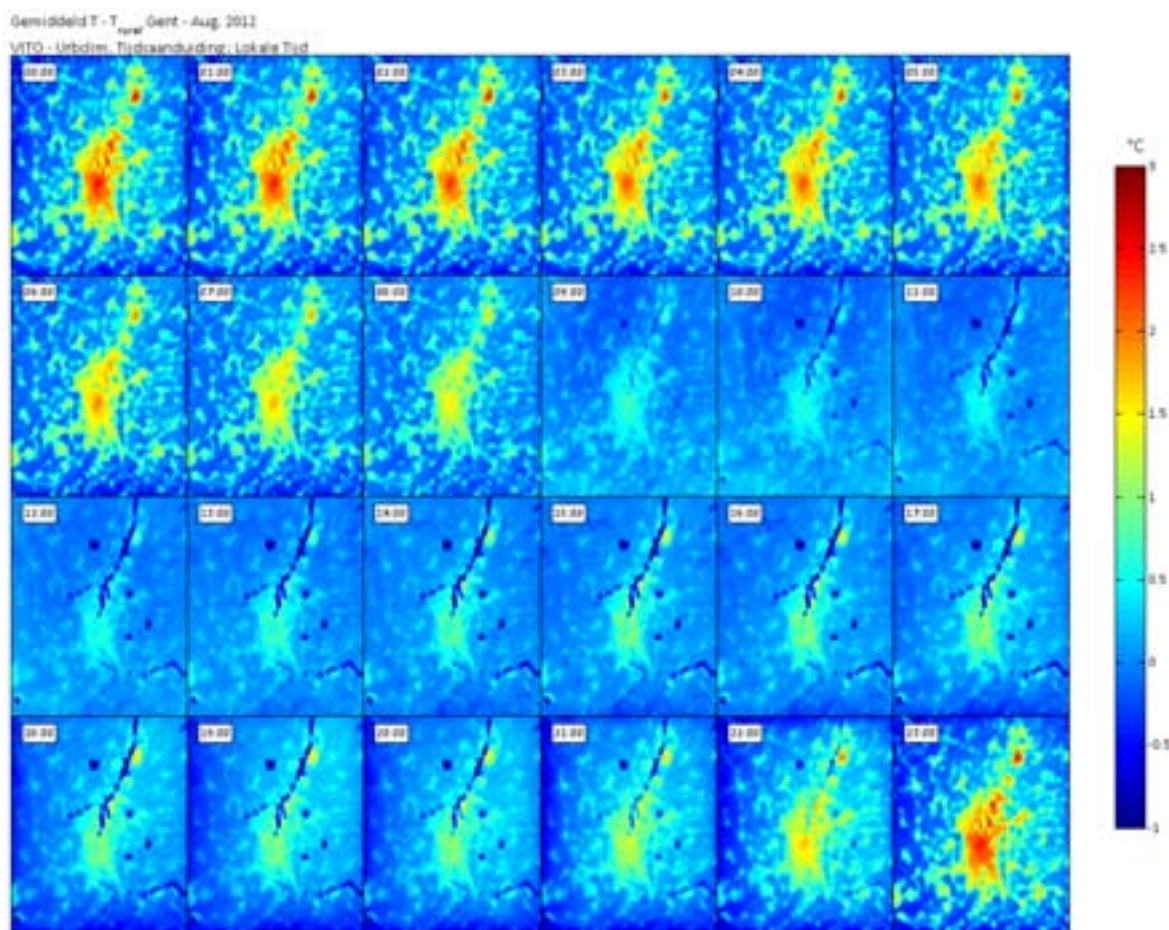
A. Resultaten model luchttemperatuur

Nu we een goed beeld hebben van de potentiële hittestress overdag in Gent op basis van de oppervlaktetemperatuur, 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 nauwkeurige 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 lucht-SHE,

zodat modellering noodzakelijk wordt om tot gebiedsdekkende informatie inzake de luchttemperatuur te komen.

Voor de luchttemperatuursmodellering 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 § 4.1.2 en vormt een compromis tussen rekentijd, ruimtelijk detail en complexiteit. UrbClim stelt ons in staat de uurlijkse luchttemperatuur te berekenen voor een ganse stad op 250 m resolutie met een nauwkeurigheid die vergelijkbaar is met meer gesofisticeerde klimaatmodellen. Naast landgebruiks-informatie en een globaal meteorologisch model⁴ maakt UrbClim ook gebruik van satellietopnames van de vegetatie-index.

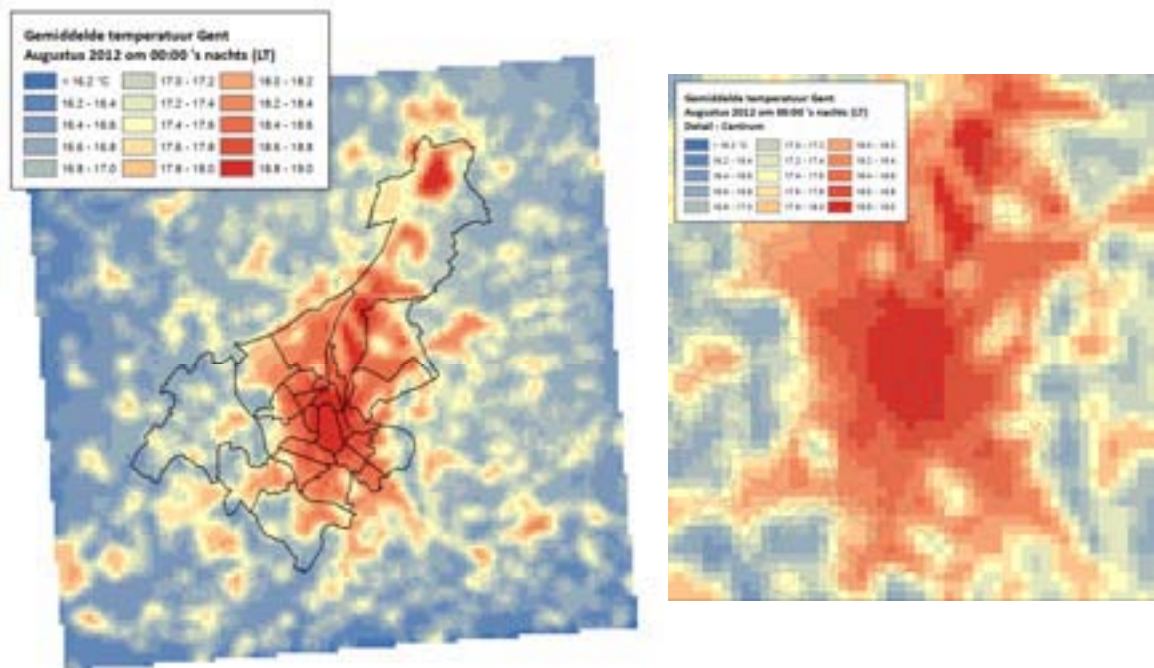
In onderstaande figuur is het temperatuursverschil tussen de stad en de gemiddelde temperatuur in het rurale gebied rond Gent per uur, gemiddeld over de maand augustus 2012, weergegeven. Dit wil zeggen dat we in elk van de 24 afbeeldingen telkens het CLUHI effect tonen gemiddeld over de ganse maand augustus voor het afgebeeld uur van de dag. De 24 afbeeldingen samen tonen dan een gemiddelde dagcyclus, analoog met de gemiddelde gemeten dagcyclus die hoger is afgebeeld voor de meetpost aan de Vrijdagmarkt en de Plantentuin.



We merken duidelijk dat ook uit de modellering volgt dat het SHE-effect het meest uitgesproken is rond middernacht met een intensiteit in het centrum van Gent van gemiddeld zo'n 2.5 °C. dus heel vergelijkbaar met wat gemeten is aan de Vrijdagmarkt (zie hoger). Overdag zien we terug een zeer

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

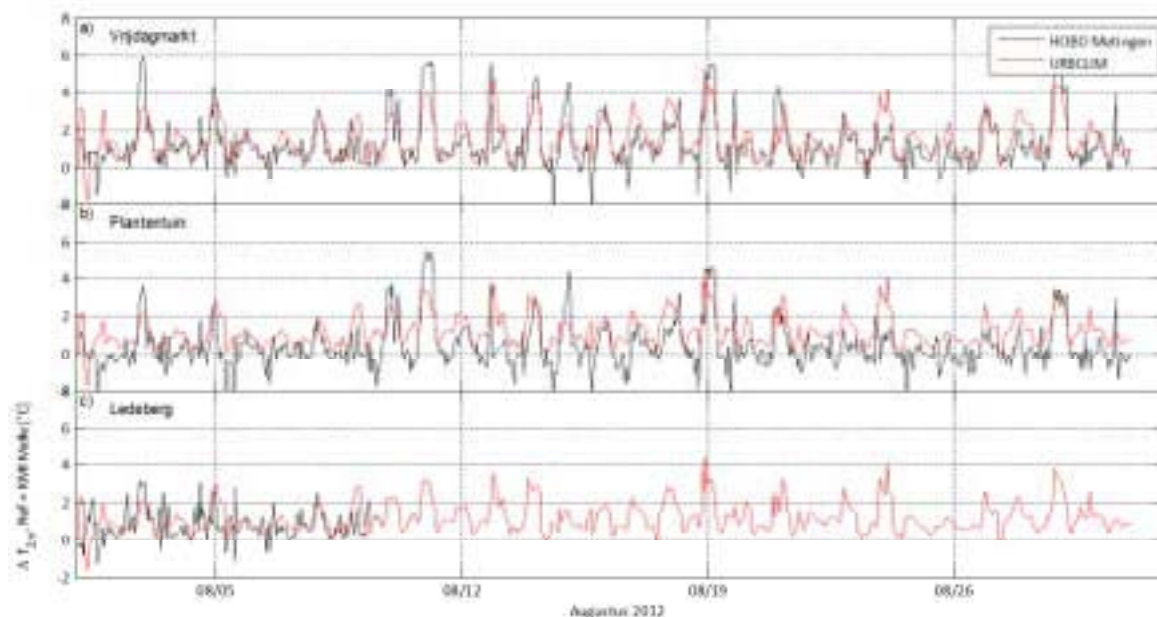
klein tot verwaarloosbaar effect dat gradueel, maar licht toeneemt naar mate de namiddag vordert en rond 21:00h lokale tijd terug naar z'n volledige intensiteit opbouwt.



Hierboven zien we dan finaal de gemiddelde luchttemperatuur in Gent afgebeeld gedurende de maand Augustus om middernacht lokale tijd.

B. Validatie modelresultaten

Het model slaagt erin de grootte orde van het gemiddeld CLUHI effect in Gent (met name een kleine 3 °C aan de Vrijdagmarkt) correct te reproduceren. De modelresultaten werden aan een uitgebreide validatie onderworpen door te vergelijken met de gemeten tijdsreeksen. We zien hieronder een tijdsreeks van het verschil in luchttemperatuur zoals gemeten (zwart) en gemodelleerd met URBCLIM (rood) aan de Vrijdagmarkt en de Plantentuin.



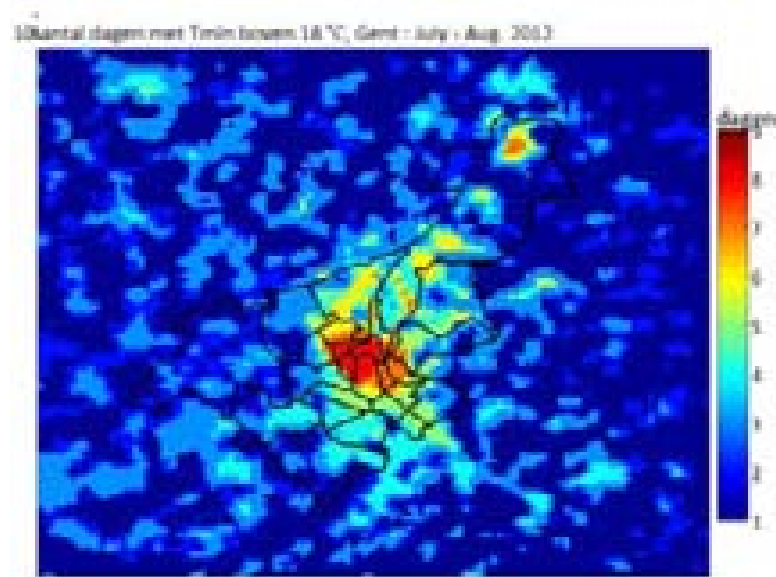
De overeenkomst, zeker voor de meting aan de Vrijdagmarkt, is zeer bevredigend. Na analyse bleek het URBCLIM model dus in staat de gemiddelde dagcyclus van het lucht – SHE effect goed te reproduceren. Gedetailleerde validatie parameters voor de Vrijdagmarkt en de Plantentuin zijn in het rapport in sectie 4.2.1 en 4.2.2 opgenomen, waar respectievelijk de capaciteit van het model bekeken werd om de evolutie van het lucht - SHE effect in de tijd te reproduceren en in het tweede geval de capaciteit van het model om het ruimtelijk patroon 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 lucht SHE effect te verklaren, wat aanvaardbaar is voor dergelijke modellering, en een 75 % van het ruimtelijk patroon van het effect s' nachts.

C. Afgeleide grootheden

Op basis van deze uurlijkse luchttemperaturen bespreken we in sectie 4.3 nog enkele afgeleide grootheden zoals de maximale SHE intensiteit, die in het model zo'n 5-6°C bedraagt, iets minder dan gemeten, wat doet vermoeden dat het model iets minder getrouw de pieken in de luchttemperatuur SHE-intensiteit kan reproduceren. Verder bespreken we de zogeheten cooling degree hours⁶ die direct gelinkt zijn aan energieconsumptie, of het aantal dagen waar de minimum temperatuur 's nachts niet onder de 18 °C zakt. Dit is hieronder afgebeeld:

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

⁶ Het totaal aantal graad-uren dat de buitentemperatuur boven de 25 °C is, en wanneer de energievraag dus typisch gaat toenemen voor het gebruik van airco installaties.



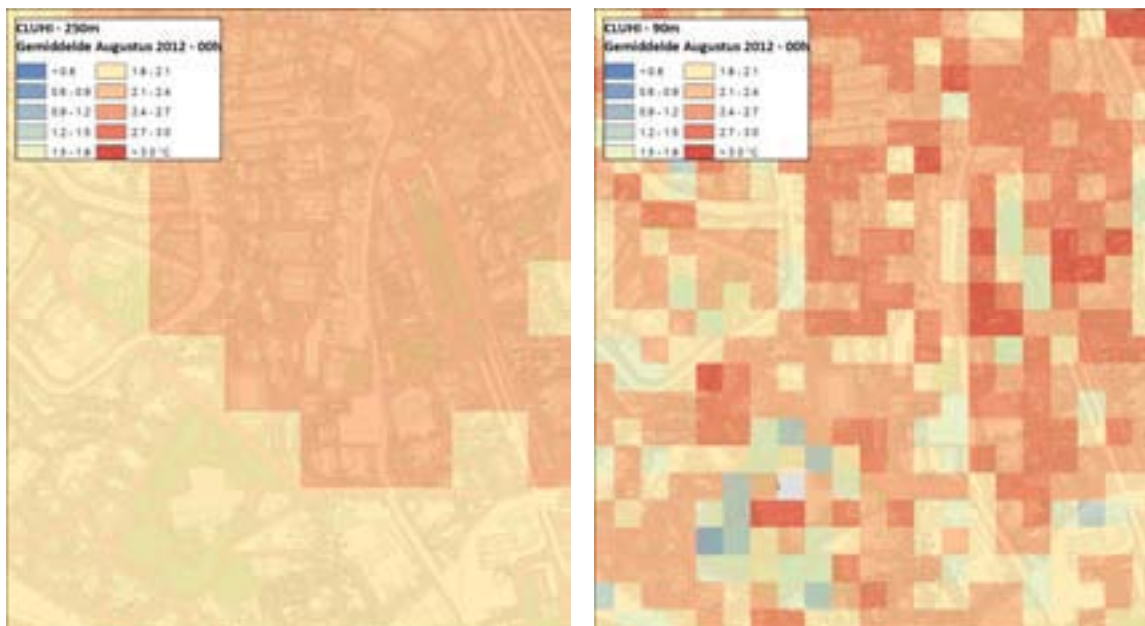
Daar zien we in het centrum tot meer dan een week langer “terrasjesweer” in de zomer dan in het platteland er omheen. We dienen er wel bij te vermelden dat dergelijke overschrijdingsindicatoren relatief gevoelig zijn en dat dit resultaat met enige voorzichtigheid dient benaderd te worden. Desalniettemin is dit duidelijk één van de positieve punten van het stedelijk hitte-eiland effect.

D. Downscaling van 250m naar 90m resolutie

Gezien de relatief grofschalige resultaten voor de luchttemperatuur (250 m), werd een downscaling uitgevoerd naar 90 m. Dit gebeurde aan de hand van een aantal proxy parameters waarvan geweten is in de literatuur dat die in directe relatie staan met de intensiteit van het lucht SHE:

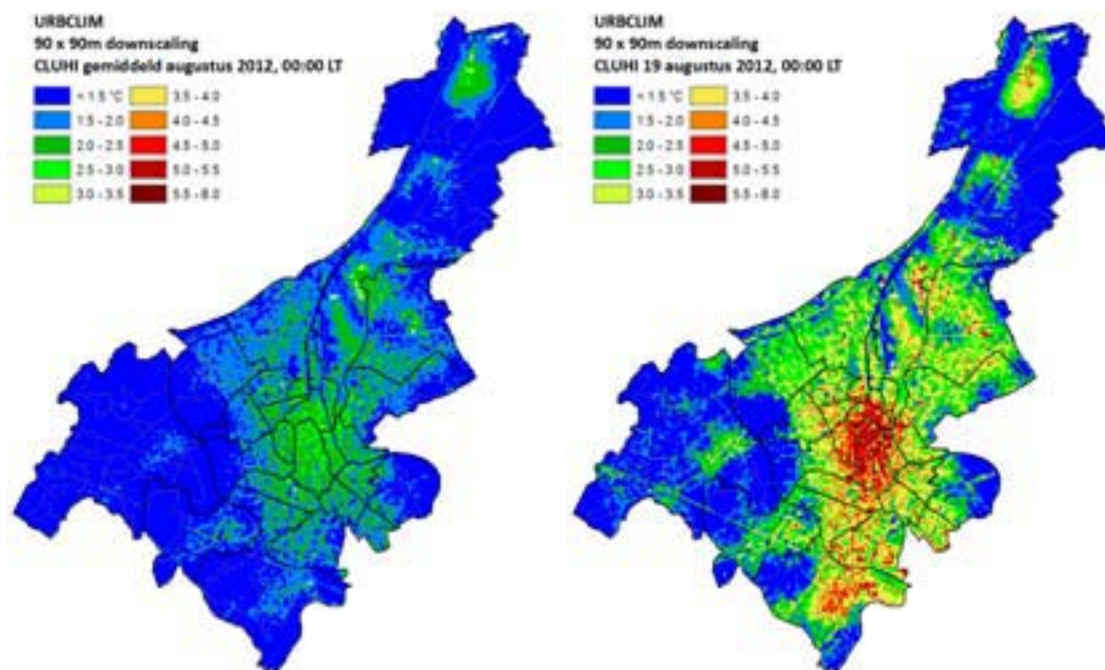
- De **sky view factor**: deze werd op basis van het geconstrueerde 3D model van Gent door middel van een GIS tool afgeleid.
- De **fractie verhard oppervlak**: afgeleid op basis van de recentste shapefiles met de kadastrale gebouwen (2011) en de rijbaanoppervlakken
- De **fractie water**
- De **vegetatie index**: afgeleid op basis van Landsat satellietdata

De downscaling methode werd gedetailleerd besproken in § 4.4.3. Merk op dat we hier enkel de opgesomde relevante parameters gebruiken voor het verhogen van de resolutie van de modelresultaten voor luchttemperatuur. In een volgend hoofdstuk zullen we onderzoeken hoe deze precies in relatie staan tot het hitte-eiland effect in Gent en wat hun relatief gewicht is voor het verklaren van het ruimtelijk patroon.



We zien (bovenstaande figuur) duidelijk dat door deze downscaling meer detail zichtbaar wordt en enkele zones nadrukkelijker als hotspots of coolspots naar voor geschoven worden, zoals duidelijk zichtbaar voor het Citadelpark of het Albertpark. We zien ook dat de downscaling beter de metingen aan het Citadelpark kan verklaren, waar we een effect van ~ 1.5 °C hebben in de gedownscalede luchttemperatuur SHE kaart, overeenkomstig met wat gemeten was.

Hieronder geven we tenslotte het resulterende kaartmateriaal. Links is het gemiddeld lucht SHE afgebeeld voor augustus 2012 om middernacht, rechts het momentaan effect op 19 augustus 2012, eveneens om middernacht, de heetste zomernacht van 2012.



Door de techniek van de downscaling blijft het globale beeld echter bewaard zoals hierboven beschreven.

Detectie van de oorzaken van het SUHI en CLUHI effect in Gent

Nu we het stedelijk hitte-eiland effect voldoende in beeld gebracht hebben (zowel de lucht- als de oppervlaktetemperatuur), kunnen we overgaan tot de detectie van de oorzaken ervan. Hiervoor brachten we een aantal lokaal beschikbare databronnen in verband met de oppervlakte- en luchttemperatuurskaarten (resp. SUHI en CLUHI-kaarten). 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 verschillende afhankelijke SUHI of CLUHI datasets zijn op een bepaald moment en x_i de verschillende onafhankelijke variabelen zijn. Hierbij gebruiken we in grote lijnen dezelfde variabelen als voor de downscaling van de CLUHI 250m $\rightarrow$ 90 m kaarten. Deze analyse echter werd uitgevoerd op de originele CLUHI 250m resultaten zodat geen cirkelredenering ontstaat. Het is verder in deze paragraaf ook expliciet de bedoeling om te kijken welke parameters bijdragen/in relatie staan tot SUHI/CLUHI. Uit de literatuur is geweten welke zaken het SHE in het algemeen beïnvloeden, hier willen we echter bepalen wat de grootteorde van hun invloed is in Gent. Meer bepaald stellen we de vraag: wat is belangrijkste parameter die in Gent bijdraagt tot verhitte / verkoeling ?

We beginnen hieronder kort met een toelichting van de gebruikte onafhankelijke variabelen (zie Tabel 18) en waarom ze relevant zijn in deze analyse, zie ook § 5.1:

- 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 een toename van 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 hoger beschreven 3D model voor Gent afgeleid. In Gent komen de laagste SVF uiteraard voor in het historisch centrum van de stad en de dichte stadswijken (Brugse Poort – Rooigem, Ledeberg). De SVF correleert mooi met de inwonersaantallen per km². In nieuwere wijken zoals Nieuw Gent bestaat de typologie van de gebouwen eerder uit weliswaar hoge woonblokken maar met veel ruimte tussenin, wat resulteert in een hogere SVF voor deze wijk. Ook op de terreinen van ArcelorMittal in het noorden van de haven vinden we lage sky view factoren.
- De **fractie vegetatie**: de afwezigheid van evapotranspiratie (verdampen van water en de vochtinhouding in bladeren) is een bepalende parameter voor het SHE. In aanwezigheid van veel vegetatie is de energie die gebruikt wordt voor het verdampen van water 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. (zie § 5.1.2, maar ook § 3.4.1). 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. Daar zullen we kort nog op terugkomen verder in deze samenvatting. In §5.1.2 wordt verder nagegaan in hoeverre de afgeleide vegetatiefractie de voorkomende groenpartijen in Gent effectief in kaart brengt.

- De **afstand tot en de fractie water**: de aanwezigheid van water is, analoog als hierboven beschreven, ook een potentieel belangrijk element in het verklaren van het SHE. In de analyse werd zowel de aanwezige oppervlakte water als de afstand tot water in rekening gebracht. (Resp. sectie 5.1.4 en 5.1.5).
- De totale **fractie verharding** en de **materialiteit** (asfalt, beton, natuursteen) van de openbare ruimte (§ 5.1.5 en 5.1.6) 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 meer energie opslaan en dus 's nachts gedurende langere tijd hun warmte afgeven. Vanzelfsprekend is de verharding het grootst in het stadscentrum, en zijn ook de stadswijken Ledeberg, Brugse Poort en Sint-Amandsberg prominent aanwezig. Ook rond de havendokken vallen de verharde terreinen op in de kaart, samen met de terreinen van ArcelorMittal (Figuur 147). De materialiteit van de verharding is ook in die zin belangrijk 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 donkere⁷ asfalt en lichtere beton oppervlakten (met een iets hogere albedo) kan oplopen tot 32 °C (§ 5.1.6). De materialiteit van Gent wordt verder in detail besproken in Figuur 148 t.e.m. Figuur 150.

Onderstaande tabellen geven vervolgens de conclusies weer van de regressie analyses. Deze zijn uitgebreid beschreven in § 5.2. In de tabellen wordt telkens aangegeven of de parameter een

- *sterk opwarmend effect (+++)*
- *opwarmend effect (++)*
- *licht opwarmend effect (+)*
- *geen invloed (0)*
- *licht afkoelend effect (-)*
- *afkoelend effect (--)*
- *sterk afkoelend effect (---)*

heeft.

⁷ 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 van § 4.1.2)

Voor het CLUHI-effect (luchttemperatuur) vinden we:

Variabele	Bijkomende uitleg	Invloed
Fractie Verharding	<i>De mate waarin de oppervlakte bedekt is. Hoe meer, hoe hoger de luchttemperatuur is</i>	+++
Afstand tot water	<i>De nabijheid van water. Deze parameter heeft weinig invloed op de luchttemperatuur.</i>	0
Sky View Factor	<i>De mate waarin de hemel zichtbaar is. Hoe breder de straten zijn, hoe meer men de hemel ziet, hoe lager de luchttemperatuur is.</i>	--
Fractie Vegetatie	<i>De mate waarin de aanwezige vegetatie dens is. Hoe denser deze is, hoe lager de luchttemperatuur is.</i>	---

En voor het SUHI-effect (oppervlaktetemperatuur) vinden we :

Variabele	Bijkomende uitleg	Invloed	
		voorjaar	najaar
Fractie Verharding	<i>De mate waarin de oppervlakte bedekt is. Hoe meer, hoe hoger de oppervlaktetemperatuur is</i>	+++	+++
Fractie water	<i>De mate waarin het oppervlakte bestaat uit water. Hoe meer water er is, hoe lager de oppervlaktetemperatuur is.</i>	---	--
Sky View Factor	<i>De mate waarin de hemel zichtbaar is. Hoe breder de straten zijn, hoe meer men de hemel ziet, hoe lager de oppervlaktetemperatuur is.</i>	--	--
Fractie Vegetatie	<i>De mate waarin de aanwezige vegetatie dens is. Hoe denser deze is, hoe lager de oppervlaktetemperatuur is.</i>	--	---

Er is voor wat betreft het SUHI-effect op basis van een analyse van de 10 satellietbeelden vastgesteld dat de invloed van water en vegetatie verandert doorheen het jaar. Aan het begin van de zomerperiode zal het water (dat nog relatief koel is) een groter afkoelend effect hebben dan de vegetatie (die dan nog minder dens is). Aan het eind van de zomerperiode is dit andersom: oppervlaktewater is reeds sterker opgewarmd en het contrast tussen wateroppervlakken en het omliggende stedelijk weefsel in het SUHI-beeld is kleiner (zie Figuur 155). De vegetatie is dan dens waardoor het afkoelend effect van de vegetatie toeneemt.

Uit de regressie analyses volgende verder ook nog dat asfalt een sterker opwarmend effect heeft dan beton, zoals verwacht.

In § 5.3.1 en § 5.3.2 worden vervolgens de numerieke resultaten van Tabel 19 t.e.m. Tabel 22 toegepast op twee concrete lokaties, nl. de Kouder en het Sint-Pietersplein. En in § 5.4 wordt vervolgens verder ingegaan op een aantal case studie gebieden (Brugse Poort, Citadelpark, Ledeborg, Noorddok – Houtdok – Portus Ganda en de terreinen van ArcelorMittal) om deze bevindingen verder uit te werken.

Kwetsbaarheidsanalyse

In HOOFDSTUK 6 werd vervolgens een kwetsbaarheidsanalyse uitgevoerd om naast het voordoen van het SHE (zowel CLUHI als SUHI) de gevoeligheid van de bevolking hieraan te onderzoeken. Dit gebeurde door de resultaten van het SHE in verband te brengen met de karakteristieken van de bevolking.

Het achterhalen van wie er nu meer of minder gevoelig is aan een bepaalde stijging in temperatuur is echter verre van eenvoudig, want elke persoon ondervindt namelijk anders een hittegolf. Een aantal algemene conclusies zijn wel te trekken over de kwetsbaarheid voor hitte:

- Ten eerste kan geconstateerd worden dat vooral **leeftijd** een rol speelt en dan vooral in de leeftijdsgroepen tot 4 jaar en boven 65 jaar. Bij oudere mensen spelen vooral fysiologische aspecten een rol: verminderde thermoregulatie, cardiovasculaire gezondheid of een slechtere werking van de nierfuncties die hun kwetsbaar maakt voor hitte. Jonge kinderen zullen dan weer minder neiging vertonen hun gedrag (adaptieve actie) aan te passen bij extreme hitte. Kinderen die daarenboven ziek zijn, met name diarree, ademhalingsproblemen en neurologische defecten hebben, zijn uiteraard extra kwetsbaar.
- Ten tweede zijn er ook op sociaal vlak enkele algemene vaststellingen te maken:
 - o Allereerst is **sociale isolatie**, waarmee bedoeld wordt dat deze personen weinig contact hebben met anderen, een significante voorspeller voor personen die leiden onder de hitte. Alleenstaanden worden doorgaans onvoldoende door hun omgeving gewezen op de gevaren van hitte en problemen van uitdroging.
 - o Naast sociale isolatie zijn ook **minderheids- en lage inkomensgroepen** meer vatbaar voor de gevolgen van hitte. Minderheidsgroepen, zoals Belgen van vreemde origine (en dan vooral hier opnieuw de jonge kinderen en ouderen) hebben meestal een mindere kennis van het Nederlands, wat ervoor zorgt dat communicatie, bijvoorbeeld via radio, tussen overheid en deze groepen in geval van hittegolfwaarschuwingen, minder goed terecht komt. Lage inkomensgroepen zijn meestal meer vatbaar voor hitte door een combinatie van:
 - een grotere blootstelling door het wonen in de delen van de stad waar het SHE effect het grootst is;
 - een lagere adaptieve capaciteit (dit is bijvoorbeeld het verhuizen naar beter geïsoleerde huizen of het aanpassen van die huizen);
 - een lagere graad van bescherming (fysiologisch, door onbekendheid, maar ook minder afgesloten verzekeringen etc.).
- Naast de sociale en fysiologische component, kan echter ook het drinken van alcohol, het nemen van drugs of het deelnemen aan fysisch intensieve activiteiten, zoals het beoefenen van sport of manuele arbeid, tijdens warme periodes het risico op gezondheidsrisico's ten gevolge van hitte vergroten. Het Amerikaanse College of Sport Medicine⁸ raadt daarom aan, om te hoge risico's te voorkomen, en een sportevenement af te lasten boven een natte boltemperatuur van 28°C; dat is doorgaans de drempel waarboven men op natuurlijke manier, dit is via zweten, niet meer genoeg kan afkoelen.

De centrale vraag was nu: welke wijk(en) in Gent 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 gebruikt zijn, zijn onderverdeeld naar demografische factoren (leeftijd, inwonersdichtheid, alleenstaanden en verhouding niet-Belg/Belg), sociaaleconomische factoren (ondermodaal inkomen en niet-werkende werkzoekenden) en kwetsbare functies (kleuterscholen, speelterreinen, kinderopvang, ziekenhuizen, serviceflats, rust- en verzorgingstehuizen en openbare evenementen), zie ook Tabel 25.

Globaal gezien kunnen we stellen dat op:

- **Demografisch vlak:**
 - o De gevoeligheid van kinderen het hoogste is in de *Brugse Poort*, *Sint Amandsberg* en *Dampoort* voor dagstress, en de *Brugse Poort* en *Dampoort* voor de nachtstress.

⁸ <http://www.acsm.org>

- Wat de gevoeligheid van ouderen betreft zijn de meest gevoelige wijken van Gent *Sint Amandsberg*, *Binnenstad* en *Wondelgem* voor dagstress. Voor de nachtstress is *Binnenstad* het meest gevoelig.
- Voor alleenstaanden gaat het vooral om de *Binnenstad* (dag- en nachtstress).
- Voor de verhouding niet-Belg/Belg gaat het vooral om de wijken *Rabot* en 't *Sluizeken* (dag- en nachtstress).
- Voor **sociaal economische factoren** lijken vooral *Dampoort* en *Elisabethbegijnhof* gevoelig, op de voet gevolgd door o.a. *Binnenstad*.
- En voor **kwetsbare functies** blijken :
 - Op vlak van ziekenhuizen, serviceflats en rust- en verzorgingstehuizen vooral 't *Sluizeken*, de *Binnenstad* en *Wondelgem*
 - Daarnaast is op het gebied van de kinderopvang vooral *Sint Amandsberg* en *Oostakker* gevoelig,
 - Op vlak van speelterreinen vooral *Sint Amandsberg*, de *Brugse Poort* en *Mariakerke*
 - Op vlak van onderwijs vooral de *Binnenstad*,
 - En ook voor zomerevents is de *Binnenstad* uiteraard ook het meest kwetsbare wijk in Gent.

Op basis van deze algemene kwetsbaarheidsscreening werd vervolgens een keuze (§ 6.2.4) van een aantal wijken gemaakt die in meer detail bekeken werden (zie sectie 6.3). We lijsten kort voor elk van de geselecteerde wijken de meest gevoelige aspecten op:

- De **binnenstad** (hoogste inwonersdichtheid + veel zomerevents (Gentse feesten, stadsloop)): ondanks dat de gevoelige leeftijden (jong en oud) niet overmatig vertegenwoordigd zijn, komen er wel relatief veel kwetsbare functies voor deze groepen in de Binnenstad voor, zoals bijv. (kleuter)onderwijs. Met name de serviceflats tikken echter zwaar door in de kwetsbaarheid van de Binnenstad, niet alleen overdag, maar vooral ook gedurende de nacht. De Binnenstad blijkt ook in een globale kwetsbaarheids beoordeling (§ 6.4) de meest kwetsbare wijk te zijn. Dit komt enerzijds door de (altijd terugkomende) inwonersdichtheid en anderzijds voor de Binnenstad vooral ook het aandeel alleenstaanden. Daarnaast komen hier gedurende de zomer ook tal van sport-, cultuur- en buitenevents voor (naast het reguliere buitenleven op terrasjes en pleinen). Juist hier lijkt zich de meest markante ontwerpopgave aan te dienen.
- Ook in **Muide-Meulestede-Afrikalaan** zien we dat het aandeel niet-Belgen en het relatief hoge aandeel werkzoekenden de kwetsbaarheid van deze wijk bepalen. Ook draagt de aanwezigheid van speelterreinen bij tot de kwetsbaarheid overdag gezien in de wijk weinig andere kwetsbare functies voorkomen. Deze wijk komt in het globale plaatje op de tweede plaats inzake kwetsbaarheid. Voor deze wijk is in de komende tijd evenwel een belangrijke transformatie gepland; en het lijkt derhalve zaak om in de plannen de hier aangewezen zwakten te verhelpen.
- Voor **Dampoort** is de werkloosheidsdruk bovengemiddeld en heeft deze wijk een relatief hoog gewicht voor de verhouding niet-Belg/Belg. Ook draagt de factor leeftijd (en dan vooral het aandeel jonge kinderen) sterk bij tot de hogere kwetsbaarheid van deze wijk.
- In 't **Sluizeken – Tolhuis – Ham** vinden we ook een van de hoogste bewonersdichtheden van Gent, maar is ook het aantal alleenstaanden (vanwege het groot aantal studenten) relatief hoog. Belangrijker echter lijken de aanwezigheid van kwetsbare functies de totale verhoogde kwetsbaarheid van deze wijk te bepalen, met de aanwezigheid van drie ziekenhuizen, serviceflats en in mindere mate de rust- en verzorgingstehuizen.
- Tenslotte zien we in **Ledeberg** ook een bovengemiddeld aandeel niet-Belgen samen met een verhoogde werkloosheidsdruk. Op gebied van de kwetsbare functies scoort de wijk niet uitzonderlijk.

In algemene zin lijkt de dagstress voor Gent zwaarder door te tikken dan de nachtstress. Maar dit komt vooral doordat overdag, meerdere kwetsbare functies, werknemers, inwoners, bezoekers en recreanten last hebben van de hitte. 's Nachts is dit stukken minder. Maar alles is relatief en nader receptief onderzoek zou moeten uitwijzen of de Gentenaar meer last van hitte heeft gedurende de nacht, dan wel de dag. De sociale controle op mogelijke oververhitting is gedurende de nacht in ieder geval aanzienlijk minder.

Toekomstprojectie

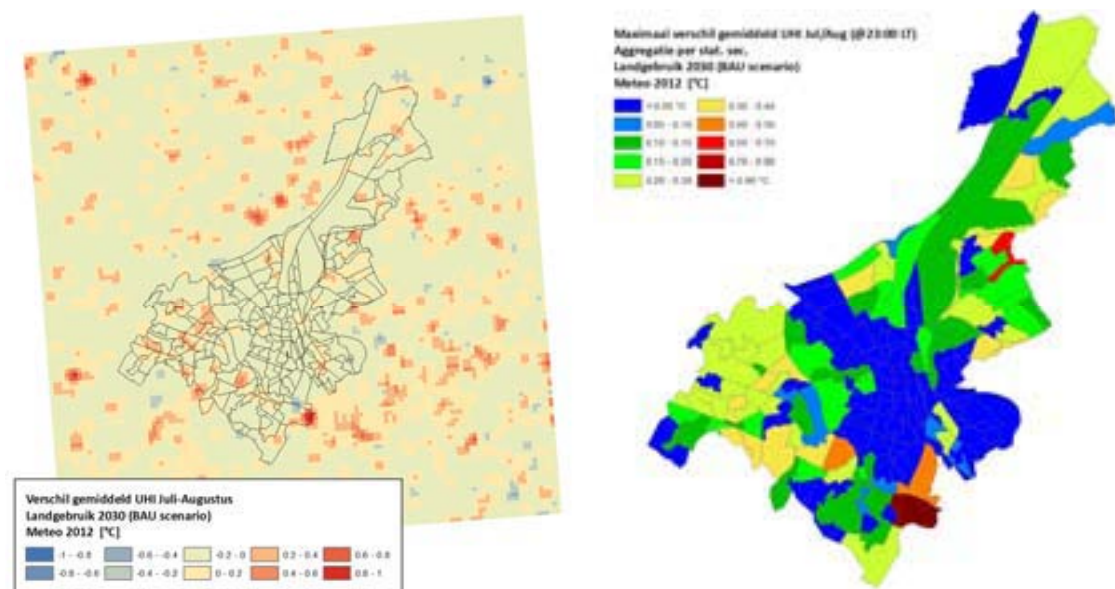
In een volgend onderdeel van de studie (HOOFDSTUK 7) werd een inschatting gemaakt van hoe het SHE in Gent zal evolueren in de toekomst. Twee zaken spelen hier een rol:

- **Klimaatverandering:** Uit de IPCC (2007) rapporten en de literatuur blijkt dat de huidige concentratie broeikasgassen in de atmosfeer zal leiden tot een geschatte temperatuursstijging van bijna 2 °C in de komende decennia. Verwacht wordt dat in het nieuwe IPCC rapport dat dit najaar verschijnt, dit cijfer nog naar boven zal gecorrigeerd worden. Eind 2012 werden door VMM-MIRA een aantal klimaatindicatoren geactualiseerd, waaruit bleek dat het in ons land al gemiddeld 2.3 °C warmer is dan in 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 die 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 dit dynamisch landgebruiksmodel wordt de toekomstige invulling voor een bepaalde cel (100x100 m²) bepaald op basis van een aantal beslisregels 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 Gent een status quo naar 2030 toe, maar vooral een verdere verdichting van de 20^e eeuwse gordel en de omliggende gemeenten rond Gent. In § 7.1.2 worden voor Gent zelf wel een aantal markante verschillen uitvergroot : Nieuw-Gent/UZ, Drongen, Oostakker en The Loop. Ruimtelijk-structurele informatie over concrete beleidsplannen in Gent zitten evenwel niet vervat in dit model.

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

In onderstaande figuren is het model resultaat weergegeven (links) van het verschil in gemiddelde luchttemperatuur SHE-intensiteit om middernacht tijdens de zomer (situatie landgebruik 2030 t.o.v. huidige situatie), rechts het maximale verschil per statistische sector. We bekijken m.a.w. hoeveel het SHE effect zal toe/af nemen als gevolg van verdere verstedelijking. We zien de sterkst

verwachte toename in de wijken Zwijnaarde – Industrie en Oostakker (Oostakkerveld). Ook voor Sint Denijs Westrem (Bugten) en Drongen (Hoogland/Paradijskouter) zien we relatief gesproken sterkere toenames van de SHE-intensiteit. 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 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 Gent, en niet zozeer in Gent zelf, met een toename van ongeveer een 0.5 °C tot in bepaalde gevallen 1 °C gemiddeld.



Hoewel geen lokale informatie in de landgebruiksmodellering is opgenomen, is het zo dat cijfers over de verwachte groei in Gent aangeven dat vooral ook aandacht zal nodig zijn voor de buurt Muide – Meulestede – Afrikalaan. Hier verwacht Stad Gent zo’n 1500 extra wooneenheden tegen 2025, met name 400 – 600 extra sociale huurwoningen en meer dan 800 private wooneenheden.

B. 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. Als gevolg van klimaatverandering dienen we wel te stellen dat het moeilijk is om ruimtelijk expliciete informatie over de impact van veranderende meteorologische condities af te leiden op basis van de doorrekening van één enkele zomerperiode. Het is uiteraard niet voor niets dat men in klimaatsscenario’s typisch periodes van een 10-30 jaar doorrekent. Echter kunnen we wel op basis hiervan een inschatting doen van de impact van klimaatverandering op het stedelijk hitte-eiland effect voor Gent als geheel: een toename van de gemiddelde intensiteit van het SHE effect met 0.4 – 0.8 °C, een 5-tal extra dagen met een nachtelijke minimum temperatuur boven de 18 °C en een duidelijke toename van de pieken in SHE intensiteit.

Algemene conclusies en beleidsaanbevelingen

Voor de **algemene conclusies en beleidsaanbevelingen** van deze studie verwijzen we tenslotte naar HOOFDSTUK 8, waar op basis van de voornaamste conclusies uit dit onderzoek wordt ingegaan op een aantal specifieke aanbevelingen en gebiedsgerichte maatregelen voor de Binnenstad, 't Sluizeken – Tolhuis – Ham, Dampoort, Ledeborg, en Muide – Meulenstede – Afrikalaan, en waarbij ook zaken uit het stakeholder overleg met verschillende stadsdiensten, dat plaatsgreep binnen het kader van dit project, eind mei 2013 zijn opgenomen.

A. Generieke aanbevelingen

- Hoewel een aantal parken reeds in de pijplijn van het groenstructuur plan zitten, liggen deze misschien niet altijd in meest kwetsbare gebieden. Gezien de complementariteit van water en groen (zie hoger) lijkt het aangewezen uitbreiding en verdichting van opgaand groen (bomen en struiken) te koppelen aan de aanwezige waterlopen en zo klimaatassen te creëren vanuit de stad richting het meer koele ommeland.
- De doorstroming van water doorheen de stad te bevorderen gezien stromend water minder vlug zal opwarmen.
- 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.
- 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 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.

B. Specifieke aanbevelingen per wijk

- specifiek voor de **Binnenstad**
 - o een meer SHE neutrale heraanleg van de pleinen en openbare ruimten, mogelijk te starten met de Vrijdagmarkt, aangezien veel van de andere pleinen recent heraangelegd zijn. Indien mogelijk en gegeven haar functie voor de vrijdagmarkt zelf, zou herbestrating hier heroverwogen kunnen worden met meer aandacht voor groen, stromend water, fontein, watertappunten en/of schaduw bevorderende (en daarmee vaak ook regen beschermende) ingrepen etc.
 - o een consequente uitvoering van alle openlucht parkeerplaatsen in de Binnenstad met grasbeton en/of open groene tegels (reductie fractie verharding met 40-70%), ook ter bevordering van de waterinlaat in de ondergrond.
 - o bevorderen van groene oevers en bomenaanplant langs de rivier- en kanaallopen in de Binnenstad
 - o bevordering van stromend water in de Binnenstad door openleggen rivierlopen (zoals De Reep), aanleg van fontein op pleinen
 - o bevordering van schaduwrijke loop- en fietsroutes door de Binnenstad
 - o bevordering van een groene daken programma waar mogelijk, en het herstel van het contact met de waterlopen doorheen de binnenstad

- aangepaste sport- en eventprogrammering in de Binnenstad op hittedagen, in combinatie met een daarop aangepast sensibiliserings- en informatieprogramma
- specifiek voor **'t Sluizeken – Tolhuis – Ham**
 - gezien de uitgesproken aanwezigheid van zieken- en bejaardenhuizen en serviceflats lijkt hier een gefocust sensibiliseringsprogramma voor hittedagen van doen.
 - gezien de verwachte groeiprognozes in deze wijk, lijkt het verder aangewezen hierbij zoveel mogelijk rekening te houden met SHE - neutrale aanleg van binnenstedelijke verdichting (zie 8.2.2)
- specifiek voor **Dampoort**
 - 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.
 - Bevordering schaduwrijke/groene/onverharde speelterreinen voor jonge kinderen
 - Waar mogelijk (her)openstelling en (her)vergroening van binnenblokken, in combinatie met een groen daken programma en groene tegel parkeerplaatsen
 - In combinatie met gerichte sensibilisering gezien de bevolkingsstructuur van de wijk.
- Specifiek voor **Ledeberg**
 - Waar mogelijk uitbreiding van eilandvorming langs de Franse Vaart. Hier is een goed gelegen potentiëel voor het realiseren van de groen/blauwe klimaat assen waarover eerder sprake.
 - Bevordering urban farming/volkstuintjes in binnenhoven (waar mogelijk) en langs de grote infrastructuur als de spoorwegberm Gent St.Pieters-Dampoort, E17 en her aan te leggen Fly-over
 - Groene daken programma voor allerlei hallen van groothandel, retail, opslag, onderwijs, annex parkeerruimten etc.. die aanwezig zijn in Ledeberg.
 - En tenslotte een op hittedagen 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.
- In **Muide-Meulenstede-Afrikalaan** wordt reeds een krachtige revitalisering voorzien, te beginnen met de Oude Dokken en de Voorhaven. De maatregelen die hier worden voorgesteld (vooral ook de openlegging van de havens en het herstel van het contact met het water) beperken naar verwachting reeds het SHE-effect. Hier kan mogelijk nog verder ingezet worden op de combinatie dicht en opgaand groen nabij het water, fontein of stromende waterpartijen, mogelijke doorsteken van het water naar en in de wijk, uitvoering van het experiment "leefstraten" in combinatie met collectief parkeren aan de rand van de wijk en verbreding/bestemming van urban farming.

INHOUD

Verspreidingslijst	I
Woord vooraf	II
Samenvatting	III
Inhoud	XXVI
Lijst van tabellen	XXX
Lijst van figuren	XXXIII
Lijst van afkortingen	XLIV
Lijst van symbolen	XLV
HOOFDSTUK 1. Inleiding	1
1.1. Inleidende begrippen en doel van de studie	1
1.2. Opbouw van de studie	5
HOOFDSTUK 2. Meetcampagne	7
2.1. Vaste sensoren	7
2.1.1. Beschrijving sensoren en installatie	7
2.1.2. Calibratie	13
2.1.3. Externe data collectie	17
2.1.4. Analyse en resultaten UHI effect	19
2.1.5. Directionaliteit UHI effect	31
2.2. Mobiele meetcampagne	36
2.2.1. Beschrijving meetmethode	36
2.2.2. Verwerking van de mobiele gegevens	39
2.2.3. resultaten mobiele metingen	46
2.2.4. Analyse mobiele meetcampagne	51
HOOFDSTUK 3. Analyse van het Oppervlakte Hitte-eiland effect in Gent	54
3.1. Inleiding	55
3.1.1. Afleiden van oppervlakte temperatuur op basis van satelliet gegevens	55
3.1.2. Effect van geometrie en schaal op de oppervlakte temperatuur	59
3.2. Beschrijving opgevraagde ASTER beelden	60
3.2.1. Kwalitatieve beschrijving	60
3.2.2. Analyse van enkele transecten	67
3.2.3. Detectie van trends in de oppervlakte temperaturen	69
3.2.4. SUHI voor een winter-situatie	74
3.3. Vertaling naar potentiële dagstress	75
3.3.1. Ter inleiding : de stralingsbalans	75
3.3.2. Afleiden 3D hoogte model voor Gent en de Sky View Factor	78
3.3.3. Potentiële bezonning in Gent	83

3.3.4.	Mean Radiant Temperature	86
3.4.	<i>Downscaling ASTER beelden naar 30m</i>	91
3.4.1.	Methodiek	91
3.4.2.	Toepassing en analyse downscaling	95
3.4.3.	Validatie en bespreking	98
HOOFDSTUK 4.	Analyse Canopy Layer urban Heat Island	102
4.1.	<i>Modelberekeningen aan de hand van URBCLIM</i>	102
4.1.1.	Woord vooraf	102
4.1.2.	Beschrijving URBCLIM	103
4.1.3.	Resultaten van de luchttemperatuursmodellering	113
4.2.	<i>Validatie van de modelberekeningen</i>	115
4.2.1.	Temporele validatie luchttemperatuur en CLUHI effect	115
4.2.2.	Ruimtelijke validatie luchttemperatuur en CLUHI effect	122
4.3.	<i>Bespreking afgeleide grootheden</i>	124
4.4.	<i>Downscaling naar 90 m grid</i>	127
4.4.1.	Enkele beschouwingen vooraf	127
4.4.2.	Afleiden proxy data	128
4.4.3.	Bespreking downscaling naar 90 m	132
HOOFDSTUK 5.	Detectie van de oorzaken	140
5.1.	<i>De onafhankelijke variabelen</i>	141
5.1.1.	De sky view factor	142
5.1.2.	De fractie vegetatie	145
5.1.3.	Nabijheid waterlichamen	151
5.1.4.	De fractie water	152
5.1.5.	De fractie verharding	153
5.1.6.	Materialiteit van de openbare ruimte	155
5.2.	<i>Resultaten</i>	161
5.2.1.	Regressie op de CLUHI _{250m} – kaarten	162
5.2.2.	Regressie op de CLUHI _{90m} – kaarten	164
5.2.3.	Evaluatie regressie analyses CLUHI kaarten.	165
5.2.4.	Regressie op de SUHI _{90m} – kaarten	167
5.3.	<i>Conclusie regressie analyses</i>	170
5.3.1.	Toepassing op de kouter (CLUHI)	171
5.3.2.	Toepassing op het sint pietersplein (SUHI)	173
5.4.	<i>Case-studie gebieden</i>	174
5.4.1.	Omgeving brugse poort	175
5.4.2.	Het Citadelpark	181
5.4.3.	Ledeberg	184
5.4.4.	De omgeving van de haven en Portus Ganda	188
5.4.5.	ArcelorMittal	194
5.5.	<i>Conclusies case-study gebieden</i>	198
HOOFDSTUK 6.	Kwetsbaarheidsanalyse	199
6.1.	<i>Inleiding</i>	199

6.1.1.	Positionering in het groter geheel	199
6.1.2.	Enkele theoretische overwegingen m.b.t. de SHE-gevoeligheid van de bevolking	199
6.2.	<i>Kwetsbaarheid op het niveau van de stad Gent als geheel</i>	201
6.2.1.	Demografische parameters	205
6.2.2.	Sociaal-economische factoren	206
6.2.3.	Kwetsbare functies	207
6.2.4.	Keuze nader te wegen in situ locaties	208
6.3.	<i>Gewogen kwetsbaarheid van nader geselecteerde locaties</i>	210
6.3.1.	De Binnenstad	212
6.3.2.	Dampoort	216
6.3.3.	Muide – Meulestede – Afrikalaan	220
6.3.4.	't Sluizeken – Tolhuis – Ham	223
6.3.5.	Ledeberg	226
6.4.	<i>Algehele weging / conclusies</i>	230
HOOFDSTUK 7.	Toekomstprojectie	234
7.1.	<i>Inleiding</i>	234
7.1.1.	klimaatverandering	234
7.1.2.	Evolutie van het landgebruik in en om Gent	235
7.2.	<i>Vertaling landgebruiksprojectie naar URBCLIM modellering</i>	241
7.3.	<i>Analyse toekomst scenario</i>	245
7.3.1.	Effect van de verdere verstedelijking	245
7.3.2.	Effect van de klimaatverandering	248
HOOFDSTUK 8.	Conclusies en Beleidsaanbevelingen	253
8.1.	<i>Conclusies</i>	253
8.1.1.	Doet het Stedelijk Hitte Eiland (SHE) effect zich in Gent voor en waar dan het meest?	253
8.1.2.	Wat zijn de meest relevante fysische oorzaken voor dit SHE-effect?	253
8.1.3.	Welke wijken zijn het meest SHE stressgevoelig en kwetsbaar?	254
8.1.4.	Neemt de SHE-gevoeligheid in Gent naar verwachting in de nabije toekomst toe of af?	256
8.2.	<i>Beleidsaanbevelingen</i>	256
8.2.1.	Generieke aanbevelingen	257
8.2.2.	Specifieke aanbevelingen	259
Literatuurlijst		267
Bijlage A : Methodiek voor extractie van gebouwhoogtes uit x,y,z puntmetingen		275
Bijlage B : Berekening van de numerieke afgeleide van de eindige resolutie temperatuursmetingen voor de mobiele transecten		280
Bijlage C : Korte beschrijving macro – economische scenario's voor landgebruiks projectie in de modellering van het toekomstig UHI effect in Gent.		283
Bijlage D : Stakeholder workshop		286

D.1. Fysieke maatregelen	286
D.2. Sociaal economische maatregelen	287
D.3. Aanwezigheidslijst	287
Bijlage E : Korte discussie ontwerpende principes	289

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1 : Installatie lokaties van de sensoren. De lat/lon lokaties zijn aangegeven in graden, minuten en seconden t.o.v. de WGS84 ellipsoïde. Sensor HOB003 is op 09-10/08/2012 van Ledeberg naar de proefhoeve in Gontrode bij Melle verplaatst.	9
Tabel 2 : Validatie statistieken voor de HOB0 loggers gebruik in Gent t.o.v. de actief geventileerde temperatuur sensor van UCMCS002 te Vremde.	16
Tabel 3 : Gegevens van de verzamelde externe metingen voor Gent voor de zomer periode van 2012.	18
Tabel 4 : Eenvoudig regressie model voor het voorspellen van de maximale UHI intensiteit in Gent.	27
Tabel 5 : Alle gemeten luchttemperatuur SHE intensiteiten voor de verschillende meetlokaties. We tonen de gemiddelde intensiteit overdag, 's nachts en algemeen, samen met de piekintensiteit (95ste percentiel waarde). De stations waarbij we enkele vragen kunnen plaatsen inzake representativiteit en waarvoor de metingen in wat meer detail zouden moeten bekeken worden hebben we in grijze kleur weergegeven.	28
Tabel 6 : Gereden trajecten tijdens de mobiele meetcampagne in Gent op 17-18 Augustus 2012.	38
Tabel 7 : Regressie parameters voor de verklarende variabelen voor de gemeten luchttemperatuur van het bestudeerde transect van 18/08/2012. De eerste rij geeft de regressie coëfficiënt aan met de onzekerheid erop in de rij eronder. De p-waarde is een maat van met welke significantie de regressie coëfficiënt van beschouwde parameter verschilt van 0 en dus duidelijk bijdraagt tot het verklaren van het patroon. Indien $p < 0.05$ is de parameter significant.	52
Tabel 8 : Basis karakteristieken van oppervlakte en atmosferische hitte-eilanden. Naar (US-EPA, 2013), zie ook http://www.epa.gov/heatIslD/	54
Tabel 9 : Tabel met de aangekochte ASTER beelden boven Gent. De linker kolom geeft het identificatienummer van de scene, waarmee het beeld makkelijk teruggevonden kan worden op de zoekmachine http://ims.aster.ersdac.jspacesystems.or.jp/ims/html/MainMenu/MainMenu.html .	60
Tabel 10 : In-situ meteorologische condities voor de ASTER beelden. Bron : http://meteo.infospace.ru/ , station Munte (50°56'NB, 3°44'OL) voor Gent – Belgium. De tijdstippen voor de LST opnames zijn in lokale tijd weergegeven. Het tijdstip van de waarnemingen afkomstig van de vermelde site is telkens 13:00 lokale tijd. Met "--" bedoelen we geen data beschikbaar.	62
Tabel 11 : Pairing tussen de ASTER beelden en de gebruikte Landsat NDVI opnames voor de downscaling. De tijden zijn telkens voor het centrum van de scene weergegeven. De exacte opname tijd voor Gent kan dus afwijken.	95
Tabel 12 : Vergelijking tussen het ruwe ASTER 90 m oppervlaktetemperatuursbeeld (links), en de gedownscalede versie op basis van Landsat NDVI. Het ASTER beeld is opgenomen op 2006-06-13 omstreeks 13:00 lokale tijd.	97
Tabel 13 : Globale fout geïntroduceerd als gevolg van de downscaling voor de 10 ASTER beelden. We geven voor de volledigheid in de tabel ook nog eens de luchttemperatuur en de mediaan oppervlakte temperatuur weer.	99
Tabel 14 : Tabel met gebruikte waarden in de URBCLIM modellering voor albedo, emissiviteit en ruwheidslengte (voor momentum). Voor albedo en emissiviteit wordt telkens een waarde opgegeven voor vegetatie en voor afwezigheid van vegetatie. Deze waarden zijn representatief voor gridcellen van de desbetreffende LAICa klasse in de veronderstelling dat die volledig door vegetatie bedekt is, of anderzijds er geen vegetatie aanwezig is. De in het model gebruikte waarde zal dan het aan de hand van de voorkomende fractie vegetatie gewogen gemiddelde tussen beide zijn.	108

Tabel 15 : Validatie statistieken voor het CLUHI effect als functie van de tijd voor de metingen aan de Vrijdagmarkt en de Plantentuin. _____	119
Tabel 16 : Validatie statistieken voor de ruimtelijke validatie van het CL-UHI. _____	124
Tabel 17 : Resultaten van de regressie analyse op de gemiddelde CLUHI model resultaten van de maand augustus om 00:00 en voor de momentopname van 19 augustus, na de warmste dag van 2012. _____	133
Tabel 18 : Onafhankelijke variabelen van het regressiemodel. _____	140
Tabel 19 : De gewichten per onafhankelijke variabele bij de regressies op Cluhi 14:00h en 23:00h. Opgelet, de gewichten bij 'afstand tot water' zijn per km, waardoor deze relatief hoog lijken. Alle gewichten zijn sterk significant (p-waarde ~0) . _____	163
Tabel 20 : De gewichten per onafhankelijke variabele bij de regressies op 90m grid-resolutie Cluhi 00:00h_gem en 00:00h_19.08.2012. Opgemerkt, de gewichten van de parameter 'afstand tot water' zijn klein doordat de parameter in meter is uitgedrukt. Alle gewichten zijn sterk significant (p-waarde ~0) . _____	164
Tabel 21 : De gewichten per onafhankelijke variabele bij de regressies op 90m grid-resolutie Suhi-kaarten . _____	168
Tabel 22 : De gewichten voor de variabelen fracties beton en asfalt na de regressies op de verschillende Suhi-kaarten op de gridcellen waar er minstens 1 procent asfalt of beton ligt. _____	170
Tabel 23 : Samenvatting van de invloeden van de onderzochte variabelen op de luchttemperatuur in Gent. De schaal is op deze manier opgebouwd: sterk opwarmend effect (+++), opwarmend (++), licht opwarmend effect (+), geen invloed (0), licht afkoelend effect (-), afkoelend (- -), sterk afkoelend effect (- - -) _____	170
Tabel 24 : Samenvatting van de invloeden van de onderzochte variabelen op de oppervlakte-temperatuur in Gent. De schaal is op deze manier opgebouwd: sterk opwarmend effect (+++), opwarmend (++), licht opwarmend effect (+), geen invloed (0), licht afkoelend effect (-), afkoelend (- -), sterk afkoelend effect (- - -). Er wordt een verschil gemaakt in invloed aan het begin van de zomer- en na de zomerperiode. _____	171
Tabel 25 : Parameters UHI kwetsbaarheid naar dag- en nachtstress. NWWZ staat hierin voor Niet-Werkende Werkzoekenden en RVT = Rust en VerzorgingsTehuizen. _____	203
Tabel 26 : Statistische analyse 25 wijken Gent, naar demografische gevoeligheid UHI _____	205
Tabel 27 : Statistische analyse 25 wijken Gent, naar sociaaleconomische gevoeligheid UHI _____	206
Tabel 28 : Statistische analyse 25 wijken Gent, naar aantallen kwetsbare functies. _____	207
Tabel 29 : Statistische analyse 25 wijken Gent, naar UHI gevoeligheid voor kwetsbare functies. _____	208
Tabel 30 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Binnenstad, Gent (dagstress) _____	213
Tabel 31 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Binnenstad, Gent (nachtstress) _____	214
Tabel 32 : Gewogen subjectief gemiddelde van de parameter-sets voor de Binnenstad _____	214
Tabel 33 : Totaalbeeld gewogen UHI kwetsbaarheid Binnenstad voor de verschillende parameters. _____	215
Tabel 34 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Dampoort, Gent (dagstress) _____	217
Tabel 35 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Dampoort, Gent (nachtstress) _____	218
Tabel 36 : Gewogen subjectief gemiddelde van de parameter-sets voor Dampoort _____	218
Tabel 37 : Totaalbeeld gewogen UHI kwetsbaarheid Dampoort voor de verschillende parameters _____	219
Tabel 38 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Muide-Meulestede-Afrikalaan, Gent (dagstress) _____	221
Tabel 39 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Muide-Meulestede-Afrikalaan, Gent (nachtstress) _____	222

Tabel 40 : Gewogen subjectief gemiddelde van de parameter-sets Muide-Meulestede-Afrikalaan.	222
Tabel 41 : Totaalbeeld gewogen UHI kwetsbaarheid Muide voor de verschillende parameters	223
Tabel 42 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies 't Sluizeken, Gent (dagstress)	224
Tabel 43 : : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwestbare Functies 't Sluizeken, Gent (nachtstress)	225
Tabel 44 : Gewogen subjectief gemiddelde van de parameter-sets 't Sluizeken-Tolhuis-Ham.	225
Tabel 45 : Totaalbeeld gewogen UHI kwetsbaarheid 't Sluizeken voor de verschillende parameters.	226
Tabel 46 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Ledeberg, Gent (dagstress)	227
Tabel 47 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwestbare Functies Ledeberg, Gent (nachtstress)	228
Tabel 48 : Gewogen subjectief gemiddelde van de parameter-sets Ledeberg.	228
Tabel 49 : Totaalbeeld gewogen UHI kwetsbaarheid Ledeberg voor de verschillende parameters.	229
Tabel 50 : De geselecteerde wijken onderling gewogen naar dag- en nachtstress (totaalwaarden).	231
Tabel 51 : De parameters onderling gewogen naar dag- en nachtstress (relatieve waarden).	232
Tabel 52 : Klassen in het landgebruiks model van Engelen et al.	237
Tabel 53: Mapping van de klassen tussen het dynamisch landgebruiksmodel van Engelen et al. en de LAICa landgebruiksklassen in de URBCLIM modellering. De nummers van de klassen van het ruimtelijk dynamisch model komen overeen met deze uit Tabel 52.	241
Tabel 54 : Verschillen tussen 2 types park cool islands (PCI).	290

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: De verschillende UHI types (Voogt & Oke, 2003)	2
Figuur 2 : De symbolen geven de gemiddelde intensiteit (en standaardafwijking) van het UHI effect in Parijs op de luchttemperatuur telkens om 22:00 UT gedurende mei - september 2003. De waarden zijn weergegeven in intervallen van 2°C van de gemiddelde luchttemperatuur.	4
Figuur 3 : Links: afbeelding van de gebruikte Onset HOBO U23-002 Pro v2, rechts: afbeelding van de actief geventileerde stralingshut van het type : Youngs 43502 aspirated radiation shield.	8
Figuur 4 : Afbeelding van de lokatie van de 3 uitgezette sensoren in en om Gent.	9
Figuur 5 : Links: Foto van de vaste sensor in de UGent Plantentuin, Rechts : foto van de inplanting in de omgeving.	10
Figuur 6 : Installatie van de vaste sensor achteraan de gebouwen van de AMRP van de UGent. Rechts is een bovenaanzicht van de omgeving opgenomen.	10
Figuur 7 : Enkele detail foto's van de installatie van de logger achteraan de AMRP-UGent gebouwen.	11
Figuur 8 : Foto van de installatie van de sensor in een achtertuin in Ledeberg.	11
Figuur 9 : Overzicht van de meetlokatie in een typische achtertuin lokatie aan de E. Van Hoorebeke straat in Ledeberg.	12
Figuur 10 : Lokatie van de rurale referentie meetpost op de proefhoeve te Melle. Rechts is een bovenaanzicht van de onmiddellijke omgeving afgebeeld. Op de figuur links is links van de windmolen de KMI meteomast te zien.	13
Figuur 11 : Afbeelding van de calibratie opstelling voor de 3 HOBO sensoren die we in Gent hebben uitgezet. De sensoren bevinden zich in een identiek actief geventileerd stralingsschild als de PT1000 sensor van het Campbell meteostation op de achtergrond.	14
Figuur 12 : Tijdsreeksen van de calibratie van de HOBO sensoren t.o.v. de geaspireerde luchttemperatuurmetingen van het VITO Urban Climate station UCMCS002 te Vremde. Bovenaan is de luchttemperatuur afgebeeld gedurende de periode 17/07/2012 ~16:00 tot 19/07/2012 ~11:00, onderaan de relatieve vochtigheid.	14
Figuur 13 : Tijdsreeks van de calibratie van de 3 HOBO sensoren t.o.v. de UCMCS002 metingen. Deze grafiek is analoog als bovenstaande Figuur 12, maar ditmaal werden de HOBO metingen uitgemiddelde over de 15 minuut intervallen zodat de tijdsbasis voor de metingen overeenkomt met die van de UCMCS002 sensor.	15
Figuur 14 : Correlatie plots voor de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid van de HOBO sensoren t.o.v. het UCMCS002 meetstation gedurende de periode 17/07/2012 - 19/07/2012.	16
Figuur 15 : Lokaties in Gent van alle meetlokaties. Zowel externen als data door het project zelf verzameld.	17
Figuur 16 : Vergelijking van de tijdsreeksen gemeten door de VITO Urban Climate monitor HOBO03 en het officiële KMI station op de proefhoeve te Melle.	20
Figuur 17 : Correlatie plot tussen VITO Urban Climate monitor HOBO03 en het officiële KMI station op de proefhoeve te Melle.	20
Figuur 18 : Afbeelding van de volledige tijdsreeks van de VITO metingen aangevuld met de KMI metingen.	21
Figuur 19 : Afbeelding van de volledige tijdsreeks van de UHI intensiteit t.o.v. het KMI station in Melle.	21
Figuur 20 : Detail van de eigen meetreeksen uit de meetcampagne voor de periode rond 17-18-19 augustus 2012.	22
Figuur 21 : Detail van de eigen meetreeksen uit de meetcampagne voor de periode rond 9 september 2012.	23

Figuur 22 : Gemiddelde SHE intensiteit over de ganse zomer periode als functie van het uur van de dag (in lokale tijd, en dus zomertijd). De errorbands geven de ongecorrleerde standaard error op de gemiddelde waarde van dat uur weer. Als referentie is telkens terug de meting van het KMI station te Melle genomen.	24
Figuur 23 : Correlatie analyse tussen de windsnelheid zoals gemeten op de VMM mast aan de Tolhuiskaai op 30m en de intensiteit van het UHI effect (links voor de vrijdagmarkt, rechts voor de plantentuin).	26
Figuur 24 : Maximale nachtelijke UHI intensiteit voor de Vrijdagmarkt (t.o.v. het KMI station te Melle) versus de maximum temperatuur van die dag zoals gemeten te Melle. Rechts zien we dezelfde grootte versus de gemiddelde windsnelheid overdag (tussen 8h 's morgens en 18 h 's avonds lokale tijd) gemeten op de 30m mast van de VMM aan de Tolhuiskaai.	26
Figuur 25 : Maximale nachtelijke UHI intensiteit voor de Plantentuin (t.o.v. het KMI station te Melle) versus de maximum temperatuur van die dag zoals gemeten te Melle. Rechts zien we dezelfde grootte versus de gemiddelde windsnelheid overdag (tussen 8h 's morgens en 18 h 's avonds lokale tijd) gemeten op de 30m mast van de VMM aan de Tolhuiskaai.	27
Figuur 26 : Geografische weergave van de gemeten gemiddelde UHI intensiteit overdag (links) en 's nachts (rechts).	29
Figuur 27 : Geografische weergave van het gemeten 95 ^{ste} percentiel van de UHI intensiteit overdag (links) en 's nachts (rechts).	30
Figuur 28 : Geografische weergave van het aantal dagen tijdens de zomer van 2012 met een minimale nachtelijke temperatuur boven de 20 °C en boven de 18 °C.	30
Figuur 29 : UHI windroos voor de Vrijdagmarkt, referentie : KMI station Melle.	31
Figuur 30 : UHI windroos voor de meting in Ledeberg, referentie : KMI station Melle	32
Figuur 31 : UHI windroos voor de Plantentuin, referentie : KMI station Melle	32
Figuur 32 : UHI windroos voor de VMM meting aan de Tolhuiskaai, referentie : KMI station Melle	33
Figuur 33 : UHI windroos voor de VMM meting in Evergem, referentie : KMI station Melle.	33
Figuur 34 : UHI windroos voor de UGent meting in het weerstation Armand Pien op de Rozier, referentie : KMI station Melle.	34
Figuur 35 : UHI windroos voor de hobbymeting in het weerstation Drongen – Baarle, referentie : KMI station Melle	34
Figuur 36 : UHI windroos voor de UGent meting in het weerstation van de faculteit Bioingenieurswetenschappen op de Rozier, referentie : KMI station Melle.	35
Figuur 37 : UHI windroos voor de hobbymeting in het weerstation Gent-Dampoort, referentie : KMI station Melle	35
Figuur 38 : Samenvattend schema voor de meetopstelling van de mobiele metingen te Gent op 17-18 augustus 2012.	37
Figuur 39 : Foto van de HOBO U23 sensor vast gemaakt aan de fiets, samen met de GPS ontvanger die voor positiebepaling moet zorgen.	38
Figuur 40 : Overzicht alle transecten gereden in Gent, zowel fietsmetingen als met de auto op 17 en 18 augustus 2012. Enkele transecten overlappen, dus zullen de kaarten hieronder meer duidelijkheid verschaffen per traject.	39
Figuur 41 : Snelheidsprofiel van de rit op zaterdag 18/08. Tijdsbasis in seconden, vertrek was omstreeks 22:00 's avonds lokale tijd.	41
Figuur 42 : Ruwe gemeten temperatuursprofiel met de responscurves die overeenkomen met het uit het ijsbad halen van de sensor en in de luchtstroom houden. De horizontale as geeft de tijd in seconden weer sinds de start van de meting.	42
Figuur 43 : Ruwe response curves uitgeknipt en op 1 plot weergegeven per snelheid.	42
Figuur 44 : Gefitte curves van de responsetijd voor elk van de verschillende rijsnelheden.	43
Figuur 45 : Sensor responstijd als functie van de rijsnelheid en een gefit model.	44
Figuur 46 : Finale sensor response correcties op de tijdsreeksen. We tonen twee stukken uit de transecten die zaterdag 18/08/2012 gereden werden.	45

- Figuur 47 : Onverwerkte, gemeten luchttemperatuur op zaterdag 18-08-2012 tussen +/- 22:00 en 23:00 lokale tijd (GMT+2). Het transect werd gereden van oost naar west, vertrekkende op de E40 ter hoogte van het parkeer terrein in Wetteren via de R4 naar de E17, door Gent en dan richting St. Martens-Latem op de Kortrijksesteenweg. _____ 46
- Figuur 48 : Vervolg van hierboven, vanaf 23:00 tot 00:00 GMT+2. Ditmaal eerder in Zuid-Noordelijke richting via de haven en terug langs de Dampoort richting E40. _____ 47
- Figuur 49 : Transect gereden op vrijdagavond 17-08-2012, te beginnen vanaf de park & ride onder het viaduct van de E17 in Gentbrugge opnieuw langs de watersportbaan, de haven, ditmaal door St. Amandsberg en via de secundaire wegen naar de E40 om te eindigen aan de proefhoeve in Melle (waar de vaste sensor werd uitgelezen). _____ 48
- Figuur 50 : Fietstraject tussen 13:00 en 16:00 lokale tijd (GMT+2) op vrijdagmiddag 17-08-2012. We begonnen onder het viaduct van de E17 te Gentbrugge en reden eerst Oost-West richting watersportbaan om vervolgens af te zakken naar de Sterre en daarna richting haven te rijden. Eindigen doen we aan de Vrijdagmarkt aan de gebouwen van de AMRP (UGent). Merk op dat hier geen correctie gedaan is voor de grootschalige temperatuursverandering tussen 13:00 en 16:00. _____ 49
- Figuur 51 : Vergelijking tussen ruwe en gecorrigeerde mobiele luchttemperatuurmetingen. De cirkels geven de Nieuwe Wandeling aan. Links zien we de effectief gemeten luchttemperatuur, rechts de gecorrigeerde. _____ 50
- Figuur 52 : Vergelijking tussen gecorrigeerd en ongecorrigeerd traject voor zaterdag 18-08-2012 (23:00 - 00:00). _____ 50
- Figuur 53 : Correlatie analyse van de opgelijste parameters t.o.v. de gemeten luchttemperatuur op het beschouwde transect, geaggregeerd op 90 m. _____ 52
- Figuur 54 : Regressie model voor de luchttemperatuur op 18/08/2012 tussen 22:00 en 23:00 s' avonds lokale tijd. Deze kaart geeft dus een eerste inschatting van de ruimtelijke verdeling van de luchttemperatuur, op basis van het gereden transect. Aan de hand van de correlatie tussen verschillende verklarende factoren : SVF, fractie verhard oppervlak, fractie vegetatie en fractie water werd een regressie model gefit, wat vervolgens werd toegepast op het ganse grondgebied. Let wel dat het hier dus om een eerste inschatting gaat gezien we in verdere hoofdstukken een volledige deterministische modellering zullen opzetten voor het berekenen van de luchttemperatuur. _____ 53
- Figuur 55 : Schematische voorstelling van het elektromagnetisch spectrum. (Bron: http://nl.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisch_spectrum) _____ 56
- Figuur 56 : Absorptie karakteristiek van de aardatmosfeer het infrarode deel van het EM spectrum. De grafiek toont het percentage van de IR straling dat bij een bepaalde golflengte door de atmosfeer wordt doorgelaten. De verschillende absorptiebanden, veroorzaakt voornamelijk door waterdamp (H₂O) en het broeikasgas CO₂ zijn onderaan weergegeven. (Bron: <http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared>) _____ 57
- Figuur 57 : Voorbeeld van het ETM+ SLC probleem voor Landsat 7 ter hoogte van Gent. De kleurschaal is slechts indicatief en gebaseerd op de ruwe digital counts van het Landsat 7 TIR kanaal. _____ 58
- Figuur 58 : Illustratie van het effect van de waarnemingshoek voor satelliet gebaseerde observaties van oppervlakte temperatuur. _____ 59
- Figuur 59 : Enkele 'quicklooks' van de ASTER oppervlakte temperatuursdata voor Gent. We tonen de beschikbare wolkenvrije beelden zoals in Tabel 9 opgenomen, met uitzondering van het beeld op 2003-01-12, wat een winterbeeld is (zie Tabel 10). Alle opnames zijn op dezelfde schaal afgebeeld (rechts), eenheden in °C. _____ 61
- Figuur 60 : Correlatie analyse tussen de gemeten luchttemperatuur (zie Tabel 10) en de mediaan voor elk oppervlakte temperatuurbeeld in Tabel 9 (per beeld een datapunt). De correlatie tussen beiden is zeer sterk, met een R² coëfficiënt van 0.97 (0.92 wanneer we het winterbeeld weglaten). De rechte in rood wordt gegeven door : $LST_{mediaan} = 1.23 T_a + 1.56$. _____ 62

Figuur 61 : Genormeerde SUHI kaarten voor een 4-tal ASTER LST beelden. De kaarten geven telkens het temperatuursverschil in de pixel t.o.v. de mediaan temperatuur van het beeld zodat de kaarten iets beter onderling vergelijkbaar worden.	63
Figuur 62 : Google Earth overlay van het oppervlakte temperatuursbeeld 2006-06-23 voor het centrum van Gent.	65
Figuur 63 : Evolutie van de oppervlakte water temperatuur in Gent als functie van de dag van het jaar op basis van de 10 ASTER beelden. In deze grafiek is alle data weergegeven	66
Figuur 64 : transect 1 : Blaarmeersen - Stationsbuurt - Citadelpark – Ledeborg. De transect lijn wordt gegeven door de rode lijn op de figuur onderaan. De overeenkomstige oppervlakte temperaturen van West naar Oost worden voor beide ASTER opnames gegeven bovenaan de plot.	67
Figuur 65 : transect 2 : Zwijnaarde – Citadelpark – St. Amandsberg – Zelzate. De transect lijn wordt gegeven door de rode lijn op de figuur onderaan. De overeenkomstige oppervlakte temperaturen van Zuid naar Noord worden voor beide ASTER opnames gegeven bovenaan de plot.	68
Figuur 66 : transect 3 : Bourgoyen – Blandijnberg – Ledeborg – Melle. De transect lijn wordt gegeven door de rode lijn op de figuur onderaan. De overeenkomstige oppervlakte temperaturen van West naar Oost worden voor beide ASTER opnames gegeven bovenaan de plot.	69
Figuur 67 : Voorbeeld voor de analyse van een eventuele trend in de genormeerde SUHI beelden voor een pixel ter hoogte van het Zandeken tegenover de Arcelor Mittal site. De afgebeelde trend is gezien de bekomen p-waarde statistisch niet significant te noemen (95 % C.L.) (zie voetnoot verder).	70
Figuur 68 : Geobserveerde trends (stijgend/dalend) in de ASTER LST beelden (rechts), en de significantie ervan (links) door middel van de p-waarde. P-waarden lager dan 0.05 kunnen we als significant beschouwen.	71
Figuur 69 : Gebieden met significante wijzigingen in de oppervlakte temperatuur op basis van een simplistische trendanalyse. De kleur legende voor de p-waarde is onderaan afgebeeld. Voor een p-waarde < 0.05 kunnen we potentieel spreken van een statistisch significante wijziging van oppervlakte temperatuur. In de linker kolom zien we telkens of het gaat om een significante wijziging (p-waarde) of niet, rechts zien we de aard van de wijziging, waarbij de blauwe tinten overeenkomen met een afname van oppervlakte temperatuur en de geel-rode tinten met een toename. Bovenaan zien we het Kluizendok, in het midden de buurt rond de Elsstraat in het Rabot, en onder de bedrijventerreinen van Total in Wondelgem.	73
Figuur 70 : Afbeelding van gewijzigde situatie tussen de Jozef II-straat en de Vlotstraat ter hoogte van de Elsstraat in het Rabot. Links zien we een beeld van 30-04-2007, rechts van 31-08-2009. Bron: Google Earth.	74
Figuur 71 : Oppervlakte temperatuur gedurende de winter op basis van het ASTER LST beeld van 2003-01-12 (links) en sneeuwbedekking voor die dag omstreeks op basis van een gelijktijdige satelliet opname.	75
Figuur 72 : Schematische afbeelden van de verschillende stralingsfluxen (W/m^2) die invallen op een menselijk lichaam in het stedelijk gebied. Merk op dat we de gereflecteerde kort en langgolvlige straling hebben weggelaten als mede de warmtestraling (IR of langgolvlige straling) die een persoon zelf uitzendt.	77
Figuur 73 : Illustratie van de sky view factor, bron : www.knmi.nl/klimatologie/weeramateurs/UHI/index.html	79
Figuur 74 : Illustratie van bepaling van SVF met zogeheten fish-eye lenzen (Chapman and Thornes, 2004).	79
Figuur 75 : Vergelijking terrein model (links) en de top of canopy hoogtes (rechts) voor de Blandijnberg in Gent.	80

Figuur 76: Vergelijking van het CLIMAQS hoogte model van UGent (links afgebeeld), waarbij een gedetailleerde digitalisatie is gedaan, ook van de vorm van de daken en het hier afgeleide hoogtemodel. Rechts zien we het histogram van de verschillen tussen de gemiddelde UGent dakhoogte en de gebouwen hoogte van ons model. _____	81
Figuur 77 : Voorbeeld van de afgeleide sky view factor voor een uitvergroting van het centrum van Gent. Men kan duidelijk de smalle straatjes met een lagere sky view factor zien en de eerder open pleinen met een hogere SVF. _____	81
Figuur 78 : SVF _v , afgeleid ook rekening houdende met de vegetatie. De gebouwen zijn bedekt door de shapefiles gezien deze later uit de resultaten dienen weggesneden te worden om de publieke ruimte te hebben. _____	82
Figuur 79 : Afbeelding van de potentieel invallende zonnestraling in W/m ² . Links is de directe component afgebeeld, rechts de diffuse. _____	83
Figuur 80 : Detail afbeeldingen van de totale potentiële bezonning over een gans zomer seizoen van mei tot september, onder heldere hemel. Bovenaan links zien we een detail in het centrum van Gent, met de Korenmark en de Vrijdagmarkt duidelijk afgetekend, rechts een detail van de buurt rond het Citadelpark. Onderaan links een detail in de haven en rechts de Blaarmeersen. _____	84
Figuur 81 : Geaggregeerde totale bezonning in statistische sectoren. Per sector geven we de gemiddelde potentiële bezonning weer, waarbij we rekening houden met de aanwezigheid van gebouwen (die niet worden meegerekend in de uitmiddeling). _____	85
Figuur 82 : Grafiek van de area projecten factor. Er worden een aantal verschillende parametrisaties afgebeeld met name afkomstig van www.utci.org en de parametrisatie gebruikt in het ENVI-met model (www.envi-met.com). _____	87
Figuur 83 : Potentiële MRT op basis van het ASTER beeld van 2003-07-16. Er is enige voorzichtigheid geboden bij de interpretatie van de wijken in het oosten gezien het ASTER beeld van 2003-07-16 daar is afgekapt. _____	89
Figuur 84 : Google-Earth Screenshots van de MRT kaart zoals hoger beschreven. De schaal aanduiding is in °C. _____	90
Figuur 85 : Typische spectrale reflectantie van Vegetatie (groene cirkels) en gewone grond (blauwe cirkels). In deze figuur zijn de banden van het SPOT-VEGETATION instrument weergegeven, de rode en NIR band van de TM/ETM+ instrumenten aan boord landsat zijn heel gelijk aardig (Rood : 0.63-0.69 µm, NIR : 0.76-0.90 µm). Bron: VITO (www.spot-vegetation.com). _____	91
Figuur 86 : Vergelijking tussen het originele Landsat NDVI beeld (rechts, 30 m resolutie) en het gedownsamplede beeld naar de ASTER resolutie (links, 90 m). _____	92
Figuur 87 : NDVI afgeleid voor een 6-tal wolkenloze landsat opnames boven Gent. De ruimtelijke resolutie is telkens 30 m. De kaarten zijn op een gelijke kleurenschaal afgebeeld en gerangschikt volgens datum in het jaar (niet volgens absolute datum). _____	93
Figuur 88 : Schematisch overzicht van de downscaling procedure voor de ASTER LST beelden aan de hand van Landsat NDVI. _____	94
Figuur 89 : Grafische voorstelling van het downscaling algoritme gebaseerd op een lokale regressie tussen hersampled NDVI en ASTER LST. _____	95
Figuur 90 : Uitvergroting van de (op basis van de NDVI) gedownsamplede ASTER oppervlaktetemperatuur t.o.v. de originele data op 90m. Op de rasters zijn een aantal bekende parken in Gent met groene contouren aangeduid (opname 2006-06-13). _____	97
Figuur 91 : Vergelijking tussen de originele ASTER en de adhv NDVI gedownsamplede oppervlakte temperatuur rond de verkeerswisselaar tussen de E17 en de E40 in Zwijnaarde (opname 2006-06-13). _____	98
Figuur 92 : Vergelijking tussen de originele ASTER en de adhv NDVI gedownsamplede oppervlakte temperatuur in het Gentse havengebied (opname: 2006-06-13). _____	98
Figuur 93 : Controle van de downscaling : vergelijking tussen de originele LST waarden van ASTER en de geaggregeerde, gedownsampled LST waarden. _____	99

Figuur 94 : Verband tussen de downscaling error en de luchttemperatuur op het moment van opname van het oppervlakte temperatuursbeeld. _____	100
Figuur 95 : Vergelijking van de originele en gedownscalede LST waarden op 30 en 90 m voor transect 1 (zie § 3.2.2) en het ASTER beeld van 2006-06-13. _____	101
Figuur 96 : Schematische voorstelling en trade off inzake complexiteit, rekentijd en roostercel grootte van stedelijke klimaatsmodellen. _____	104
Figuur 97 : Schets van de deterministische modellering van stedelijke luchttemperatuur aan de hand van URBCLIM. We zien de sensible heat flux (H), de latente warmteflux (LE), de antropogene (A) en de zgh. storage heat flux (G). _____	106
Figuur 98 : Afbeelding van het model grid gebruikt voor de modellering in Gent. Het grid telt 121x 121 roostercellen van 250m. Het model bevat voorts ook 20 verticale niveaus gaande van 10 m tot 3 km hoogte. Omwille van het feit dat het URBCLIM model generiek is geconcipteerd en bedoeld is om te werken met generieke, vrij beschikbare datasets zoals CORINE, werkt het model in de INSPIRE projectie (EPSG3035) en dient het model grid bijgevolg te worden geherprojecteerd naar Belgische Lambert 72 coördinaten. Vandaar de wat vreemde oriëntatie van de gridcellen t.o.v. de contouren van de Gentse wijken. _____	107
Figuur 99 : Schematische voorstelling van de verlaagde effectieve albedo in stedelijke omgeving. _____	109
Figuur 100 : Afbeelding van de LAICa landgebruiksklassen in de urbclim modellering voor Gent. _____	110
Figuur 101 : Karakterisatie van het oppervlak voor de URBCLIM modellering. Links bovenaan is de fractie verstedelijkt gebied (EEA-CORINE) afgebeeld, rechtsbovenaan de fractie vegetatie cover afgeleid van MODIS satelliet data. Linksonder de terreinhoogte (GTOPO30) en rechts de aanwezigheid van oppervlakte water in de roostercel. _____	111
Figuur 102 : Fractie vegetatie voor Gent op basis van de 250 m resolutie MODIS NDVI data. _____	112
Figuur 103 : Vegetatie fractie op basis van satelliet _____	112
Figuur 104 : Gemiddelde luchttemperatuur per uur van de dag over gans de maand Augustus in Gent. _____	114
Figuur 105 : Gemiddeld CLUHI als temperatuursverschil tussen de stad en het platteland. De rurale temperatuur werd gedefinieerd als de mediaan van alle rurale pixels (% stedelijk landgebruik = 0). De tijds aanduiding is in lokale tijd. Per uur wordt het gemiddelde over gans de maand Augustus weergegeven. _____	114
Figuur 106 : Uitvergroting van de gemiddelde CLUHI intensiteit voor Gent (en een detail van het Centrum rechts) voor de maand augustus 2012 om 00:00h lokale tijd op basis van de URBCLIM modellering op 250 m. _____	115
Figuur 107 : Vergelijking van de tijdsreeksen van de gemeten en gemodelleerde luchttemperatuur voor augustus 2012. We vergelijken telkens de eigen, actief geventileerde HOBO metingen (Plantentuin, Vrijdagmarkt, Proefhoeve en Ledeberg) en onderaan met de KMI metingen te Melle. _____	116
Figuur 108 : Analoge figuur als hierboven, maar ditmaal vergelijken we de tijdsreeksen van de temperatuursverschillen (UHI effect) van de HOBO metingen t.o.v. de referentie meting van het KMI station te Melle. _____	117
Figuur 109 : Analoge figuur als hierboven, maar ditmaal vergelijken we de tijdsreeksen van de temperatuursverschillen (UHI effect) van de HOBO metingen t.o.v. de eigen metingen aan de Proefhoeve te Melle. Uiteraard kunnen we de vergelijking dan niet doen voor Ledeberg. _____	118
Figuur 110 : Detail van de tijdsreeksen voor model en observaties. Bovenaan worden de waarden aan de vrijdagmarkt en de Proefhoeve vergeleken voor telkens model en observaties. Onderaan voor de Plantentuin en de Proefhoeve. _____	120
Figuur 111 : Vergelijking tussen de gemeten en gemodelleerde gemiddelde dagcyclus van het UHI effect aan de Vrijdagmarkt en aan de Plantentuin. De foutenvlaggen zijn enkel statistisch van aard (niet systematisch) en zijn niet meer dan de ongecorrleerde standaard-errors op het gemiddelde per uur. _____	121

Figuur 112 : Analoog als hierboven , maar ditmaal met een bias correctie (0.8 °C) voor de model resultaten aan de Plantentuin. _____	121
Figuur 113 : Illustratie van de lokatie van alle meetlokaties. _____	122
Figuur 114 : Vergelijking van het gemiddelde CLUHI effect gedurende de maand Augustus 2012, onafhankelijk van het moment van de dag. De symbolen stellen telkens per meetlokatie de gemiddelde UHI intensiteit voor : modelberekening t.o.v. observatie. _____	123
Figuur 115 : Analoog als hierboven, maar ditmaal beperken we ons tot het nachtelijk UHI effect alleen, waarbij we analoog als in Tabel 5 de waarden tussen 22:00 en 04:00 lokale tijd namen. _____	123
Figuur 116 : Maximale (links) en 99 ^{ste} percentiel (rechts) van de UHI intensiteit voor Gent gedurende de zomer 2012 (Juli - Augustus). _____	125
Figuur 117 : Berekeningen omtrent de nachtelijke minimum temperatuur gedurende de zomermaanden van 2012. _____	125
Figuur 118 : Cooling degree hours en heating degree hours : Het totaal aantal graad-uren boven de 25 °C , gelinkt aan energieverbruik voor koeling (airco) is links afgebeeld, rechts het aantal graad-uren onder de 16 °C, gelinkt aan energieverbruik voor verwarming. _____	126
Figuur 119 : Links: Grafische voorstelling van cooling en heating degree days. Bron: http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/temperature , rechts: energie verbruik als functie van de dagelijkse maximum temperatuur in New Orleans (Sailor and Muñoz, 1997). _____	127
Figuur 120 : SVF op 90m resolutie grid (links), gemiddelde SVF per statistische sector in Gent. Merk op dat de schaal dezelfde is. _____	129
Figuur 121 : Berekening fractie verhard oppervlak. _____	130
Figuur 122 : Fractie verhard oppervlak in Gent, links op 250 x 250 m, rechts op het 90 m grid. _____	130
Figuur 123 : Detailbeeld van de fractie verhard oppervlak op 90 x 90 m voor Gent - centrum. _____	131
Figuur 124 : Fractie water in Gent, links op een 250 m x 250 m grid, rechts op een 90 x 90 m grid. _____	132
Figuur 125 : Correlatie plots tussen de gemiddelde CLUHI intensiteit om 00:00 lokale tijd gedurende de maand augustus 2012. Elk punt stelt een 250 x 250 m rooster cel voor binnen de administratieve grenzen van Gent. _____	133
Figuur 126 : Toepassing van het regressiemodel uit bovenstaande Tabel 17 voor de gemodelleerde gemiddelde CLUHI intensiteit gedurende augustus 2012 om 00:00 lokale tijd. De figuur toont op de horizontale as de werkelijk gemodelleerde CLUHI waarden, op de verticale as de waarden die door het regressiemodel worden gereconstrueerd en dit voor alle 250 x 250 m rooster cellen binnen de administratieve grenzen van Gent. _____	134
Figuur 127 : Algoritme voor het downscalen van de CLUHI kaarten op 250m naar 90 m aan de hand van de proxy data met verhard oppervlak, water, fractie vegetatie en SVF. _____	135
Figuur 128 : Ruimtelijke verschillen tussen de toepassing van het regressie modellen uit Tabel 17 en de originele (geïnterpoleerde) kaart op 250 m. _____	136
Figuur 129 : Toepassing van het multiple regressie model uit Tabel 17 op de 90 m proxy data. Links geven we het gemiddelde CLUHI om middernacht gedurende de maand augustus 2012, rechts de kaart van middernacht op 19 augustus 2012, na de warmste dag van 2012. Beide kaarten zijn op dezelfde schaal afgebeeld. _____	137
Figuur 130 : Finale gedownscalede kaarten op 90 x 90 m. Opnieuw links gemiddeld voor augustus en rechts voor 19 augustus om 00:00. _____	138
Figuur 131 : Originele CLUHI resultaten uit het URBCLIM model op 250 x 250 m resolutie. Links het gemiddelde effect voor de maand augustus, rechts, het effect op 19 augustus 2012 om 00:00 LT. _____	138
Figuur 132 : Detail van de gedownscalede kaarten van het gemiddelde CLUHI effect voor de buurt van het Citadelpark. _____	139
Figuur 133 : De wijken van Gent (Bron: AMRP, UGent) _____	141

Figuur 134 : De sky view factor (Bron: Oke, 1982)	142
Figuur 135 : De overeenkomst tussen de Sky View Factor (links, vergelijk met Figuur 120) en het aantal inwoners per km ² per statistische sector voor Gent (rechts)	143
Figuur 136 : Sky View Factor voor stad Gent op 90m grid-resolutie. Idem als Figuur 120.	144
Figuur 137 : De meting van NDVI aan de hand van het nabije infrarood (near infrared) en het zichtbare rood (visible) op een boom tijdens de lente en herfst (Bron: (NASA, 2013)).	145
Figuur 138 : De fractie vegetatie per gridcel van 90m voor Gent. Zichtbaar zijn de haven en het centrum van Gent met zijn dense stadswijken die niet ingekleurd zijn. Hier is dus geen voldoende vegetatie terug te vinden, merkbaar op deze resolutie.	146
Figuur 139 : Links is de fractie vegetatie te zien juist ten noorden van de Gasmeterlaan op 90m resolutie, rechts op dezelfde locatie een luchtfoto (Bron: Google Maps, 2013).	147
Figuur 140 : Beeld op ooghoogte en oblieke luchtfoto van de Wondelgemse Meersen (bron: Google Street View en Bing Maps Birds eye view). Duidelijk is de relatief dichte begroeiing van het gebied.	148
Figuur 141 : In 2006 was er nog een groen gedeelte op dit beeld. Tegenwoordig ligt er hier een verharde parking (rood kader) (Bron: Google Earth, 2013).	149
Figuur 142 : Fractie vegetatie en luchtfoto van het Citadelpark, het zwembad Strop met zijn groene tuin en de waterloop de Muinschelde (Bron: AMRP, UGent; Google Maps, 2013).	149
Figuur 143 : Oblied beeld op het Citadelpark, het Stropzwembad met zijn groene tuin en de bomenrij rondom de Muinschelde (Bron: Bing Maps, 2013).	150
Figuur 144 : Fractie vegetatie en luchtfoto van de Vinderhoutse bossen die de hoogste percentage op grondgebied van Gent zijn.	150
Figuur 145 : Afstand tot het dichtstbijzijnde waterlichaam (Euclidian Distance) in meter op 90m grid-resolutie. Gent kent veel waterlopen waardoor er in het centrum altijd wel relatief dicht een waterlichaam gelegen is. De hoogste concentratie aan waterlichamen is te vinden rondom de Watersportbaan en het recreatiegebied de Blaarmeersen	152
Figuur 146 : De fractie water in Gent uitgedrukt in procent op 90m grid-resolutie. Duidelijk is dat Gent veel waterlopen kent rondom zijn centrum, maar dat deze relatief smal zijn. Ook duidelijk zijn de grotere waterlopen zichtbaar als de Ringvaart, de watersportbaan en de haven in het noorden.	153
Figuur 147 : De fractie verharding op 90m grid-resolutie.	155
Figuur 148 : Percentage asfalt op 90m resolutie voor Gent.	157
Figuur 149 : Percentage beton voor Gent op 90m resolutie.	159
Figuur 150 : Percentage natuursteen in Gent op 90m resolutie	160
Figuur 151 : De waardepunten uitgezet in elke gridcel geknipt op de oppervlakte van stad Gent.	162
Figuur 152 : Verandering R ² van de regressies op de CLUHI kaarten 250m grid-resolutie per uur.	163
Figuur 153 : De absolute verschillen in graden Celsius tussen de voorspelde luchttemperatuurwaarden via het gebruikte regressiemodel en de oorspronkelijk gemodelleerde luchttemperatuurwaarden voor Gent op 250m grid-resolutie. De grotere verschillen (gebieden 2 en 3) werden iets te laag voorspeld.	166
Figuur 154 : De R ² waarden voor de regressies op de SUHI-beelden. De beelden zijn doorheen het jaar, maar niet op absolute datum	168
Figuur 155 : De negatieve gewichten van groen en water op de oppervlaktetemperaturen doorheen het jaar	169
Figuur 156 : Situering van gridcel 10073 met zijde 250m. In deze cel ligt onder andere de Kouter, de faculteit Rechten en de Universitaire Aula.	172
Figuur 157 : Situering van gridcel 499664 met zijde 90m. Deze cel ligt centraal op het Sint-Pietersplein en beslaat ongeveer een derde van het totale plein.	173
Figuur 158 : Luchtfoto en topografische kaart van de Brugse Poort. Ten zuiden is het groene gebied de Nieuwe Wandeling langs de Leie te zien. Ten oosten de Coupure richting Oostende en ten westen het begin van het natuurgebied de Bourgoyen (Bron: Google Maps, 2013; NGI).	176

Figuur 159 : De CLUHI kaart met de gemiddelde luchttemperatuurwaarden van 23:00h tijdens de maand augustus 2012. Duidelijk is dat het meer centrale gelegen gedeelte van de Brugse Poort relatief warmer is dan ten westen en ten zuiden ervan.	176
Figuur 160 : De SUHI kaarten van de Brugse Poort (v.l.n.r.) in mei, in juli en in september. Duidelijk is dat het centrum (gebied 1) steeds de warmste plaats is.	177
Figuur 161 : De variabelen die invloed hebben op de optredende temperaturen in de Brugse Poort .	178
Figuur 162 : De Sky View Factor in de Brugse Poort. Links is de Nieuwe Wandeling te zien met zijn hoogbouw die zorgt voor hoge SVF-waarden. Rechts de smalle straten in de Brugse Poort (Bron: Google Street View).	179
Figuur 163 : De Coupure ter hoogte van de Brugse Poort. Te zien is dat het water begrensd wordt door gras, wegen en een enkele bomenrij. Er is echter ook aan weerszijden een verhard deel aanwezig (Bron: Google Street View).	179
Figuur 164 : De naar omvang grotere binnengebieden in het oostelijk deel van de Brugse Poort. Dit zorgt enerzijds voor hogere SVF, een lagere fractie verharding en door de beplanting binnenin voor een hogere fractie vegetatie (Bron: Google Street View).	180
Figuur 165 : Luchtfoto en topografische kaart van het Citadelpark te Gent..	181
Figuur 166 : De CLUHI-waarden in en rondom het Citadelpark te Gent gemiddeld gezien over de maand Augustus 2012 om 23:00u .	182
Figuur 167 : De verschillende SUHI kaarten doorheen het jaar (v.l.n.r. eind mei, midden juli en eind september) waarop te zien is dat het Citadelpark koeler is.	182
Figuur 168 : De Sky View Factor, de fractie verharding, de fractie vegetatie en de fractie water rondom het Citadelpark te Gent .	183
Figuur 169 : (v.l.n.r.) Zicht op het ICC-gebouw middenin het Citadelpark; zicht op het Citadelpark vanaf de R40; zicht op de Leie met weinig groenoevers waar deze iets verder de R40 kruist (Bron: Google Street View, 2013).	184
Figuur 170 : Luchtfoto en topografische kaart van Ledeberg (bron: Google Maps & NGI).	185
Figuur 171 : De CLUHI waarden op 250m resolutie voor Ledeberg gemiddeld gezien voor de maand augustus 2012 om 23:00h	186
Figuur 172 : De SUHI kaarten van Ledeberg eind mei, midden juli en eind september. Ledeberg (gebied 1) is relatief warmer dan het gebied rondom de Schelde (gebied 2) en het park de Vijvers (gebied 3).	186
Figuur 173 : De Sky View Factor, de fractie verharding, de fractie vegetatie en de fractie water voor Ledeberg en omgeving te Gent .	187
Figuur 174 : (v.l.n.r.) Het dense bebouwingspatroon met smalle straten in Ledeberg centrum; zicht op het park de Vijvers en; zicht op de Schelde waarlangs zeer weinig groen ligt (bron: Google Street View).	188
Figuur 175 : Satellietbeeld en topografische kaart met ten noorden de haven van Gent, met ten oosten het Grootdok en ten westen de Voorhaven, en het stedelijk weefsel rond de Portus Ganda in het zuiden. Midden op de kaart het Handelsdok en het Houtdok (Bron: Google Maps; NGI).	189
Figuur 176 : De CLUHI-waarden voor de omgeving rond de haven van Gent, het Handelsdok en Portus Ganda.	190
Figuur 177 : De SUHI-kaarten (v.l.n.r.) eind meid, midden juli en eind september, voor het gebied rond de haven van Gent (6,7,8,10), het Handelsdok (4) en Portus Gand (3) te Gent.	191
Figuur 178 : De Sky View Factor, de fractie verharding, de fractie vegetatie en de fractie water voor de omgeving van de haven van Gent, het Handelsdok en Portus Ganda .	192
Figuur 179 : Bovenaan v.l.n.r.: Zicht op het Grootdok vanaf het Zuiddok waar het water relatief breed is en er grote verharde oppervlaktes zijn; zicht op het Houtdok die wel grasperken en enkele boomrijke zones langs het dok heeft; zicht op de Voorhaven waar het water minder breed is. Onderaan v.l.n.r.: zicht op de braakliggende terreinen langs het Handelsdok, opgelet	

de terreinen zien er op de foto groen uit, maar zijn in feite verharde braakliggende terreinen; zicht op Portus Ganda vanaf de Van Eyckbrug; zicht op Portus Ganda vanaf de Sint-Jorisbrug (Bron: Google Street View)	194
Figuur 180 : Luchtfoto en topografische kaart van de terreinen van ArcelorMittal ten noorden van Gent.	195
Figuur 181 : De verschillende Cluhi-waarden om 23:00u gemiddeld gezien voor de maand augustus 2012 op 250m grid-resolutie.	195
Figuur 182 : De SUHI-kaarten (v.l.n.r.) eind meid, midden juli en eind september, voor de terreinen van ArcelorMittal te Gent .	196
Figuur 183 : De Sky View Factor, de fractie verharding, de fractie vegetatie en de fractie water voor de terreinen van ArcelorMittal te Gent.	197
Figuur 184 : Overzicht wijken Gent.	202
Figuur 185 : Keuze wijken Gent.	209
Figuur 186 : Algemene matrix Saaty-weging	210
Figuur 187 : Beeld en situering binnenstad	212
Figuur 188 : Situering en beeld Dampoort	216
Figuur 189 : Situering en beeld Muide-Meulestede-Afrikalaan	220
Figuur 190 : Situering en beeld 't Sluizeken-Tolhuis-Ham	223
Figuur 191 : Situering en beeld Ledeberg	226
Figuur 192 : De symbolen geven de gemiddelde intensiteit (en standaardafwijking) van het UHI effect in Parijs op de luchttemperatuur telkens om 22:00 UT gedurende mei - september 2003. De waarden zijn weergegeven in intervallen van 2°C van de gemiddelde luchttemperatuur. Bron: VITO – Urban Heat Islands project (ESA-DUE).	235
Figuur 193 : Dynamische landgebruiksmodellering voor Gent : basis jaar anno 2010 (links), rechts : business as usual scenario 2030.	238
Figuur 194 : De terreinen aan de E40 ter hoogte van Zwijnaarde, die in de huidige (2010) landgebruikskaart staan ingekleurd als “other” en waarvan het ruimtelijk dynamisch model verwacht dat ze in 2030 zullen ingenomen worden door hoofdzakelijk lichte en zware industrie gecombineerd met groothandel.	239
Figuur 195 : In Drongen zien we dat het ruimtelijk dynamisch model verwacht dat er tussen de Treinstraat en de Antoon Catriestraat een stuk weiland zal verder ingenomen worden voor verdere verkaveling (residentieel gebied), gecombineerd met enkele kleine commerciële activiteiten.	239
Figuur 196 : Ook nabij het centrum van Oostakker merken we verdere verdichting op door de uitbreiding van het residentieel gebied.	240
Figuur 197 : Tenslotte zien we ook een toename van de groothandelsactiviteiten rond de Loop. Een evolutie die reeds enkele jaren bezig is met de komst van bvb de IKEA in Gent.	240
Figuur 198 : Origineel landgebruik, gebruikt in de modellering met URBCLIM zoals hoger beschreven.	242
Figuur 199 : Landgebruikskaarten in de LAICa klassen afgeleid op basis van de landgebruiksprojecties van (Engelen et al., 2011). Links: situatie in 2010, rechts : verwachte situatie in 2030 volgens business as usual scenario.	242
Figuur 200 : Karakteristieke vegetatie fractie als functie van de 12 maanden van het jaar voor de 12 URBCLIM landgebruiksklassen.	243
Figuur 201 : Vergelijking van de originele vegetatie fractie (boven) zoals gebruikt in het URBCLIM model voor de modellering in HOOFDSTUK 4 (gebaseerd op MODIS satelliet data) en (onder) de gereconstrueerde vegetatie fractie per URBCLIM landgebruiksklasse op basis van de profielen van Figuur 200. De schaal is voor beide figuren identiek en gaat van 0 (donkerblauw) naar 1 (rood).	244
Figuur 202 : Verschil in gemiddelde CLUHI intensiteit voor de maanden Juli-Augustus (meteo 2012) voor het BAU landgebruiks scenario in 2030 ten opzichte van het landgebruik in 2012.	245

Figuur 203 : Google-earth overlay van de bovenstaande figuur. _____	246
Figuur 204 : Aggregatie van het verschil in gemiddelde UHI intensiteit om 23:00 's nachts (Juli/Augustus, meteo 2012) tussen het huidige landgebruik in Gent en het BAU scenario 2030. Links tonen we het maximale verschil (in een van de 250x250m model roosterzellen) per statistische sector, rechts het gemiddelde. _____	247
Figuur 205 : Groeiprognozes voor Gent : links het verwachte aantal extra sociale huurwoningen in 2025, rechts het verwachte aantal extra private wooneenheden. _____	248
Figuur 206 : Verschil van het gemiddelde UHI effect om 23:00 gedurende de periode Juni-September voor Gent. Links tonen we enkel het verschil in het UHI effect als gevolg van de meteo van 2003. Rechts tonen we de gecombineerde impact van de meteo van 2003 en het landgebruik in het BAU scenario voor 2030. _____	249
Figuur 207 : Vergelijking van het gemiddelde uurlijkse UHI effect tussen de basis run en de scenario run (landgebruik 2030, meteo 2003). _____	250
Figuur 208 : Vergelijking tussen de P99 van de UHI intensiteit (links) voor het basis scenario en rechts de P99 intensiteit voor het toekomst scenario. _____	251
Figuur 209 : Vergelijking tussen het aantal dagen met een nachtelijke minimum temperatuur boven de 18 °C voor het basis scenario links en het toekomst scenario rechts. _____	251
Figuur 210 : Stapjes patroon bij inzoomen op de luchttemperatuurs metingen met eindige resolutie. _____	280
Figuur 211 : Illustratie van het probleem bij naïeve berekening van de afgeleide van de temperatuursmeting. Door de eindige resolutie en de hoge sampling rate zijn nogal wat waarden in de afgeleide gelijk aan 0 of gelijk aan de resolutie van de meting. _____	280
Figuur 212 : Gesmoothe tijdsreeks waarvan de de tijdsafgeleide voor de response correctie is berekend. Rechts is een uitvergroting te zien van dezelfde metingen. _____	281
Figuur 213 : Vergelijking tussen dT/dt berekend rechstreeks op de ruwe data (zwarte lijn) of na smoothing (rode lijn) _____	282
Figuur 214 : Illustratie van wit geschilderde huisjes in een typisch mediterrane setting. _____	290
Figuur 215 : Samenvatting van het empirisch bewijs van het verschil in luchttemperatuur tussen een park en een stedelijke omgeving tijdens de dag. _____	292
Figuur 216 : Illustratie inrichting van een groene zone en maximalisatie van het effect door het bevorderen van de ventilatie vanaf het park. _____	293
Figuur 217 : Effect van vegetatie in streetcanyons : verhoging van de elementaire koolstof (de meest schadelijke component van fijn stof) concentraties door een reductie van de windsnelheid en hindering van ventilatie. _____	294
Figuur 218 : Schets van een waterpartij op een binnenkoer gesimuleerd in een Computation Fluid Dynamics (CFD) model voor een heel hete dag voor een case studie in Rotterdam. Bron: Y. Toparlar, TU/Eindhoven. _____	294
Figuur 219 : Enkele fotos van de meetopstelling uit Wong & Chong (2010). _____	295
Figuur 220 : Effect van enkel extensieve maatregelen door gerekend in het kader van een klimaatsadaptatie studie voor Parijs. Bron: Masson et al, 2012. Bovenaan zien we het effect op de luchttemperatuur overdag (links) en 's nachts (rechts) van het aanbrengen van reflectieve coatings op daken, muren en straten. Onderaan ,eveneens links voor overdag en rechts voor 's nachts het effect op de luchttemperatuur van enkele vergroenende en "verblauwende" landschap ingrepen zoals het inplanten van 1400 km ² bosgebied en 300 km ² wateroppervlak rond Parijs. _____	296

LIJST VAN AFKORTINGEN

LST	Land Surface Temperature (oppervlakte temperatuur)
RH	Relative Humidity (relatieve vochtigheid)
SVF	Sky View Factor (zichtbare fractie van de hemel vanaf de grond)
SVF _v	Idem, maar rekening houdende ook met de vegetatie
EOS	Earth Observing System
EM	Elektro - magnetisch
IR	Infra rood, deel van het EM met golflengte tussen 780 nm en 1 mm
TIR	Thermisch InfraRood, deel van het IR spectrum tussen 8 en 14 µm
TM	Thematic Mapper (instrument aan boord Landsat 5)
ETM+	Enhanced Thematic Mapper (instrument aan boord Landsat 7)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PAR	Photosynthetically Active Radiation
LAICA	Land Atmosphere Interaction Calculation (bodemmodel voor URBCLIM)
URBCLIM	Naam voor het VITO Urban Climate model, gebruikt voor de berekening van stedelijke luchttemperatuur
MRT	Mean Radiant Temperature
UTCI	Universal Thermal Climate Index
SHE	Stedelijk-Hitte-Eiland (eng: UHI : urban heat island)
CLUHI	Canopy Layer Urban Heat Island (lucht temperatuur hitte eiland)
SUHI	Surface Urban Heat Island (oppervlakte temperatuur hitte eiland)
RMSE	Root Mean Square Error (gemiddeld kwadratisch verschil tussen model en observatie)
BIAS	BIAS (gemiddeld verschil tussen model en observatie)
R ²	Verklaarde variantie, ook wel als correlatie coefficient genoemd, geeft aan in welke mate model en observatie samen variëren (kan zowel in de tijd als ruimtelijk zijn).
p-waarde	Statistische indicator die typisch bij regressie analyses wordt aangegeven. In hoofdzaak geeft de p waarde de kans dat de gevonden relatie op toeval berust. I.e. lage p-waarden (typisch < 0.05) geven aan dat een gevonden regressie relatie statistisch significant is.
P95 / percentiel	De 95 ^{ste} percentiel waarde van een getallenreeks is die waarde uit de reeks waarvoor slechts 5% van de waarden hoger zijn. M.a.w. het P95 van een UHI tijdsreeks geeft aan dat slechts 5% van de UHI intensiteiten hoger zijn dan de gegeven waarde.

LIJST VAN SYMBOLEN

k_B	Constante van Boltzmann (= $1.3806488 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$)
λ	Golflengte [m]
T	Temperatuur boven het absolute nulpunt [K], temperatuur in °C : $T - 273.15$
h	Constante van Planck (= $6.62606957 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)
C	Lichtsnelheid (= $2.99792458 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)
ε_λ	Spectrale emissiviteit [-]
b	Constante van Wien (= $2.89777 \times 10^3 \text{ K.m}$)
ψ_{sky}	Sky view factor [-]

HOOFDSTUK 1. INLEIDING

1.1. INLEIDENDE BEGRIPPEN EN DOEL VAN DE STUDIE

Het is een gekend fenomeen dat de stedelijke omgeving een andere temperatuursdynamiek kent t.o.v. de omliggende landelijke gebieden. Het zogenaamde stedelijk warmte eiland effect (SHE) (Eng: Urban Heat Island of UHI) zorgt ervoor dat de luchttemperatuur in steden over het algemeen hoger is dan op het platteland. Dit effect is het sterkst uitgesproken 's avonds en 's nachts, typisch ~22:00 lokale tijd als maximum, terwijl het overdag veel geringer is of zelfs negatief. De belangrijkste oorzaken hiervan zijn (Oke, 1991) :

- De **thermische eigenschappen** van de **bouw materialen** gebruikt in stedelijke omgeving zorgen ervoor dat er meer warmte wordt opgeslagen. Materialen met een hoge warmte capaciteit (zoals beton) warmen weliswaar trager op, maar zorgen er ook voor dat er meer én langer warmte wordt afgegeven aan de atmosfeer. Stedelijke oppervlakken weerkaatsen verder ook effectief minder zonlicht in vergelijking met de landelijke omgeving.
- Steden kennen een sterke **reductie** van **natuurlijke oppervlakken (minder vegetatie, meer verharding)**: boven natuurlijke oppervlakken met een niet gering percentage aan bodemvocht zal een deel van de beschikbare warmte gebruikt worden voor de verdamping van water i.p.v. de opwarming van de atmosfeer.
- Door de **geometrie van steden**, met soms hele diepe street canyons⁹, kan het stedelijk oppervlak minder snel warmte verliezen door uitstraling. Onder heldere (wolkenloze) atmosferische condities is het zo dat in open ruraal gebied deze uitstraling heel sterk is, waardoor het 's nachts aan de grond sterk kan afkoelen.
- Vervolgens dragen ook de mensen en menselijke activiteiten bij tot het warmte-eiland effect. Deze **antropogene warmte** is naast het menselijk metabolisme ondermeer afkomstig van air conditioning installaties, warme uitlaatgassen van voertuigen en industriële installaties.

Het SHE kan zich voordoen in kleine steden, maar het effect neemt toe wanneer de omvang van het bebouwde gebied toeneemt (Oke, 1982). Verschillende studies toonden aan dat dit effect zich ook voordoet in Europese steden (Kolokotroni & Giridharan, 2008). Een stad wordt gekenmerkt door heterogene stadslandschappen (Arnfield, 2003; Oke, 1982). Het is dit specifieke ruimtelijke stadspatroon dat verschillende microklimaten creëert en bijgevolg leidt tot intra-stedelijke temperatuurverschillen (Buyantuyev & Wu, 2010; Oke, 1982).

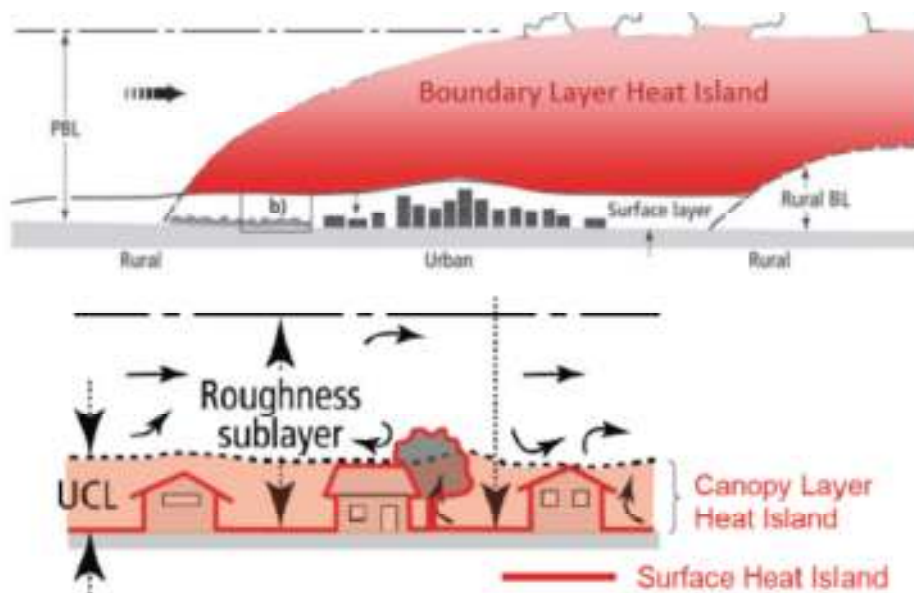
Het stedelijk hitte-eiland effect vindt plaats op drie niveaus (Figuur 1, zie ook verder in Tabel 8). Dit zijn :

- het **Surface Urban Heat Island** (SUHI, of oppervlaktetemperatuur SHE), met name de oppervlaktetemperatuur. Dit effect is direct gerelateerd aan de opwarming van de

⁹ Hiermee bedoelen we straten die typisch aan 2 kanten geflankeerd zijn door een aaneengesloten gebouwenrij.

materialen in de stad door de zon en is meest intens gedurende de dag. Afhankelijk van de warmtecapaciteit en thermische geleidbaarheid van de individuele gebruikte materialen in de stedelijke omgeving (beton, asfalt, roofing etc...) kunnen materiaaloppervlakken 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.

- het **Canopy Layer Urban Heat Island** (CLUHI of luchttemperatuur SHE), betreft het verschil in luchttemperatuur tussen de stad en het platteland nabij het oppervlak (typisch 2m hoogte – lucht temperatuur) en is bepalend voor het thermisch comfort van de bevolking. Dit effect kent de grootste intensiteit 's avonds en 's nachts, en is klein of zelfs negatief overdag. Hoewel de opwarming van de materialen, en dus het SUHI ondermeer aan de basis liggen 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. Hoewel lucht- en oppervlaktetemperatuur SHE gerelateerd zijn, kan tussen beide geen éénduidige relatie gelegd worden (Arnfield, 2003).
- het **Boundary Layer Urban Heat Island** (BLUHI), wat de temperatuur is in de hogere luchtlagen (Voogt & Oke, 2003). Dit effect ligt aan de basis van de zogeheten “urban plume”, waarbij weersystemen windafwaarts van een stad kunnen beïnvloed worden met bijvoorbeeld meer neerslag tot gevolg (Baik et al, 2001; Hoffmann et al, 2009; Mote et al, 2007). Dit effect wordt niet beschouwd in deze studie.



Figuur 1: De verschillende UHI types (Voogt & Oke, 2003)

Het Gentse lokaal klimaatplan 2008-2020 bevat 105 acties voor een klimaat neutrale stad. De focus van dit plan ligt bij klimaatmitigatie of het tegengaan van de klimaatverandering. Alle maatregelen zijn daartoe gericht op CO₂-reductie. Een deel van de gevolgen van de klimaatverandering zijn echter nu al onafwendbaar. De huidige concentratie broeikasgassen in de atmosfeer leidt de komende decennia tot een geschatte wereldgemiddelde temperatuurstijging van bijna 2 °C. Modelmatige inschatting variëren van 1.8 °C toename in 2090-2099 t.o.v. 1980-1999 tot zelfs 4.0°C

(IPCC, 2007) voor bepaalde broeikasgas emissie scenario's. Klimaatonderzoekers verwachten ook dat het aantal hittegolven en zeer warme dagen nog verder toeneemt.

Op de MIRA-website van VMM¹⁰ werden eind 2012 verschillende klimaatindicatoren geactualiseerd met de nieuwe data en de resultaten van een uitgebreide statistische analyse. Nieuw sinds 2012 is dat ook de data voor extreme weersfenomenen zijn meegenomen (extreme neerslag, extreme droogte, hittegolven).

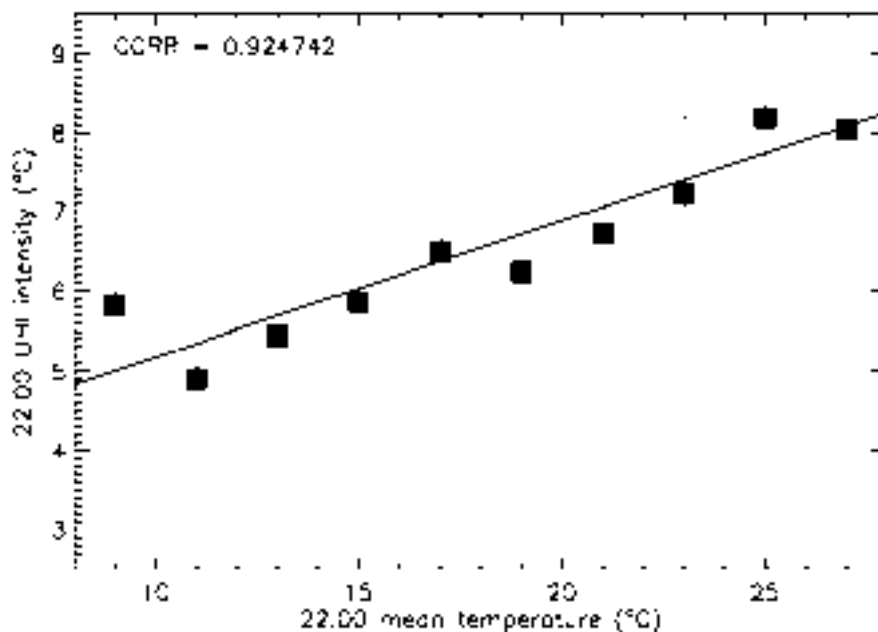
Een greep uit de indicatoren:

- Het is in ons land **al gemiddeld 2,3°C warmer** dan in de pre-industriële periode. De temperatuurstijging bedraagt 0,4 °C per decennium. De temperatuur stijgt het meest in de lente. 2011 is het warmste jaar sinds de metingen startten in 1833 en ten opzichte van 1850 steeg de temperatuur wereldwijd gemiddelde met 0,8 °C en in Europa met 1,3 °C. België warmt dus sneller op dan andere landen.
- Buiten een sterk gestegen gemiddelde temperatuur is ook het aantal hittegolven aan een sterke opmars bezig. Tijdens de twintigste eeuw kregen we gemiddeld één hittegolf om de twee jaar te verwerken. Sinds de jaren negentig is dit verdubbeld tot één hittegolf per jaar. Hittegolven duren langer en leiden ook bij ons tot extra sterfgevallen in de zomermaanden.
- Per decennium komen er drie zomerdagen (> 25 °C) bij en per twee decennia komt er een hittedag (> 30 °C) bij.

Uit een preliminaire analyse van de resultaten van het ESA Urban Heat Island project¹¹, waarin lange historische tijdreeksen van stedelijke luchttemperatuur door VITO zijn doorgerekend aan de hand van satelliet observaties van de oppervlaktetemperatuur (LST of Land Surface Temperature), blijkt verder dat de intensiteit van het hitte-eiland effect toeneemt bij hogere temperaturen, m.a.w. hoe warmer, hoe intenser het SHE (zie Figuur 2).

¹⁰ <http://www.milieurapport.be/nl/nieuws/archiefnieuwsberichten/duidelijke-tekenen-van-klimaatverandering/>

¹¹ <http://www.urbanheatland.info>



Figuur 2 : De symbolen geven de gemiddelde intensiteit (en standaardafwijking) van het UHI effect in Parijs op de luchttemperatuur telkens om 22:00 UT gedurende mei - september 2003. De waarden zijn weergegeven in intervallen van 2°C van de gemiddelde luchttemperatuur.

Blootstelling aan deze (extreme) hitte is een bedreiging voor de menselijke gezondheid en in het algemeen voor het menselijke welzijn (Patz, Campbell-Lendrum, Holloway, & Foley, 2005). De gezondheidseffecten van hittestress zijn goed gekend (Basu and Samet, 2002). Chicago onderging in 1995 een hittegolf die resulteerde in meer dan 600 extra overlijdens en 3300 extra spoedopnames (Dematte et al., 1998). Tijdens de week van de hittegolf noteerden (Semenza et al., 1999) een toename van 11% in ziekenhuis opnames. Tijdens en net na de hittegolf in Europa van 2003 werden zoveel als 22080 extra overlijdens genoteerd in Engeland, Wales, Frankrijk, Italië en Portugal (Kostasky, 2005). En meer recent stelde men vast dat de dagelijkse mortaliteit in Moskou verdubbeld was tijdens de hittegolf en smog episode in 2010 (Ferris-Rotman, 2010)¹². Voor België¹³ noteren we 1226 (zomer 1994), 2052 (ganse zomer 2003), 1263 (2006) en 967 in 2010 (eind juni-juli) extra overlijdens toe te schrijven aan hittegolven, met telkens 40 – 50 % van de slachtoffers > 85 jaar.

Het is zo dat ook tijdens niet-extreme hitte golven de effecten op het sterftcijfer onmiskenbaar zijn (D'Ippoliti, 2010). De relatie tussen een bepaalde stijging in temperatuur en de daaruit volgende stijging in menselijk onbehagen en stijging in sterfte, is sterker in meer noordelijkere gematigde klimaatgebieden, zoals België, dan in zuiderse warmere klimaatgebieden (Kalkstein & Greene, 1997). In deze noordelijke gebieden zijn daarenboven vooral de stedelijke regio's gevoelig voor een stijging in temperatuur.

Deze opdracht beoogt de kennis over het stedelijk hitte-eiland effect in Gent te verhogen door

1. het voorkomen (geografische verspreiding) en de ernst van het hitte-eiland effect op Gents grondgebied in kaart te brengen;

¹² Available on : <http://www.reuters.com/article/2010/08/09/us-russia-heat-idUSTRE6751T820100809>

¹³ MIRA – Johan Brouwers (VMM)

2. de evolutie van het stedelijk hitte-eiland effect onder invloed van de verdere verstedelijking en klimaatverandering in kaart te brengen (toekomstscenario's m.b.t. klimaatverandering en socio-economische trends)
3. inzicht te verwerven in de oorzaken van de huidige probleemlocaties;
4. mogelijkheden te leren kennen om bestaande probleemlocaties te remediëren en om nieuwe hitte-eilanden te voorkomen

Op die manier vormt dit onderzoek een beleidsinstrument, met beleids- en ontwerpsuggesties om bij te dragen aan de realisatie van een leefbaar stedelijk klimaat in Gent.

1.2. OPBOUW VAN DE STUDIE

Het vervolg van dit document reflecteert hoe de studie is opgebouwd :

- In HOOFDSTUK 2 beschrijven we een experimentele meetcampagne van de stedelijke luchttemperaturen en het luchttemperatuur SHE (CLUHI) effect. Het betreft hier zowel een meetcampagne met vaste sensoren als mobiele transect-metingen uitgevoerd op een warme zomernacht in 2012.
- HOOFDSTUK 3 brengt vervolgens het SUHI effect in Gent in kaart aan de hand van satelliet beelden, waarna
- HOOFDSTUK 4 een ruimtelijk expliciete modelstudie bevat van het CLUHI effect aan de hand van het UrbClim model (De Ridder et al, 2013). De meetgegevens uit HOOFDSTUK 2 worden hier gebruikt ter validatie van deze modelstudie.

Deze bovenstaande hoofdstukken brengen met andere woorden het stedelijk hitte-eiland effect (zowel CLUHI als SUHI) in Gent in kaart. In een tweede deel van deze studie opdracht zullen we dieper ingaan op de oorzaken en de kwetsbaarheid van de bevolking voor deze effecten :

- In HOOFDSTUK 5 brengen we een aantal ruimtelijk expliciete data lagen (GIS-lagen) in verband met de SUHI en CLUHI resultaten uit hoofdstukken 3 en 4. Zodoende kunnen we vaststellen welke ruimtelijke parameters aan de basis liggen van het SUHI en CLUHI effect in Gent
- HOOFDSTUK 6 verkent daarnaast wat de kwetsbaarheid is van de stedelijke omgeving voor het CLUHI en het SUHI effect en
- HOOFDSTUK 7 neemt een kijkje in de toekomst naar de verwachte evolutie van het stedelijk hitte eiland effect (CLUHI) onder het veranderde klimaat en rekening houdend met de expansie van de stad en het veranderende landgebruik.

Tenslotte worden in HOOFDSTUK 8 enkele samenvattende conclusies met bijhorende beleidsaanbevelingen geformuleerd. In deze beleidsaanbevelingen zijn enkele resultaten van een stakeholder brainstorm opgenomen die plaatsvond op 28/05/2013.

Zoals hoger reeds is aangegeven bevatten de volgende hoofdstukken een uitgebreide beschrijving van de uitgevoerde analyses. Een uitgebreide samenvatting is aan het begin van dit document opgenomen.

HOOFDSTUK 2. MEETCAMPAGNE

Bino Maiheu, VITO

In dit hoofdstuk beschrijven we de uitvoering en de resultaten van de experimentele meetcampagne gedurende de zomer van 2012. Op een aantal plaatsen in en om Gent werden door VITO vaste luchttemperatuur en vochtigheidssensoren uitgezet. Deze vaste metingen werden aangevuld met gegevens afkomstig van hobby meteorologen, UGent en het KMI. We beschrijven in een eerste onderdeel de installatie, verwerking en resultaten hiervan. In een tweede subsectie beschrijven we de resultaten van een mobiele meetcampagne, uitgevoerd door VITO gedurende een minihittegolf halfweg augustus 2012.

2.1. VASTE SENSOREN

2.1.1. BESCHRIJVING SENSOREN EN INSTALLATIE

Gezien de krappe timing bij de aanvang van het project werd ervoor gekozen om gebruik te maken van eenvoudige temperatuur en vochtigheidssensoren met interne logging faciliteiten. De keuze hiervoor viel op de Onset HOBO U23-002 Pro v2 Externe temperatuur/relatieve vochtigheid data logger¹⁴. Deze loggers hebben een externe voeler met een temperatuur en vochtigheidssensor en kunnen geprogrammeerd worden om met een gebruikersgedefinieerd tijdsinterval te loggen. De specsheets claimen een nauwkeurigheid van +/- 0.21 °C van 0 tot 50 °C en een resolutie van 0.02 °C bij 25 °C. De nauwkeurigheid van de RH sensor wordt in de specsheets gegeven als +/- 2.5 % in het bereik van 10 tot 90 % RH met een resolutie van 0.03 %. De response tijd bedraagt 5 minuten in een luchtstroom van 1 m/s. De lange termijn drift wordt als lager dan 0.1°C per jaar ingeschat voor de temperatuursmeting en kleiner dan 1 % voor de relatieve vochtigheid.

¹⁴ <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u23-002>



Figuur 3 : Links: afbeelding van de gebruikte Onset HOBO U23-002 Pro v2, rechts: afbeelding van de actief geventileerde stralingshut van het type : Youngs 43502 aspirated radiation shield.

Gezien de HOBO logger over geen vorm van zonnestralingsbescherming beschikt, werden de voelers in een actief geventileerd stralingsschild van Young's gemonteerd. Deze actieve stralingsschilden zuigen lucht aan over de sensor met een snelheid van 5 – 11 m/s. Het temperatuursverschil met de omgevingsluchttemperatuur binnen in de behuizing bedraagt minder dan 0.2 °C bij maximale bezonning (~1000 W/m²), met een reproduceerbaarheid t.o.v. andere schilden die gelijkaardig zijn blootgesteld van kleiner dan 0.05 °C . Dit maakt deze stralingshutten perfect voor het gebruik in stedelijke omgeving.

De installatie van de sensoren in Gent gebeurde in 2 fasen. In een eerste fase werden de sensoren uitgezet op 3 lokaties in Gent. Deze lokaties zijn onder in de tabel aangegeven :

<i>Sensor</i>	<i>S/N</i>	<i>Lokatie</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Periode (UT+2h)</i>
HOBO01	10171144	UGent Plantentuin	51° 2' 08.37"N	3° 43' 20.85"O	19/07/2012 ~14:00 → ...
HOBO02	10171145	UGent AMRP Vrijdagmarkt	51° 3' 28.70"N	3° 43' 30.45"O	19/07/2012 ~17:30 → ...
HOBO03	10171143	Ledeberg, Edmond Van Hoorebekestraat	51° 2' 12.08"N	3° 44' 48.42"O	20/07/2012 ~10:00 → 09/08/2012 ~12:00
HOBO03	10171143	UGent Proefhoeve Agrivet, Melle	50° 58' 46.58"N	3°49'2.22"O	10/08/2012 ~15:00 → ...

Tabel 1 : Installatie lokaties van de sensoren. De lat/lon lokaties zijn aangegeven in graden, minuten en seconden t.o.v. de WGS84 ellipsoïde. Sensor HOB003 is op 09-10/08/2012 van Ledeberg naar de proefhoeve in Gontrode bij Melle verplaatst.



Figuur 4 : Afbeelding van de lokatie van de 3 uitgezette sensoren in en om Gent.

In Figuur 5 is een foto van de opstelling in de plantentuin opgenomen samen met Google Earth kaart van de inplanting in de omgeving. De sensor staat opgesteld op 2 m hoogte in een kleine open plek in de Plantentuin op een afstand van minstens 50 m van de dichtstbijzijnde gebouwen. De lokatie is omringd door een aantal bomen en lage struiken/planten. Aan noordelijke kant bevindt zich op 35-40 m een kleine vijver. Het grotere Citadelpark is ten noordwesten van de Plantentuin gelegen. Aan oostelijk kant zijn over een afstand van 80 m een aantal kweekperkjies aangelegd, waarachter de bebouwing zich bevindt. Ten zuid-zuidwesten bevinden zich een aantal grote serres op een afstand van 60-70 m. Deze meetsite kunnen we als representatief voor een klein stadspark bestempelen.



Figuur 5 : Links: Foto van de vaste sensor in de UGent Plantentuin, Rechts : foto van de inplanting in de omgeving.

De logger in het centrum van de stad is achteraan de kantoren van AMRP-UGent opgehangen. Deze meetplaats is representatief voor de binnenstedelijke omgeving van Gent. De lokatie is langs alle kanten omgeven door gebouwen. Ten noordwesten van de meetlokatie is een binnenstedelijke waterweg aanwezig. De Vrijdagmarkt ligt ongeveer op een 100 tal m ten zuiden van de meet lokatie.



Figuur 6 : Installatie van de vaste sensor achteraan de gebouwen van de AMRP van de UGent. Rechts is een bovenaanzicht van de omgeving opgenomen.

Er is een constructie gemaakt waarbij een 3 m lange staaf op een houten plaat is gemonteerd zodoende dat de sensor zich op toch minstens 2 m van de muur bevindt. Dit is afgebeeld in Figuur 7 hieronder. Op dezelfde figuur is verder ook een ventilatie luik zichtbaar. Dit is een inlet voor de ventilatie in het gebouw, en heeft dus geen verstorende invloed op de metingen. Ook de parkeerplaats onder de sensor mag niet gebruikt worden, waardoor normaal gezien ook geen verstorende invloed van eventueel warme geparkeerde auto's kan optreden. De sensor hangt op een 4-tal meter boven het grondniveau.



Figuur 7 : Enkele detail foto's van de installatie van de logger achteraan de AMRP-UGent gebouwen.

De derde sensor is eerst gedurende een korte periode (cfr. Tabel 1) opgehangen in een achtertuin te Ledeberg in de Edmond van Hoorebekestraat nr. 62, bij Philippe Smet. Die achtertuin locatie is volledig ingesloten door gebouwen zoals op onderstaande Figuur 8 zichtbaar is, maar op zich is relatief veel groen aanwezig in de beschouwde achtertuin, zoals op de detailfoto in Figuur 9 te zien is.



Figuur 8 : Foto van de installatie van de sensor in een achtertuin in Ledeberg.



Figuur 9 : Overzicht van de meetlokatie in een typische achtertuin lokatie aan de E. Van Hoorebeke straat in Ledeberg.

Het is wel zo dat de sensor relatief dicht bij de achterliggende muur opgesteld staat, op relatief bescheiden hoogte, wat toch voor enige verstoring kan zorgen. Op 10 augustus 2012 werd deze sensor dan uiteindelijk verplaatst naar de UGent proefhoeve Agrivet te Melle¹⁵ om als echte rurale referentie meting te dienen. Deze lokatie is afgebeeld op Figuur 10 hieronder.

¹⁵ Contactpersonen : Lydia Bommelé (lydia.bommele@ugent.be) en Mathias Cougnon (mathias.cougnon@ugent.be).



Figuur 10 : Lokatie van de rurale referentie meetpost op de proefhoeve te Melle. Rechts is een bovenaanzicht van de onmiddellijke omgeving afgebeeld. Op de figuur links is links van de windmolen de KMI meteomast te zien.

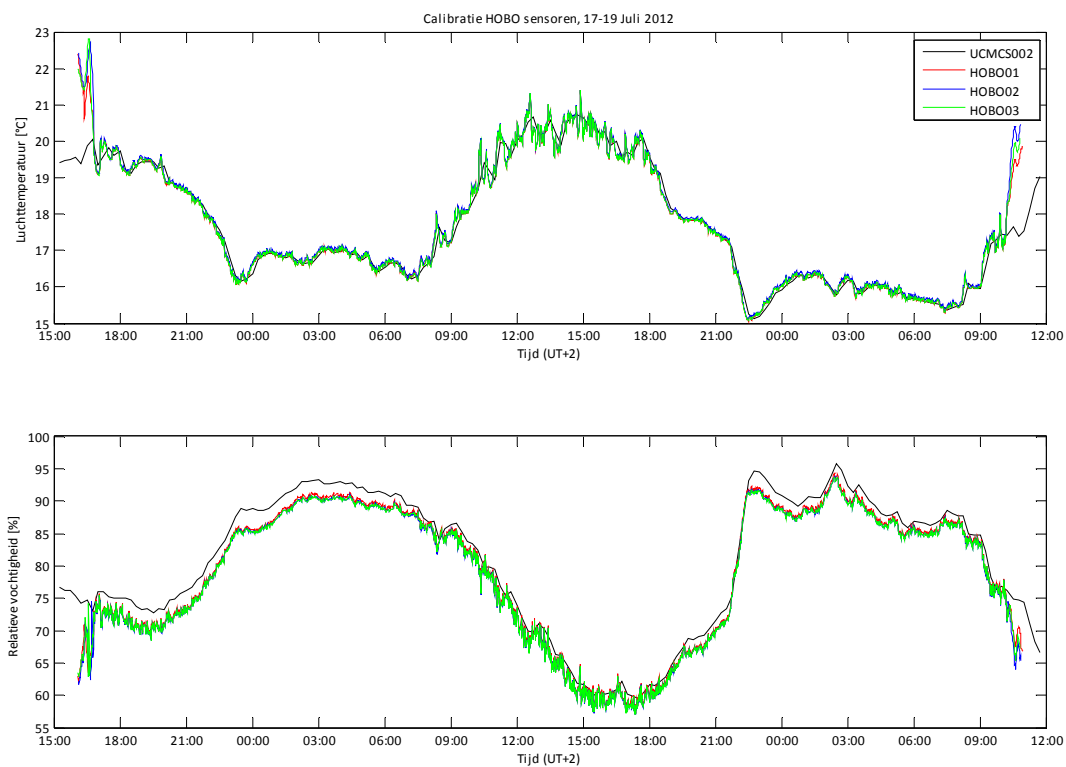
De sensor is opgehangen op een 40-tal meter van de gebouwen verwijderd, wat op zich niet zo heel ver is, maar staat wel in open weiland opgesteld langs een kleine aarden weg. Iets verder op de weg bevindt zich de KMI meteomast, waarvan we de gegevens dan ook aankochten in het kader van dit project. De afstand tussen beiden bedraagt 110 m. Door de sensor in de directe nabijheid van deze KMI mast op te stellen kunnen we de KMI gegevens ook gebruiken als rurale referentie voor de periode waar de 3^e sensor in Ledeberg was opgehangen. Het is sowieso ook interessant de vergelijking te maken met de KMI metingen.

2.1.2. CALIBRATIE

De HOBO sensoren werden, gezien het strikte tijds kader bij het begin van het project, geselecteerd voor hun gebruiksgemak. Het is echter zo dat de temperatuursmeting op zich iets minder nauwkeurig is dan die van professionele sensoren. Wanneer we temperatuursverschillen willen meten in de stedelijk omgeving, dan kunnen we ons uiteraard geen fout van een halve graad veroorloven op de meting zelf. Dus, om een inschatting van die nauwkeurigheid te kunnen maken hebben we de sensoren gedurende de periode 17/07/2012 tot 19/07/2012 opgehangen bij het VITO urban climate station UCMCS002 te Vremde. Een afbeelding van de opstelling is hieronder opgenomen in Figuur 11.



Figuur 11 : Afbeelding van de calibratie opstelling voor de 3 HOBO sensoren die we in Gent hebben uitgezet. De sensoren bevinden zich in een identiek actief geventileerd stralingschild als de PT1000 sensor van het Campbell meteostation op de achtergrond.

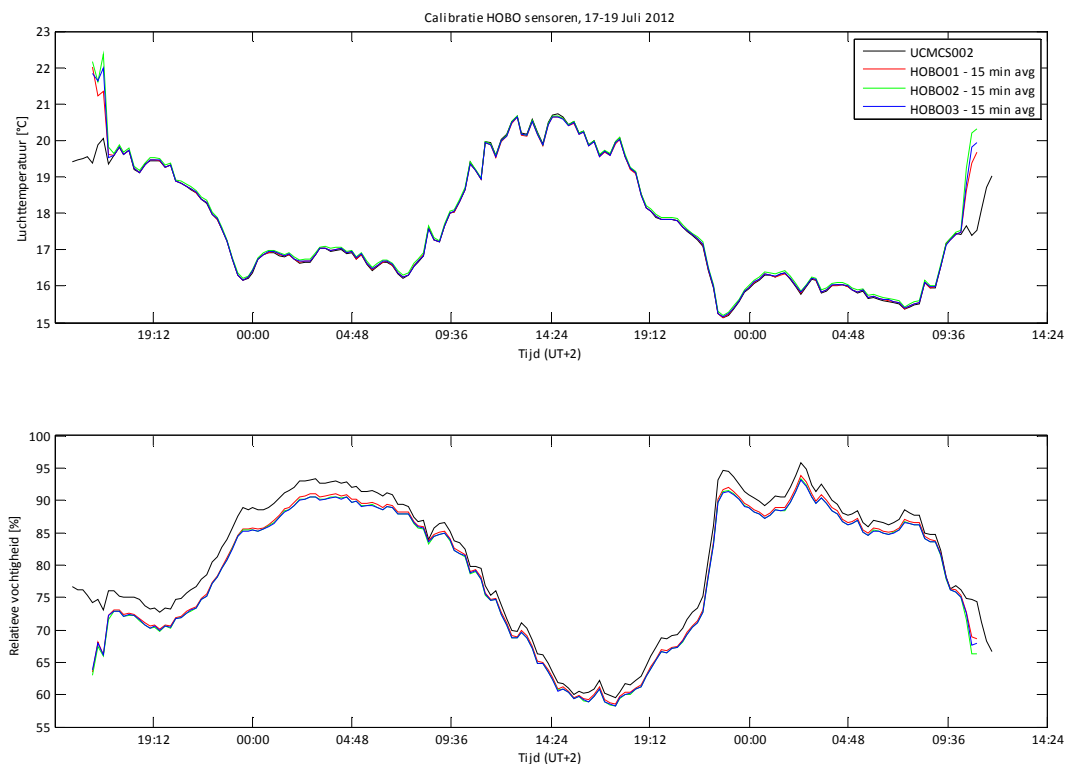


Figuur 12 : Tijdsreeksen van de calibratie van de HOBO sensoren t.o.v. de geaspireerde luchttemperatuurmetingen van het VITO Urban Climate station UCMCS002 te Vremde. Bovenaan is de luchttemperatuur afgebeeld gedurende de periode 17/07/2012 ~16:00 tot 19/07/2012 ~11:00, onderaan de relatieve vochtigheid.

We merken dat de temperatuur relatief goed overeenkomt (statistische analyse volgt later), bij de relatieve vochtigheid merken we toch enige afwijkingen. Het is echter zo dat bij het UCMCS002

station, de relatieve vochtigheidsmeting zich niet in een actief geventileerd stralingsschild bevindt, waardoor de metingen niet perfect vergelijkbaar zijn.

Om nu verder na te gaan hoe goed de metingen overeenkomen, dienen we eerst en vooral de HOBO metingen op dezelfde tijdsbasis te herschalen als de UCMCS002 metingen. Deze laatste logt elke 15 minuten de gemiddelde temperatuur (gemeten in 5 seconden intervallen) van de afgelopen 15 minuten. Tijdens de calibratieperiode zijn de HOBO instrumenten zo geprogrammeerd dat ze een sample om de minuut nemen. Deze samples dienen we bijgevolg uit te middelen over de 15 minuut intervallen voor we direct met de UCMCS002 metingen kunnen vergelijken. Het resultaat hiervan is in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 13 : Tijdsreeks van de calibratie van de 3 HOBO sensoren t.o.v. de UCMCS002 metingen. Deze grafiek is analoog als bovenstaande Figuur 12, maar ditmaal werden de HOBO metingen uitgemiddeld over de 15 minuut intervallen zodat de tijdsbasis voor de metingen overeenkomt met die van de UCMCS002 sensor.

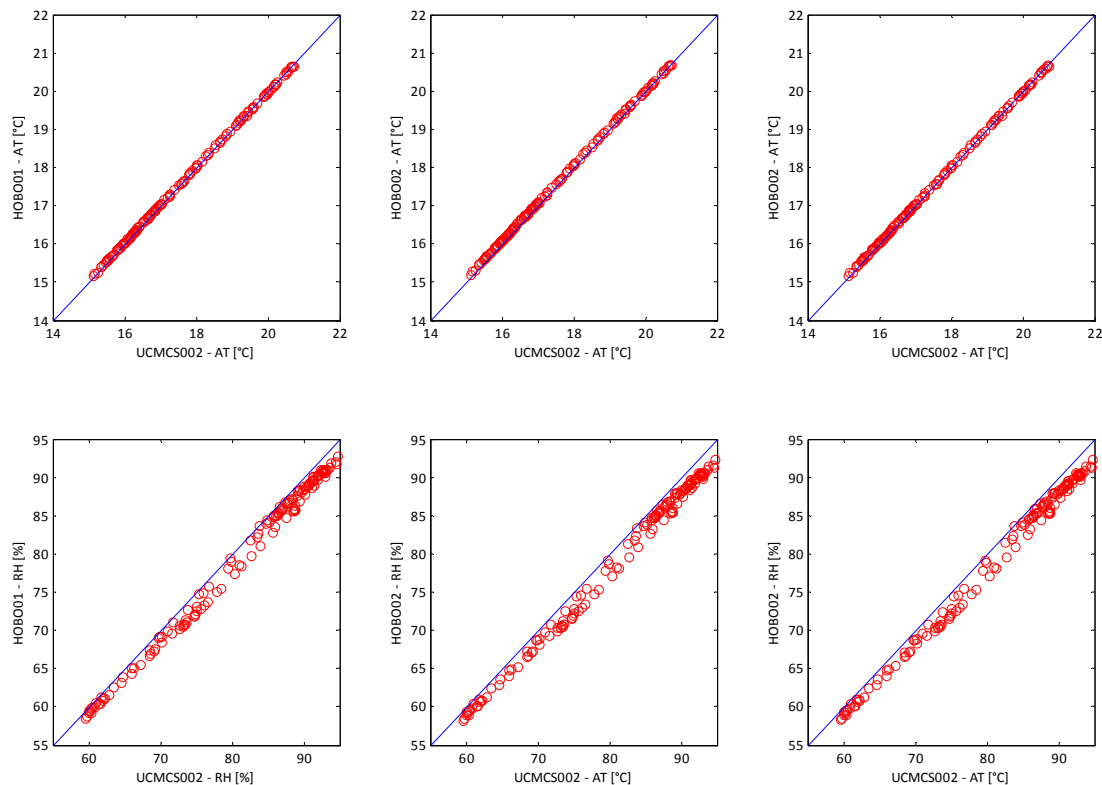
Wanneer we enkele validatie statistieken¹⁶ berekenen, dan vinden we een nagenoeg perfecte overeenkomst (zie Tabel 2). Op basis van deze validatie statistieken kunnen we besluiten dat een

¹⁶ Hiervoor werd de periode beperkt tot 2012-07-17 18:00 -> 2012-07-19 09:00 (UT+2) om de randeffecten van het ophangen van de sensoren buiten beschouwing te laten. We geven telkens de RMSE (Root Mean Squared Error) , de BIAS en de verklaarde variantie R^2 weer. Deze statistieken worden berekend op de tijdsreeks van de verschillen tussen twee metingen of model & observaties en zijn typische gebruikte grootheden voor dergelijke oefening. De RMSE geeft een soort gemiddelde fout weer tussen beide grootheden en houdt zowel rekening met het gemiddelde van het verschil tussen beide grootheden (wat de definitief van de BIAS is) als de spreiding op dat verschil. De R^2 correlatie coefficient geeft het percentage weer van de variabiliteit in de ene meting die door de andere verklaard wordt. Wanneer we de R^2 berekenen

verdere calibratie van de sensor zelf overbodig wordt. De geobserveerde RMSE (Root Mean Squared Error) verschillen zijn van dezelfde grootteorde als de door de fabrikant vermelde reproduceerbaarheid van de temperatuur binnen in de stralingsbehuizing bij gelijkaardige blootstelling. Uiteraard is het temperatuursbereik tijdens deze calibratie periode relatief beperkt en kunnen we dus geen uitspraken doen over eventuele afwijkingen bij hogere temperaturen.

Tabel 2 : Validatie statistieken voor de HOBO loggers gebruik in Gent t.o.v. de actief geventileerde temperatuur sensor van UCMCS002 te Vremde.

Logger	S/N	Variabele	RMSE	BIAS	R2
HOBO01	10171144	Temp [°C]	0.028	0.002	1.000
		RH [%]	1.873	-1.717	0.996
HOBO02	10171145	Temp [°C]	0.063	0.052	1.000
		RH [%]	2.164	-2.032	0.996
HOBO03	10171143	Temp [°C]	0.029	0.008	1.000
		RH [%]	2.179	-2.040	0.995



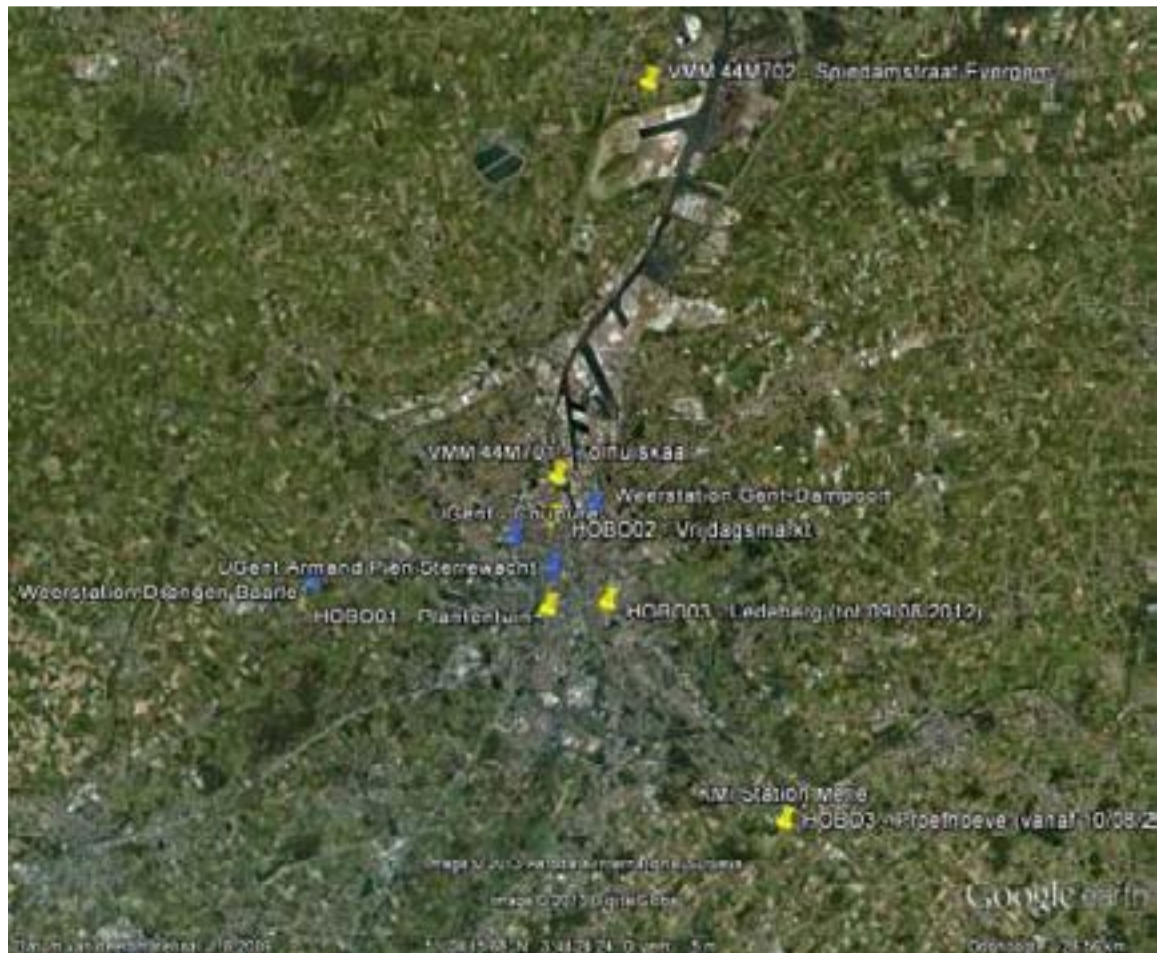
Figuur 14 : Correlatie plots voor de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid van de HOBO sensoren t.o.v. het UCMCS002 meetstation gedurende de periode 17/07/2012 - 19/07/2012.

De afwijkingen die vastgesteld worden bij de RH meting zijn zoals hoger reeds aangegeven iets groter, maar op zich vallen die nog altijd binnen de door de fabrikant aangegeven nauwkeurigheid.

bijvoorbeeld tussen model en observatie geeft deze dus het percentage van de door het model verklaarde variabiliteit weer in de observaties. Het is m.a.w. een graad voor de correlatie tussen twee grootheden.

2.1.3. EXTERNE DATA COLLECTIE

Naast de hoger beschreven vaste meetpunten die we zelf installeerden werden ook een aantal externe bronnen aangesproken om toch over een relatief dichte dataset van meetgegevens te kunnen beschikken. Daar niet alle temperatuurmetingen op gelijkaardige manier gebeurden bij de externe metingen houdt dit wel enige moeilijkheden naar interpretatie in en het zal er dus op aankomen eventueel geobserveerde verschillen deftig te interpreteren. Onderstaande Google Earth screenshot geeft een overzicht van de lokaties waarvoor we externe data konden te pakken krijgen.



Figuur 15 : Lokaties in Gent van alle meetlokaties. Zowel externen als data door het project zelf verzameld.

Onderstaande tabel vat de extern verzamelde gegevens samen.

Tabel 3 : Gegevens van de verzamelde externe metingen voor Gent voor de zomer periode van 2012.

Weestation	Uitbater	Contact	Lat	Lon	Type / Beschrijving
Drongen Baarle	Gert Coone	gert.coone@gmail.com , zie : http://www.stationbaarle.be	51.043056	3.626667	Davis Vantage Pro 2, <i>passief</i>
Gent - Dampoort	Joris Synaeve	weerstation@jorissynaeve.net , zie : http://usr260508.i-net.be/WGD/	51.061392	3.742425	Eigen ontwerp, <i>passief in weerhut</i>
Armand Pien	An Van der Eecken	an.vandereecken@rug-a-pien.be ofwel: info@rug-a-pien.be	51.045636	3.7244038	Stevenson screen bovenop een kleine weertuin op de gebouwen van de Rozier.
Coupure	UGent - Bioingenieurs	Kathy Steppe (kathy.steppe@ugent.be)	51.053539	3.7087	Staat bovenaan een gebouw met metalen dak, eigen ontwerp, deels actief
Evergem	VMM	Christina Mattheeussen & Daniel Tielemans (d.tielemans@vmm.be)	51.166	3.7621139	Actief geventileerde metingen van VMM 30m mast.
Tolhuiskaai	VMM	idem	51.0691389	3.727567	idem
Proefhoeve - Gontrode	KMI	Luc Debontridder (luc.debontridder@meteo.be)	50.9803306	3.8159306	Officieel KMI weerstation (Stevenson screen)

Wat meer details zijn meegegeven hieronder :

- **Weerstation Baarle (Davis Vantage Pro 2)** : De temperatuur en luchtvochtigheid worden gemeten in een niet-geventileerd schotelhutje (standaarduitvoering van de VP2). De hut staat in een grote, niet afgesloten tuin, zonder obstakels in de directe omgeving en dus voldoende luchtcirculatie. Het station is gesitueerd op het grondgebied van Gent, maar wel in een landelijk deel van deelgemeente Drongen, dus geen verstedelijkte omgeving. De windmeter staat apart, op een puntgevel van een huis, ongeveer 7 meter hoog (dus 3 meter te laag t.o.v. de normale 10 m meethoogte). Bij deze metingen is er wel hinderlijke invloed van een vlakbij gelegen populierenrij aan de noordelijke kant. We hebben luchttemperatuur, luchtdruk, relatieve vochtigheid en wind snelheid ter beschikking.
- **Weerstation Gent – Dampoort (eigen ontwerp Joris Synaeve)** : Het weerstation is aan de rand van de stad opgesteld. Het is hier nog een stedelijk gebied met in het oosten tot zuid-westen bebouwing. In het noorden en westen is op enkele bomen na vrij dankzij het rangeerstation van Gent-Dampoort. Echter op die oppervlakte is er weinig vegetatie waardoor de lucht daar wel meer kan opwarmen dan in een landelijke omgeving. De thermometer bevindt zich momenteel in een niet geventileerde weerhut. Lamellen en onderaan verschillende gaten moeten toch een kleine luchtverversing in de weerhut teweeg brengen. De weerhut staat ook niet opgesteld op een grasondergrond maar zo'n 4 meter hoog boven een plat dak zodat daar nog luchtmenging is met de omgeving. We hebben luchttemperatuur en relatieve vochtigheid ter beschikking.
- **Weerstation Armand Pien** : bevindt zich bovenaan de gebouwen van de Universiteit Gent aan de Rozier, waar een kleine weertuin aanwezig is. De temperatuursensor bevindt zich in een zogeheten Stevenson screen (traditionele weerhut) en is opgesteld op 2 m boven een grasveldje. Informatie kan opgevraagd worden via <http://www.rug-a-pien.be/weerstation.html>

- **Weerstation aan de faculteit bio-ingenieurswetenschappen (Coupure)** : Dit weerstation staat opgesteld bovenaan de gebouwen van de faculteit bio-ingenieurswetenschappen van de Universiteit Gent, op zo'n 2 m hoogte van het dak, maar wel aan de rand van het gebouw. Voor 10 augustus waren de metingen enkel passief geventileerd, vanaf die datum verhuisde één luchttemperatuur/relatieve vochtigheidssensor in een geventileerd stralingsschild. De dakbedekking bestaat uit metaal. We hebben luchttemperatuur (actief & passief), vochtigheid, windsnelheid en richting maar ook intensiteit van de zonnestraling ter beschikking.

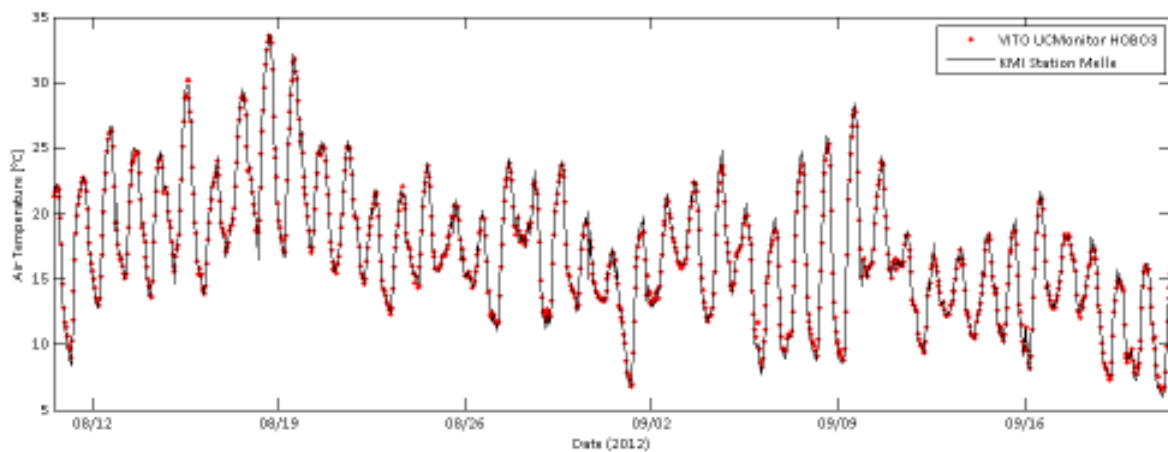
De VMM en KMI metingen maken deel uit van het officieel telemetrisch meetnetwerk van beide instanties. De VMM metingen werden gratis ter beschikking gesteld van dit project (contact: Christina Mattheeussen), de KMI dienen te worden aangekocht. Gezien deze externe metingen allemaal met een verschillende setup zijn genomen is het uiterst moeilijk rechtstreeks te gaan vergelijken, zeker als we gaan kijken naar de relatief beperkte verschillen tussen stedelijke en rurale luchttemperatuur waar een fout van 1 °C al makkelijk 50 % is van het beoogde effect. Dus bij de interpretatie dient de nodige voorzichtigheid gehanteerd te worden.

Deze in-situ metingen werden met de nodige meta-data in een HDF5 bestand gecompileerd zodat ze makkelijk voor eventueel volgende wetenschappelijke studies van het UHI effect in Gent kunnen gebruikt worden.

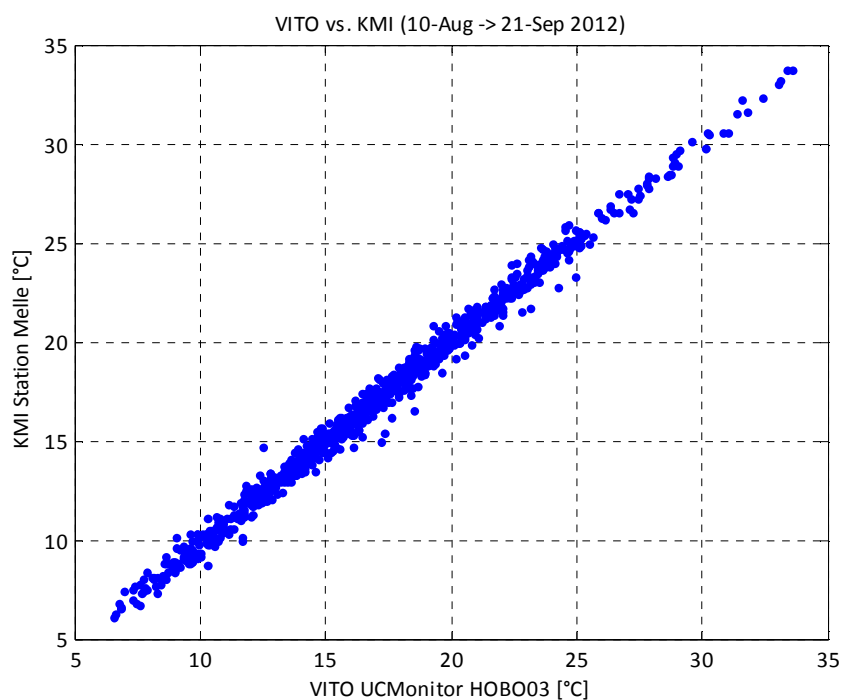
2.1.4. ANALYSE EN RESULTATEN UHI EFFECT

→ Vergelijking referentie metingen proefhoeve t.o.v. KMI

Allereerst zijn we de vergelijking aangegaan met het officiële KMI station in Melle, ter hoogte van de proefhoeve. We wensen immers deze meting als rurale referentie te gebruiken voor de periode waar we de eigen logger in Ledeborg opgehangen hadden. Gezien de eigen HOBO metingen 10-minuutswaarden zijn werden deze eerst uitgemiddeld naar uurlijkse waarden. Nadien vergeleken we ze met de KMI metingen. In onderstaande Figuur 16 zijn beide tijdsreeksen weergegeven en in Figuur 17 de correlatie plot.



Figuur 16 : Vergelijking van de tijdsreeksen gemeten door de VITO Urban Climate monitor HOB003 en het officiële KMI station op de proefhoeve te Melle.

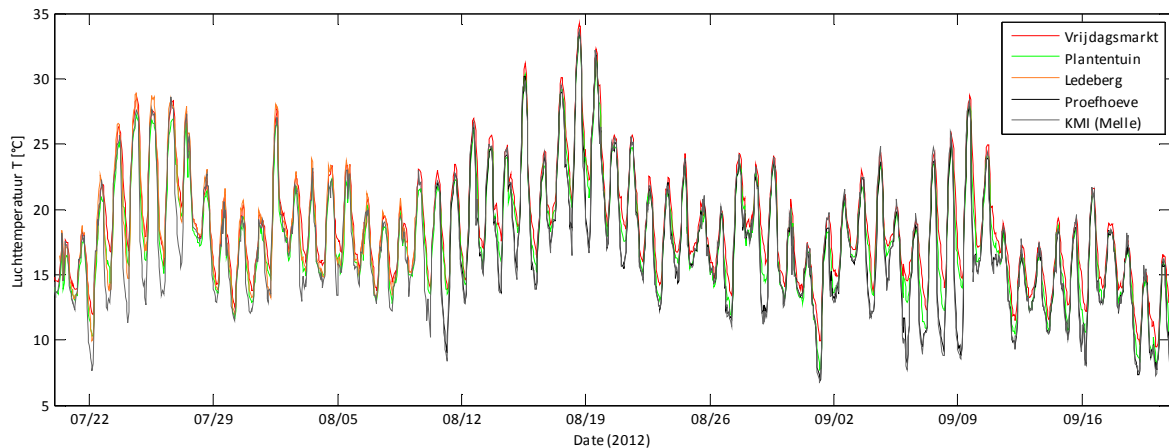


Figuur 17 : Correlatie plot tussen VITO Urban Climate monitor HOB003 en het officiële KMI station op de proefhoeve te Melle.

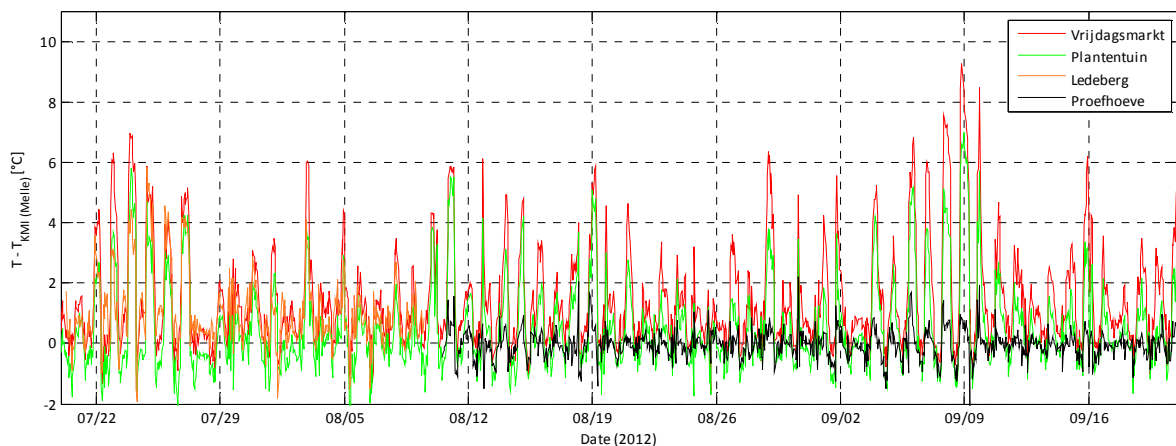
We vinden een RMSE van 0.46 °C, een BIAS van -0.048 °C en een R^2 correlatie coëfficiënt van 0.99, wat op zich heel bevredigend is. Er werd verder nagegaan of een synchronisatie fout van de metingen eventueel een stuk van de RMSE kan verklaren, maar een eventueel effect hiervan bleek verwaarloosbaar en wordt dus verder niet in rekening gebracht.

→ Analyse UHI effect op de eigen HOBO metingen

We beelden vervolgens de tijdsreeksen af van de eigen metingen waarbij we telkens het KMI station als referentie nemen voor de rurale temperatuur. De volledige tijdsreeksen van de luchttemperatuurmetingen zijn afgebeeld in onderstaande Figuur 18 en de UHI intensiteit t.o.v. de metingen aan het KMI station in Figuur 19.

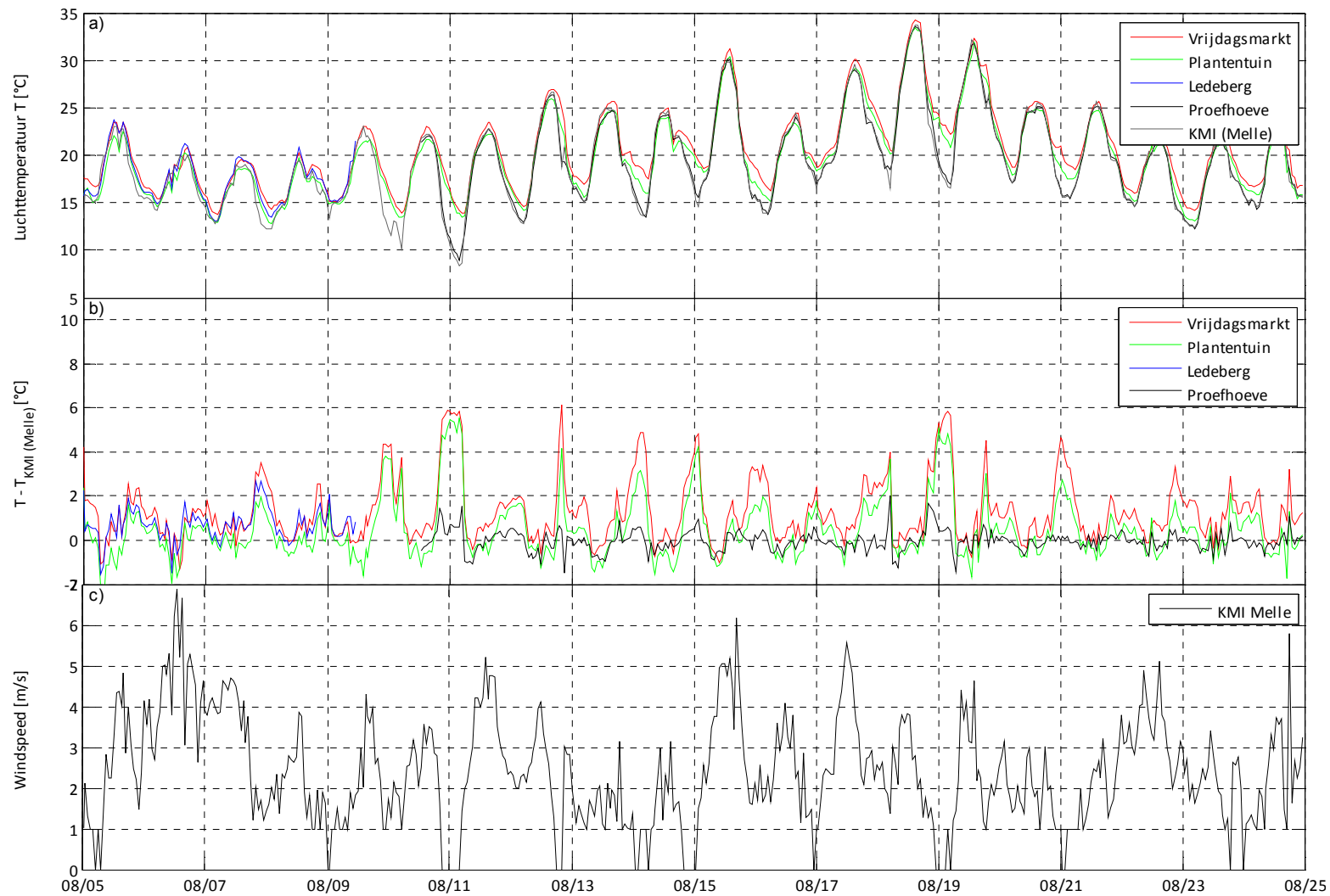


Figuur 18 : Afbeelding van de volledige tijdsreeks van de VITO metingen aangevuld met de KMI metingen.

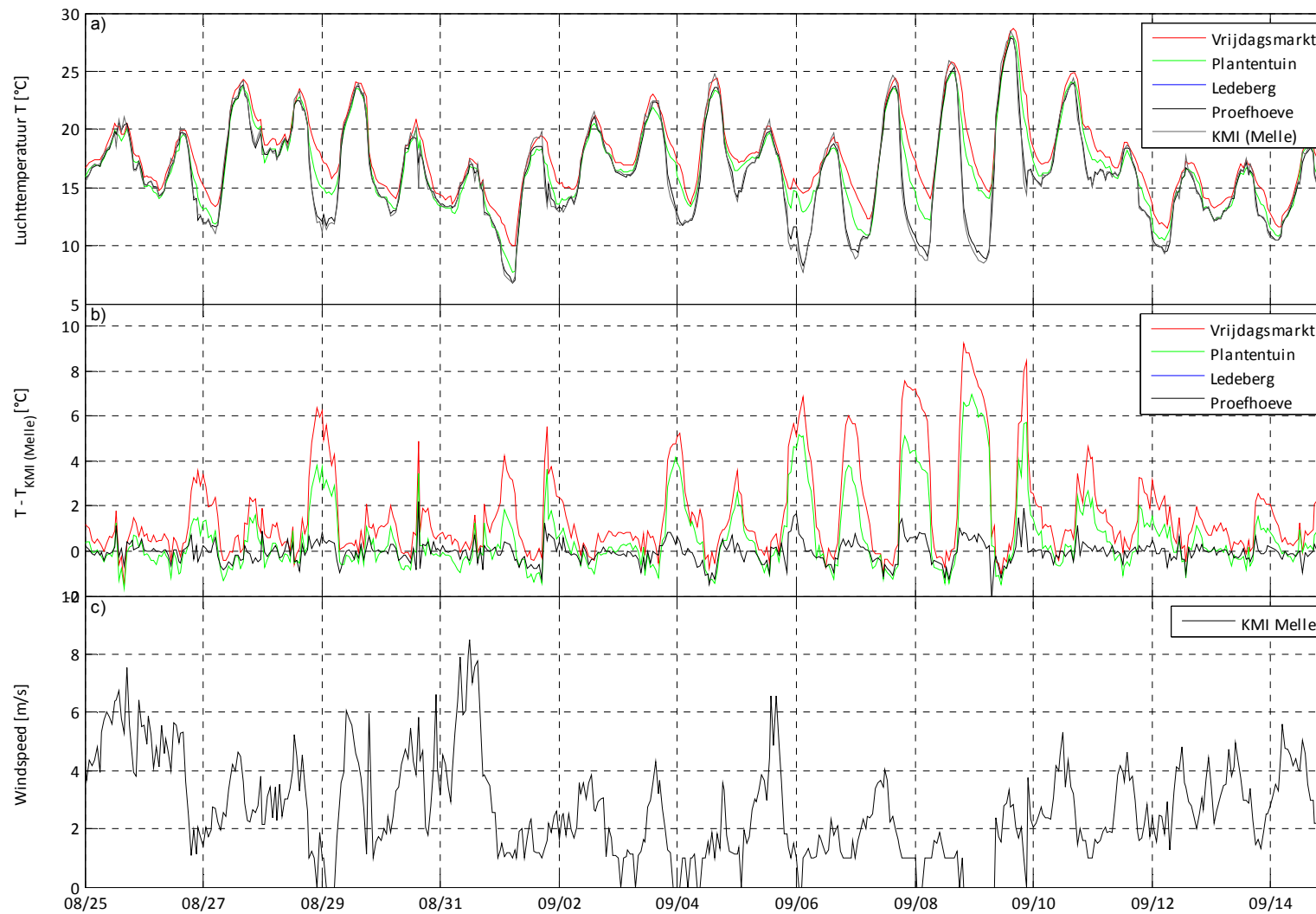


Figuur 19 : Afbeelding van de volledige tijdsreeks van de UHI intensiteit t.o.v. het KMI station in Melle.

We zien duidelijk twee interessante periodes hier, met name de periode rond het weekend van 17-18-19 augustus, waar de warmste temperaturen van 2012 genoteerd werden, en de periode rond 9 september, waar blijkbaar de UHI intensiteit voor Gent het sterkst was, met als uitschieter de nacht van 9 september 2012, waar tot bijna 9° verschil gemeten is tussen de Vrijdagmarkt en het KMI station te Melle. Deze twee periodes hebben we even in wat meer detail afgebeeld hieronder in Figuur 20 en Figuur 21.



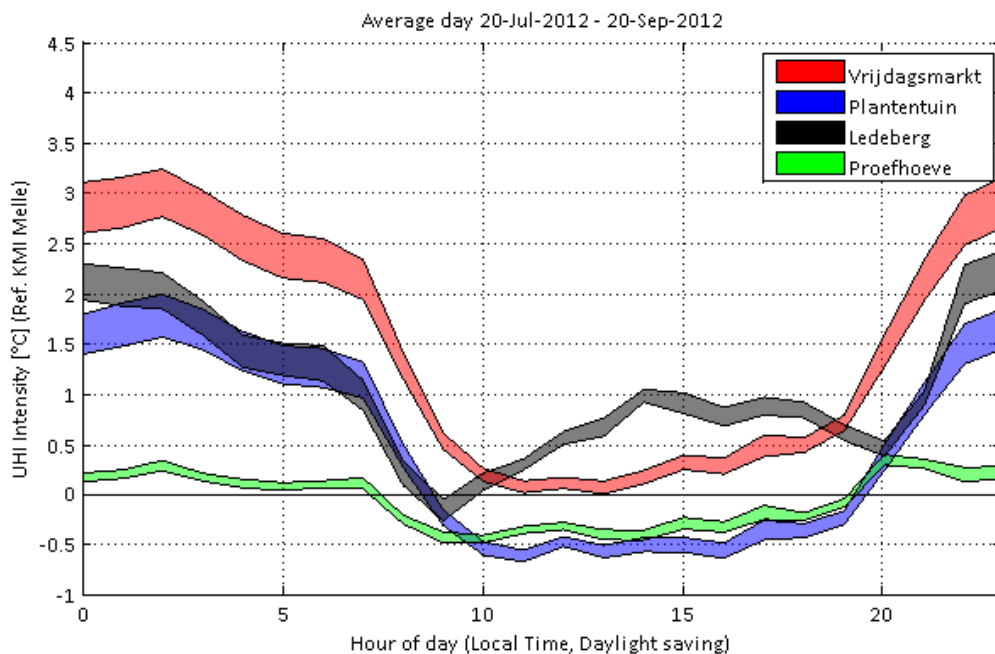
Figuur 20 : Detail van de eigen meetreeksen uit de meetcampagne voor de periode rond 17-18-19 augustus 2012.



Figuur 21 : Detail van de eigen meetreeksen uit de meetcampagne voor de periode rond 9 september 2012.

Het is eerst en vooral duidelijk uit de detailfiguren hierboven dat de UHI intensiteit overdag voor wat betreft de luchttemperatuur nagenoeg verwaarloosbaar is. Er is heel weinig onderscheid tussen de luchttemperaturen gemeten te Melle en die op de Vrijdagmarkt of de Plantentuin, het is zoals geweten voornamelijk de verminderde afkoeling 's avonds en 's nachts in de verstedelijkte omgeving t.o.v. de rurale omgeving die zal aanleiding geven tot een significant UHI effect.

We zien voorts ook dat episodes met een heel uitgesproken UHI intensiteit stevast gekenmerkt worden door het wegvallen van de windsnelheid. Het is wel zo dat in de gegevens windsnelheden onder de 1 m/s op 0 werden gezet omdat het meetinstrument een zekere inertiaal massa heeft en dus voor lage windsnelheden onnauwkeurig is¹⁷. Maar de coïncidentie van deze “gaten” met de hoge intensiteit van het SHE is opvallend. Een derde observatie die we zien is dat de SHE intensiteit zoals gemeten in de Plantentuin, hoewel die ook heel significant kan zijn (bvb. tot meer dan 6 °C op 9 september 2012), altijd onder de SHE intensiteit in het dichter bebouwde centrum zal zijn. Dit is reeds een eerste indicatie van de waarde van parken en groene zones in verstedelijkt gebied.



Figuur 22 : Gemiddelde SHE intensiteit over de ganse zomer periode als functie van het uur van de dag (in lokale tijd, en dus zomertuur). De errorbands geven de ongecorrleerde¹⁸ standaard error op de gemiddelde waarde van dat uur weer. Als referentie is telkens terug de meting van het KMI station te Melle genomen.

Om de metingen iets beschouwelijker voor te stellen hebben we in bovenstaande Figuur 22 een gemiddeld dagprofiel afgebeeld, waar we voor elk van de 24 uren van de dag het gemiddelde van de SHE intensiteit over gans de meetperiode bekeken hebben. Dit wil zeggen dat we het gemiddelde nemen voor de intensiteit van 1/8 om bvb 03:00h, 2/8 om 03:00h, 3/8 om 03:00h

¹⁷ De cup-anemometer heeft immers een zekere minimum windsnelheid nodig om te beginnen draaien.

¹⁸ We verwaarlozen hierbij dus voor de eenvoud de auto-correlatie in de tijd tussen e.g. de meting op dag 1 om 20:00 en de metingen 24 uur later bij de berekening van de fout op de gemiddelde waarde. De afgebeelde error bands zijn m.a.w. een kleine onderschatting van de werkelijke fout op het gemiddelde.

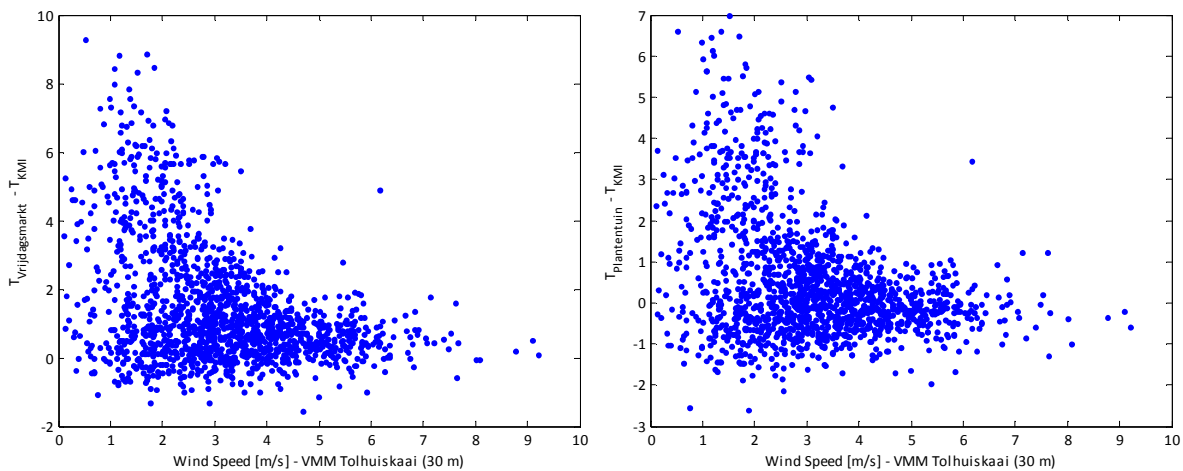
enzovoorts, en dit voor de 24 uren en de 4 meetlokaties die we met de HOBO sensoren in het kader van dit project bemonsterden.

We merken duidelijk het gemiddelde SHE dagprofiel, waarbij overdag gemiddeld gesproken niet echt een effect waarneembaar is, gelet op de onzekerheid tussen de HOBO metingen en de referentie meting van het KMI van ongeveer 0.5°C (zie hoger in deze subsectie).

Voor de meetsite op de Vrijdagmarkt zien we duidelijk een gemiddelde intensiteit van het effect, dat in de dagcyclus z'n maximum van een 3-tal °C kent rond middernacht. Het effect neemt terug af naar de ochtend toe en bereikt z'n minimum intensiteit in de voormiddag rond 10 h. Er is een trage maar weinig significante toename van 0.5 °C tot de vroege avond 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 de Plantentuin, de intensiteit is weliswaar iets geringer, met een maximum in de gemiddelde dagcyclus van 1.5 °C (eveneens rond middernacht). Voor de metingen in Ledeberg tot 10 /08/2012 merken we duidelijk dat overdag een afwijkend verloop zichtbaar is. De UHI intensiteit neemt toe vanaf 10h tot rond 14h, om dan heel geleidelijk af te nemen tot 20h, waarna terug het verwachte patroon gevolgd wordt. Hier is duidelijk een ander proces dat speelt, en daarvoor dienen we te verwijzen naar de beschrijving van de opstelling van de sensor. Het is zo dat deze relatief dicht bij een muur staat opgesteld in een binnentuin. De meting in Ledeberg wordt dus duidelijk beïnvloed door microschaal effecten. Niet toevallig kent de SHE intensiteit hier z'n maximum overdag rond 13-14h gezien dit ongeveer samenvalt met de hoogste stand van de zon aan de hemel. Het is dus niet onredelijk aan te nemen dat het invallen van de zon op de muur voor een lokale opwarming van de luchttemperatuur zorgt in de omgeving van de sensor. Zeker omdat de lokatie relatief ingesloten is tussen de gebouwen en er dus relatief weinig menging optreedt, kan dit dergelijk effect tot gevolg hebben op de metingen.

Verder merken we ook dat het "UHI" effect van de eigen metingen t.o.v. de referentiemetingen van het KMI ook, zij het in beperkte mate, een dagcyclus vertonen. Overdag is de temperatuur gemeten door de actief geventileerde HOBO sensoren net iets lager dan de referentie temperatuur. Dit kan te maken hebben met de verschillende meetmethode en onderstreept het belang hiervan. Ook het schijnbaar negatieve effect in de Plantentuin overdag van +/- 0.5°C gemiddeld lijkt ons mogelijk hieraan toe te schrijven. Indien we de metingen aan de Vrijdagmarkt en de Plantentuin zouden refereren t.o.v. de eigen meting aan de proefhoeve, kunnen we afleiden dat er overdag een relatief klein SHE effect zou optreden op de Vrijdagmarkt (~0.5 °C verschil t.o.v. de proefhoeve metingen gemiddeld), en geen significant effect in de Plantentuin overdag.

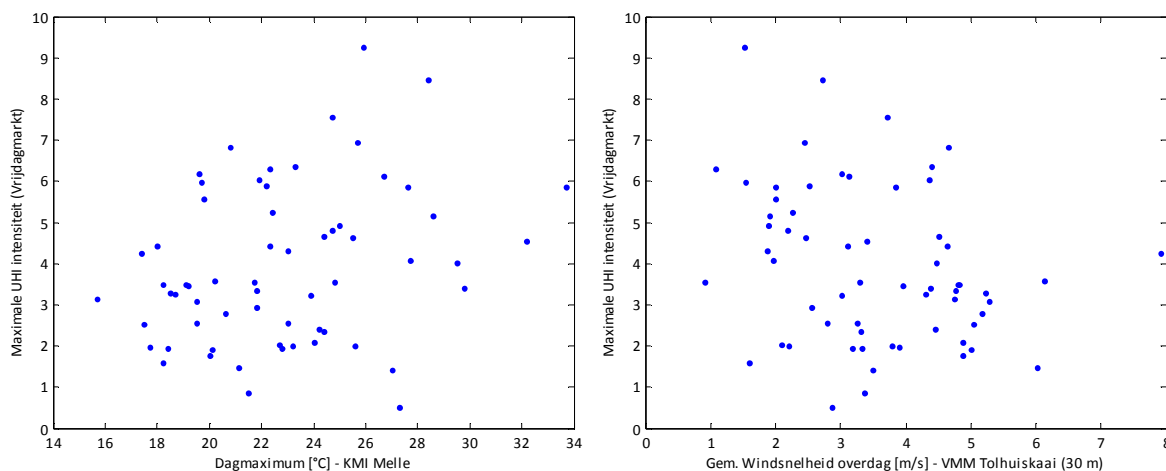
Laat ons nu even verder de eerder aangehaalde correlatie met windsnelheid uitdiepen. In onderstaande Figuur 23 is een XY diagram weergegeven van de windsnelheid op 30 m, gemeten op de VMM mast aan de tolhuiskaai, en het UHI effect op de Vrijdagmarkt en de Plantentuin. Als referentie temperatuur werd telkens het KMI station te Melle gebruikt. De analyse is gebeurd op uurlijkse waarden.



Figuur 23 : Correlatie analyse tussen de windsnelheid zoals gemeten op de VMM mast aan de Tolhuiskaai op 30m en de intensiteit van het UHI effect (links voor de vrijdagmarkt, rechts voor de plantentuin).

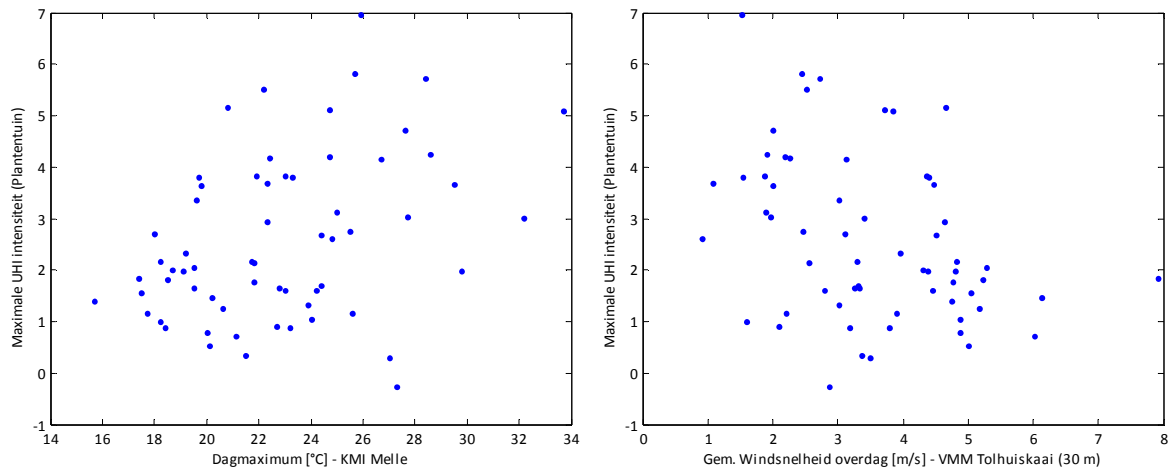
We merken duidelijk een omgekeerd verband tussen de windsnelheid en de UHI intensiteit. Bij windsnelheden vanaf 3.5 m/s kunnen we stellen dat er geen significant effect meer zal optreden. Dit wekt natuurlijk de nieuwsgierigheid om te zien of het mogelijk is op basis van de meetcampagne een eenvoudige relatie te vinden voor de maximale UHI intensiteit van de dag (en nacht) op basis van de gemiddelde windsnelheid overdag (tussen 8h 's morgens en 18 h 's avonds lokale tijd), de maximum temperatuur overdag en de maximale UHI intensiteit van de nacht (tussen 18 h 's avonds en 8 h 's morgens van de volgende dag).

We beelden deze grootheden eerst even af in Figuur 24 en Figuur 25. De scatter plots hebben een lichte neiging tot positieve correlatie voor de dag maximum temperatuur t.o.v. het maximale UHI effect en een licht negatieve correlatie voor de gemiddelde windsnelheid. We zien hier al echter dat het effect niet zeer uitgesproken is, hoewel de opmerking hier zeker bij dient gemaakt te worden dat het aantal observaties misschien relatief beperkt is voor deze analyse.



Figuur 24 : Maximale nachtelijke UHI intensiteit voor de Vrijdagmarkt (t.o.v. het KMI station te Melle) versus de maximum temperatuur van die dag zoals gemeten te Melle. Rechts zien we

dezelfde grootte versus de gemiddelde windsnelheid overdag (tussen 8h 's morgens en 18 h 's avonds lokale tijd) gemeten op de 30m mast van de VMM aan de Tolhuiskaai.



Figuur 25 : Maximale nachtelijke UHI intensiteit voor de Plantentuin (t.o.v. het KMI station te Melle) versus de maximum temperatuur van die dag zoals gemeten te Melle. Rechts zien we dezelfde grootte versus de gemiddelde windsnelheid overdag (tussen 8h 's morgens en 18 h 's avonds lokale tijd) gemeten op de 30m mast van de VMM aan de Tolhuiskaai.

Tabel 4 : Eenvoudig regressie model voor het voorspellen van de maximale UHI intensiteit in Gent.

$UHI_{MAX} =$	a_0	$+ a_1 * \text{Maximum}$ <i>Temperatuur [°C]</i>	$+ a_2 * \text{Gemiddelde}$ <i>Windsnelheid [m/s]</i>	<i>RMSE</i>
Vrijdagmarkt	2.50 ± 1.80	0.11 ± 0.06	-0.28 ± 0.18	1.8 °C
Plantentuin	1.00 ± 1.43	0.12 ± 0.05	-0.31 ± 0.14	1.4 °C

Desalniettemin hebben we geprobeerd een eenvoudige regressie analyse uit te voeren, waar we proberen de maximale nachtelijke UHI intensiteit te verklaren op basis van de dagmaximum temperatuur (T_{max}) gemeten door het KMI te Melle en de gemiddelde windsnelheid ($\bar{U}_{30m}$), genomen tussen 8h 's morgens en 18h 's avonds. Het resultaat van deze regressie analyse, met name de coëfficiënten van het model :

$$UHI_{max} = a_0 + a_1 \cdot T_{max} + a_2 \cdot \bar{U}_{30m}$$

zijn gegeven in Tabel 4. Hoewel we duidelijk een relatief grote onzekerheid zien op de a_i coëfficiënten, lijken de gevoeligheden voor de dagmaximum temperatuur en de windsnelheid relatief goed overeen te komen. Een voorzichtige vuistregel zou kunnen zijn voor Gent : indien de dag maximum temperatuur 30 °C is en de gemiddelde windsnelheid overdag 1 m/s, verwachten we voor de nachtelijke uren een maximale UHI intensiteit in het centrum van $2.50 + 0.11 \cdot 30 - 0.28 \cdot 1 = 5.5$ °C. Maar, nogmaals dergelijke eenvoudige relaties dienen met uiterste voorzichtigheid gebruikt te worden. Zoals verder zal blijken zou bijvoorbeeld een opdeling van deze analyse in windsectoren misschien de zaak iets robuuster maken.

→ Analyse voor alle verzamelde metingen

In bovenstaande rapportering hebben we in iets meer detail de metingen met de HOBO sensoren besproken gezien voor deze metingen de meetmethode identiek is en we eerder aantoonde dat er geen systematische verschillen zitten op de metingen zelf. Wanneer we de externe data bekijken dan is de interpretatie iets moeilijker gezien we naast verschillen door het UHI effect en de andere hittevorming op verschillende lokaties in Gent ook verschillen kunnen krijgen ten gevolge van de andere meetmethode. Om beiden uit elkaar te halen is helaas slechts mogelijk door elk van de meettoestellen naast een referentie station te zetten en de verschillen te bestuderen. Dergelijke analyse valt echter buiten het kader van dit project.

In onderstaande Tabel 5 geven we t.o.v. het KMI station in Melle, dat we als referentie gebruiken voor alle stations de gemeten gemiddelde en 95^{ste} percentiel waarden van de UHI intensiteit weer en dit voor de ganse tijdsreeks, zowel als opgedeeld in UHI intensiteit overdag / 's nachts. De periode overdag nemen we als 10h lokale tijd tot 18h lokale tijd, de nacht nemen we van 22h lokale tijd tot 4h lokale tijd.

Tabel 5 : Alle gemeten luchttemperatuur SHE intensiteiten voor de verschillende meetlokaties. We tonen de gemiddelde intensiteit overdag, 's nachts en algemeen, samen met de piekintensiteit (95ste percentiel waarde). De stations waarbij we enkele vragen kunnen plaatsen inzake representativiteit en waarvoor de metingen in wat meer detail zouden moeten bekeken worden hebben we in grijze kleur weergegeven.

Station	Latitude	Longitude	UHI All time		UHI Day time		UHI Night time	
			Mean	P95	Mean	P95	Mean	P95
Vrijdagmarkt	51.05797	3.725125	1.46	5.45	0.26	1.18	2.74	6.29
Plantentuin	51.03566	3.722458	0.49	3.68	-0.48	0.36	1.53	4.69
Ledeberg	51.03669	3.746783	1.06	3.84	0.74	1.75	1.83	4.39
Proefhoeve	50.97961	3.817283	-0.05	0.68	-0.30	0.25	0.21	0.85
Tolhuiskaai	51.06914	3.727567	0.67	4.70	-0.56	0.60	2.06	5.80
Evergem	51.16600	3.762114	0.10	2.65	-0.70	0.50	0.89	3.38
FacBioing	51.05354	3.708700	1.09	6.26	-1.27	1.27	3.58	8.05
ArmandPien	51.04564	3.724403	0.88	4.69	-0.09	0.75	1.92	5.42
GentDampoort	51.06139	3.742425	0.77	2.42	1.29	2.61	0.52	2.09
DrongenBaarle	51.04306	3.626667	-0.03	2.99	-0.84	1.60	1.22	4.64

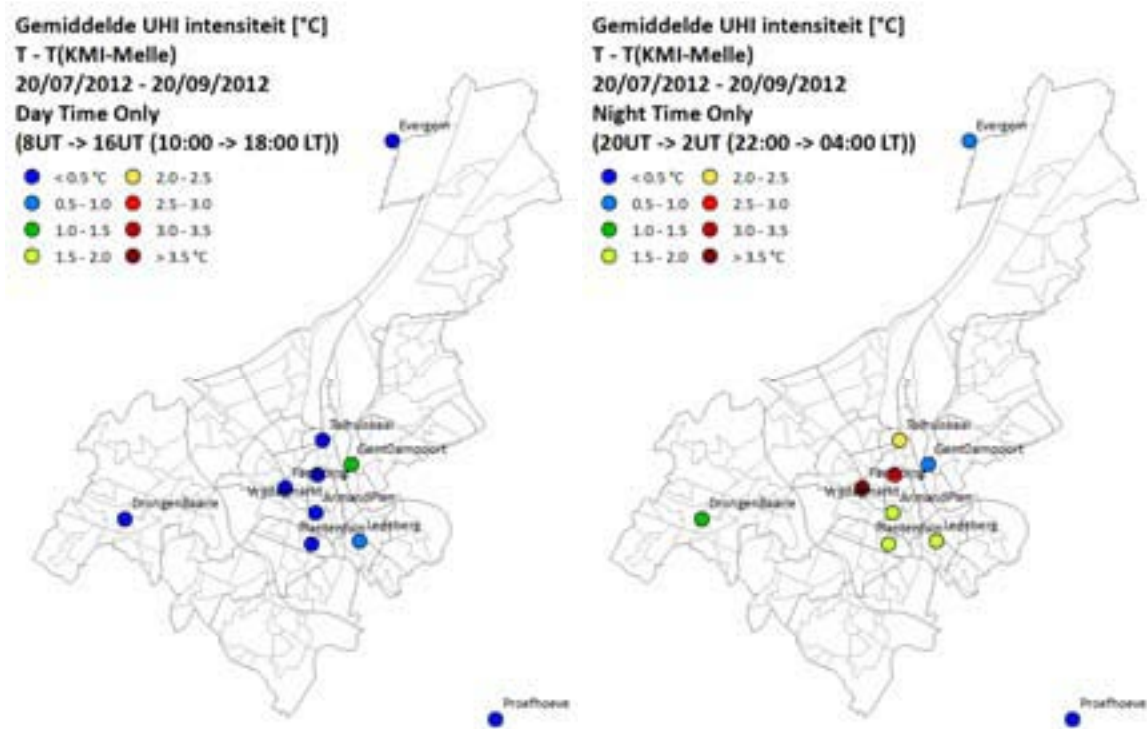
De hoger vermeldde verschillen tussen de dag/nacht intensiteit van het stedelijk warmte eiland komen ook duidelijk in de externe metingen tot uiting. Overdag zien we voor de meeste stations gemiddeld gesproken geen significante verschillen. We zien zelfs gemiddeld t.o.v. de referentie meting van het KMI in Melle voor de meeste stations een klein koelte eiland overdag, maar nogmaals wegens het verschillende karakter van de meetmethoden en de meet onzekerheid, kunnen we daar eigenlijk geen uitspraak over doen. De piek intensiteit (P95) 's nachts bedraagt voor de Vrijdagmarkt zo'n goeie 6.3 °C. Ook aan de Tolhuiskaai wordt maximaal 5.8 °C verschil gemeten. Het is zo dat voor het meetpunt aan de Coupure tot meer dan 8 °C gemeten wordt, maar daar zijn er wel enkele vragen bij de representativiteit van de metingen. Het lijkt ons correcter uit te gaan van een maximale (P95) intensiteit voor de centrale zones in Gent van een goeie 6 °C. Dit

sluit uiteraard niet uit dat hogere waarden kunnen voorkomen, zie bvb. de meting op 9 september 2012, waar het temperatuursverschil tussen de Vrijdagmarkt en de referentie meting in Melle ook vlotjes boven de 8°C gaat. Gemiddeld vinden we dus voor Gent in het centrum een verschil van een 2.7 °C zoals ook eerder bleek uit de gemiddelde dagcyclus.

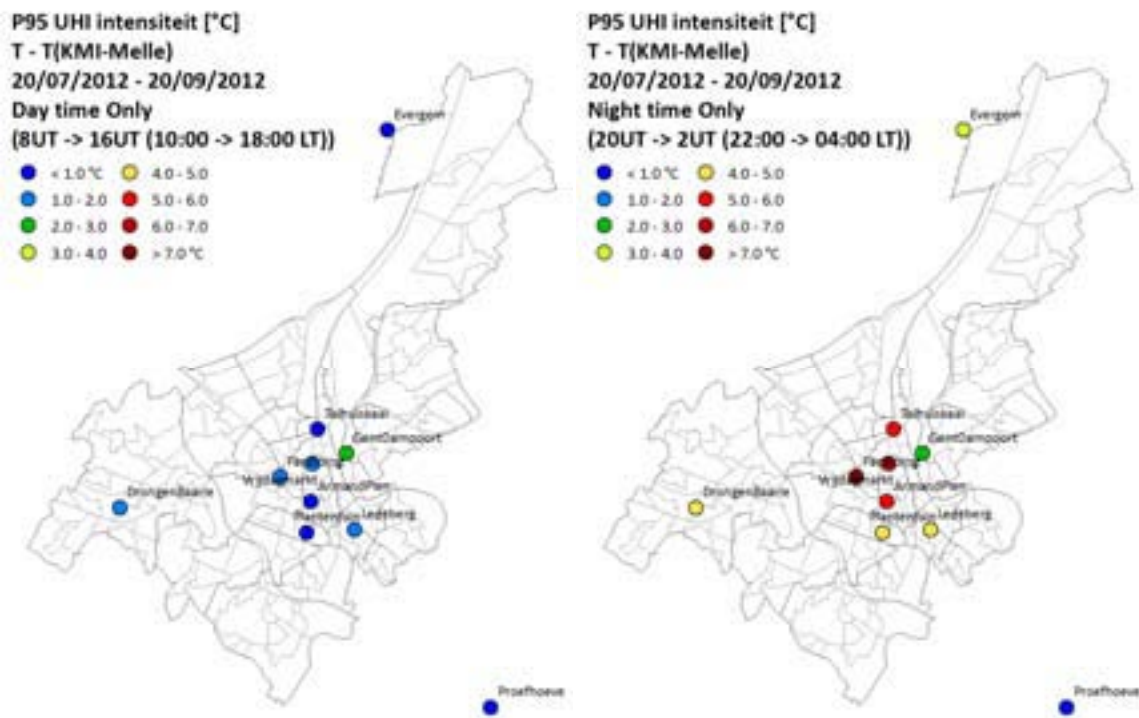
Het valt voorts op dat de P95 intensiteit voor het nachtelijk temperatuursverschil van het hobbystation te Drongen ook nog relatief hoog blijft. In hoeverre de representativiteit van die metingen daar voor iets tussen zit is moeilijk te zeggen, maar dit zou eventueel kunnen verband houden met een zgh. urban plume, waarbij warmere lucht van boven de stad wind afwaarts getransporteerd wordt. Gezien de meest intense UHI condities zich bij oostelijke wind afspelen (zie verder) lijkt dit consistent met deze waarneming.

We merken verder ook dat het hobby station een relatief constant maximaal UHI effect vertoont van een 2 – 2.5 °, onafhankelijk van dag/nacht. Ook bij de directionaliteitsanalyse zullen we verder zien dat geen duidelijke windrichting voor een dominant effect zorgt. Een goeie verklaring hiervoor vinden, houdt een verdere studie in die buiten het kader van dit project valt.

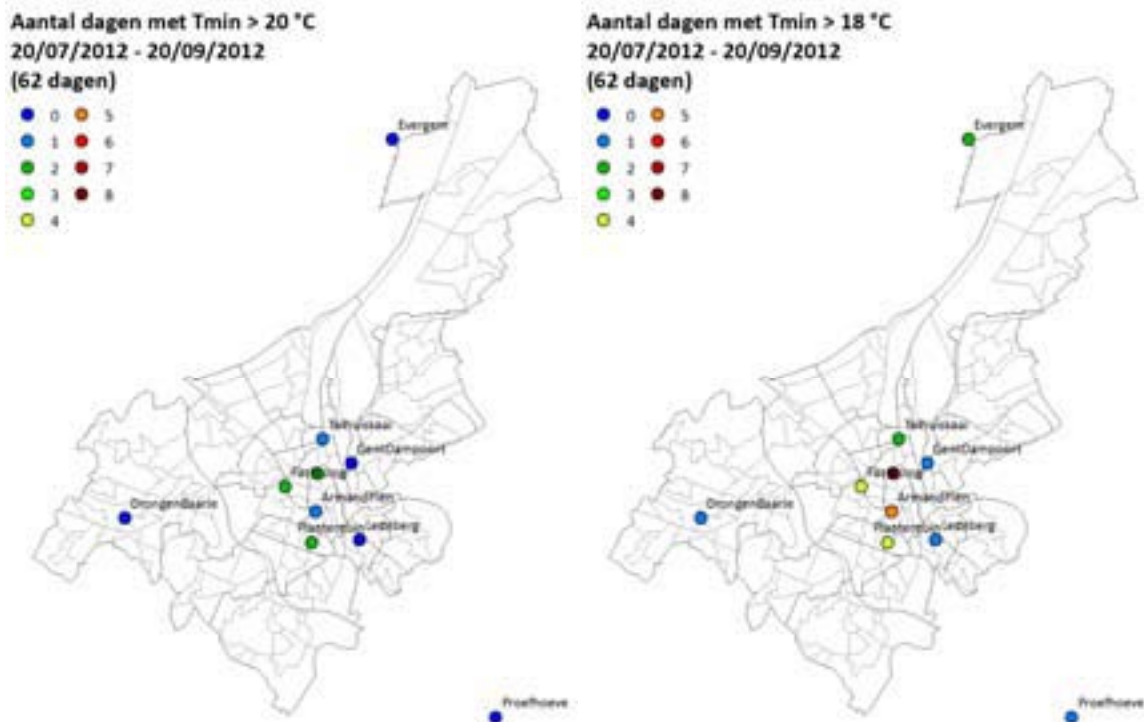
In onderstaande figuren beelden we verder de gemiddelde en P95 intensiteit zowel 's nachts als overdag af op een situatie plan van Gent.



Figuur 26 : Geografische weergave van de gemeten gemiddelde UHI intensiteit overdag (links) en 's nachts (rechts).



Figuur 27 : Geografische weergave van het gemeten 95^{ste} percentiel van de UHI intensiteit overdag (links) en 's nachts (rechts).



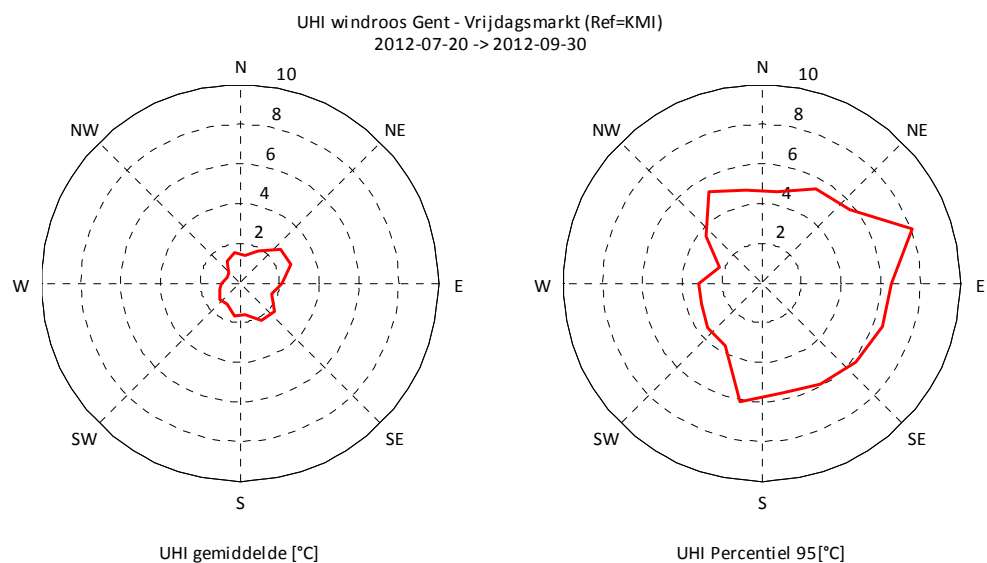
Figuur 28 : Geografische weergave van het aantal dagen tijdens de zomer van 2012 met een minimale nachtelijke temperatuur boven de 20 °C en boven de 18 °C.

In Figuur 28 zien we tenslotte illustratief het aantal dagen in 2012 waarbij de temperatuur niet onder de 18, resp. 20 °C zakte. We zien hier duidelijke verschillen tussen de meetlokaties. En men kan stellen dat het aantal dagen “terrasjesweer” toch een stukje hoger ligt in het centrum van de stad dan in de omringende wijken.

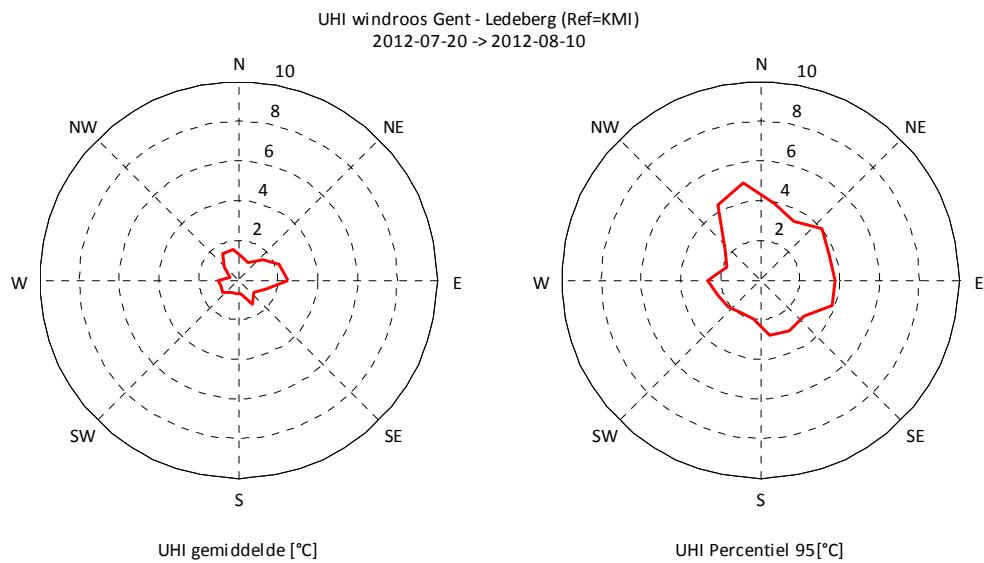
2.1.5. DIRECTIONALITEIT UHI EFFECT

Het is verder interessant te gaan kijken naar de directionaliteit van het UHI effect. Via windrozen kunnen wij nagaan bij welke windrichtingen het UHI effect dominant is. Gezien de KMI data die ons ter beschikking gesteld werd reeds voorverwerkt was in de hoofdwindrichtingen, namen we als referentie windrichting de observaties van de VMM mast te Evergem gezien deze data daadwerkelijk in graden ter beschikking gesteld werd.

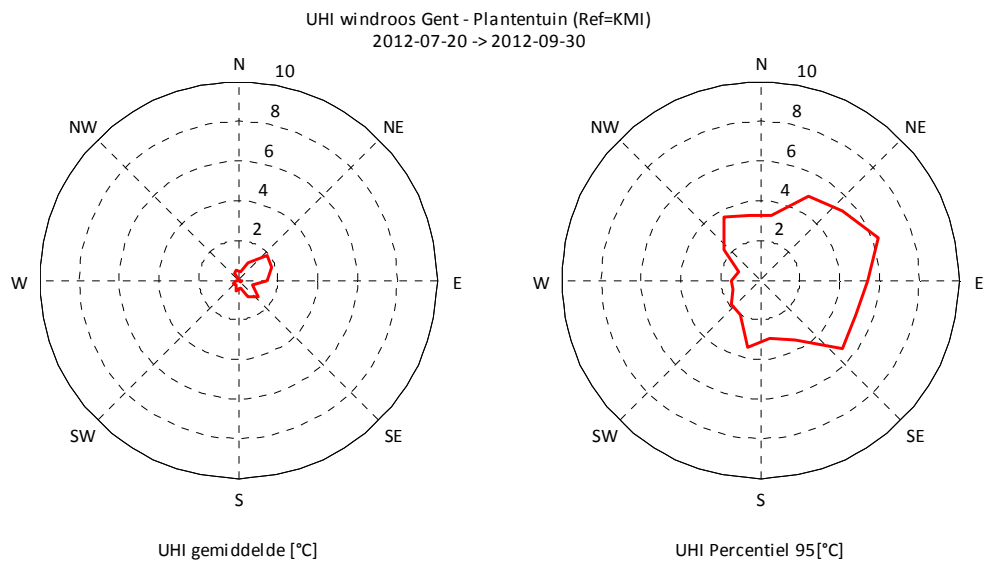
De windroos werd in stappen van 20° opgedeeld (18 sectoren) en voor elke sector werd zowel de gemiddelde SHE intensiteit als de 95^{ste} percentiel waarde berekend. Als referentie voor de luchttemperatuur is telkens de KMI meting van het station te Melle genomen gezien we deze data voor de ganse periode van juli tot eind september ter beschikking hadden. De onderstaande figuren beelden telkens voor de verschillende meetsites het effect af. Daar waar mogelijk kozen we telkens de actief geventileerde metingen (wat inhoudt dat we bvb voor de meting aan de faculteit bio-ingenieurswetenschappen de HMP50 metingen na 10 augustus nemen).



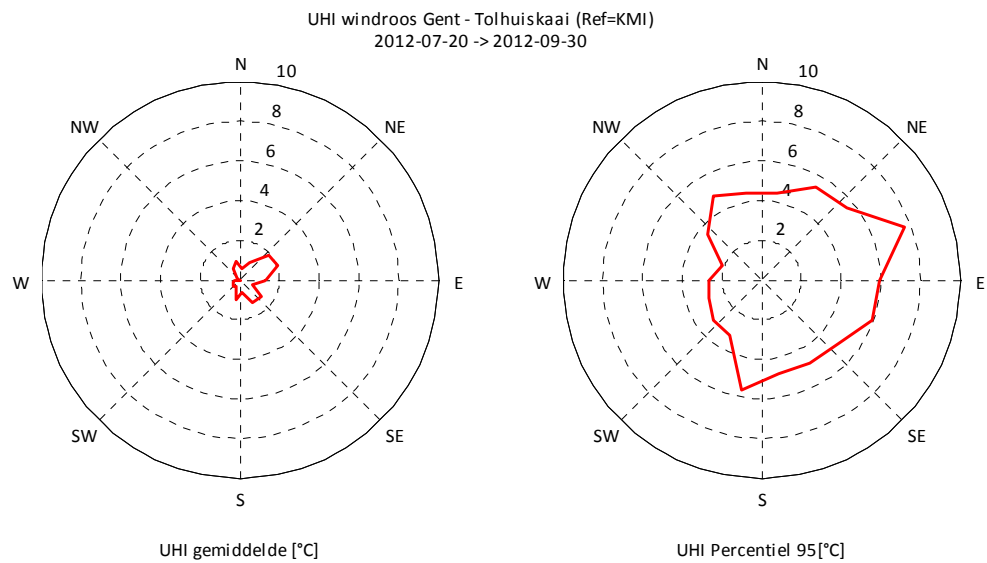
Figuur 29 : UHI windroos voor de Vrijdagmarkt, referentie : KMI station Melle.



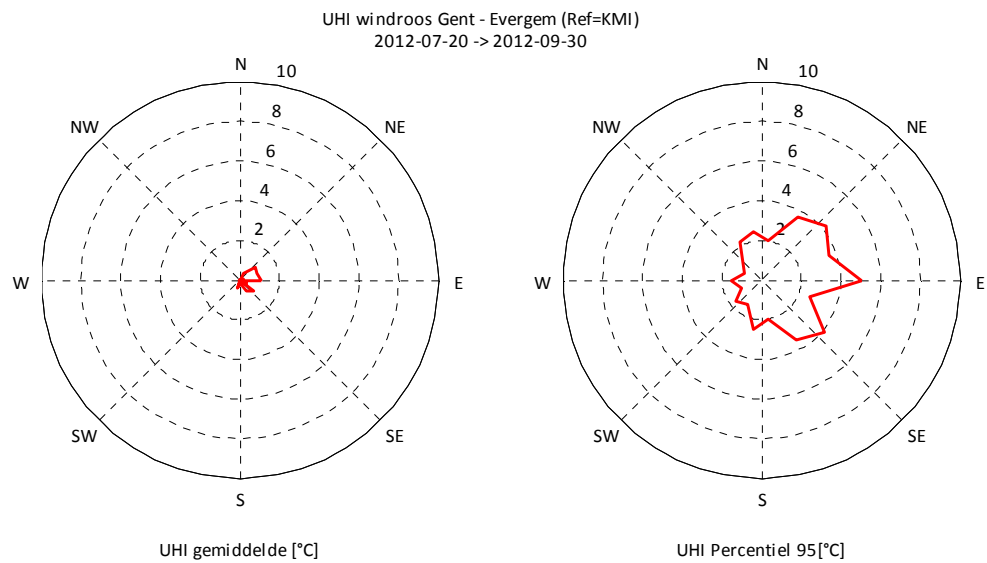
Figuur 30 : UHI windroos voor de meting in Ledeberg, referentie : KMI station Melle



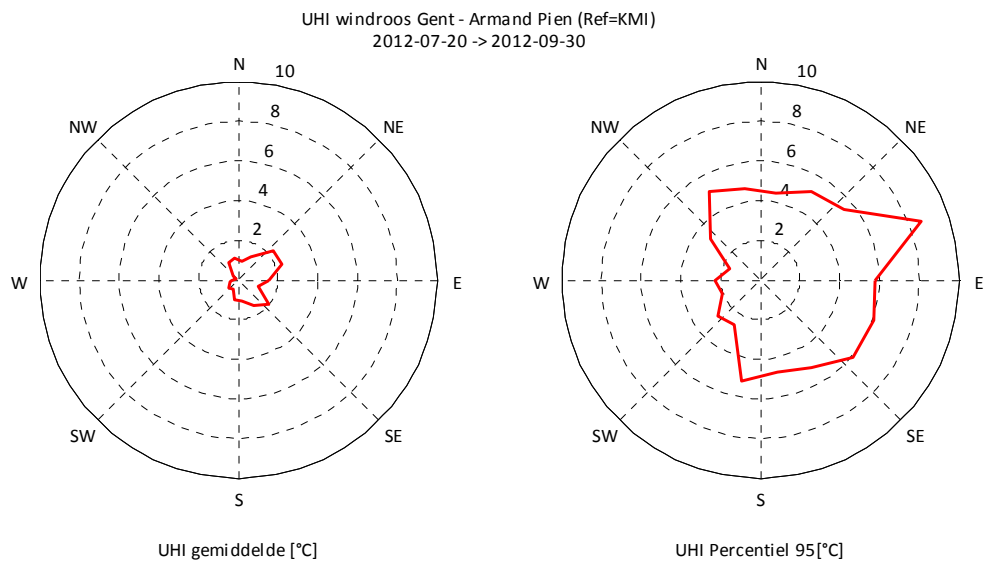
Figuur 31 : UHI windroos voor de Plantentuin, referentie : KMI station Melle



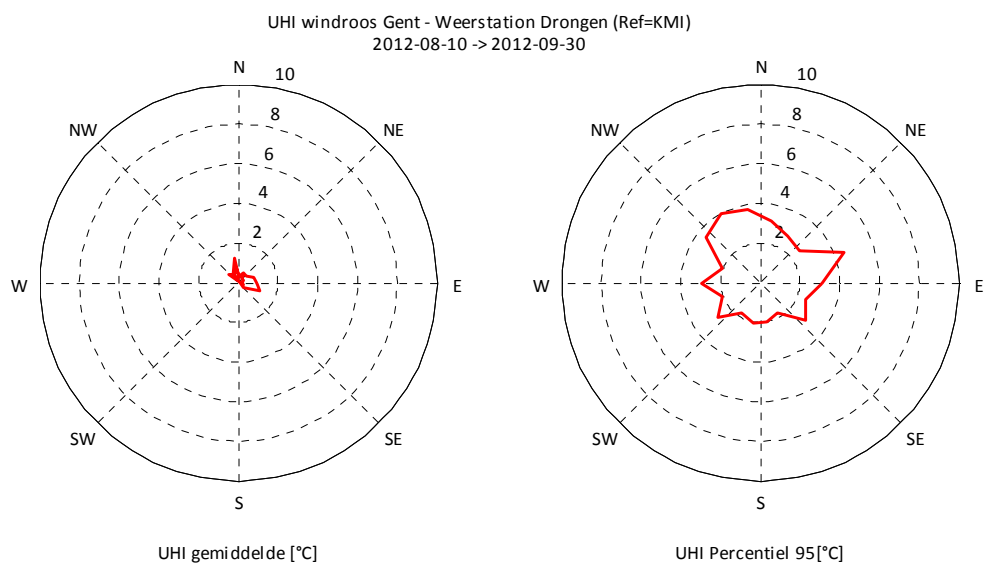
Figuur 32 : UHI windroos voor de VMM meting aan de Tolhuiskaai, referentie : KMI station Melle



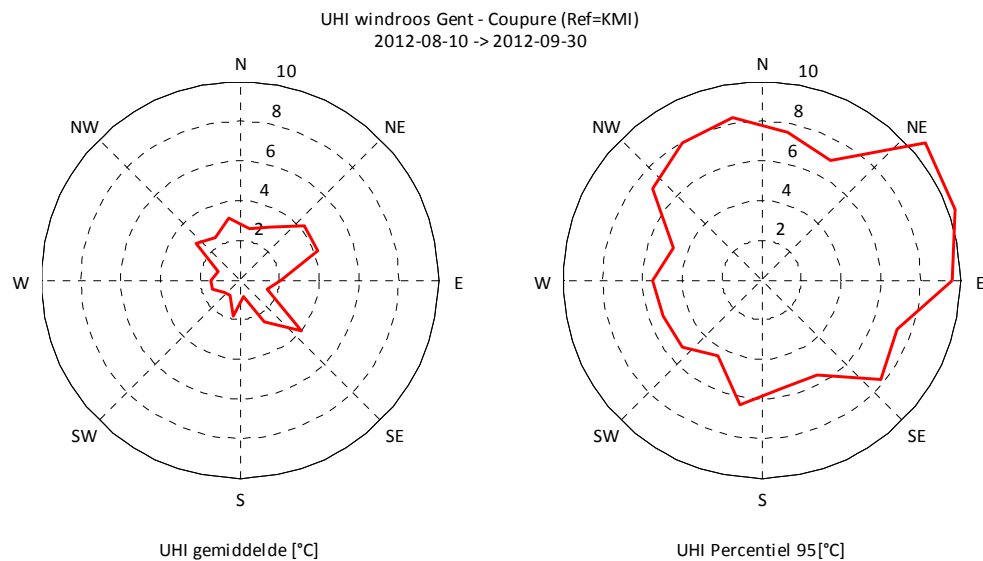
Figuur 33 : UHI windroos voor de VMM meting in Evergem, referentie : KMI station Melle.



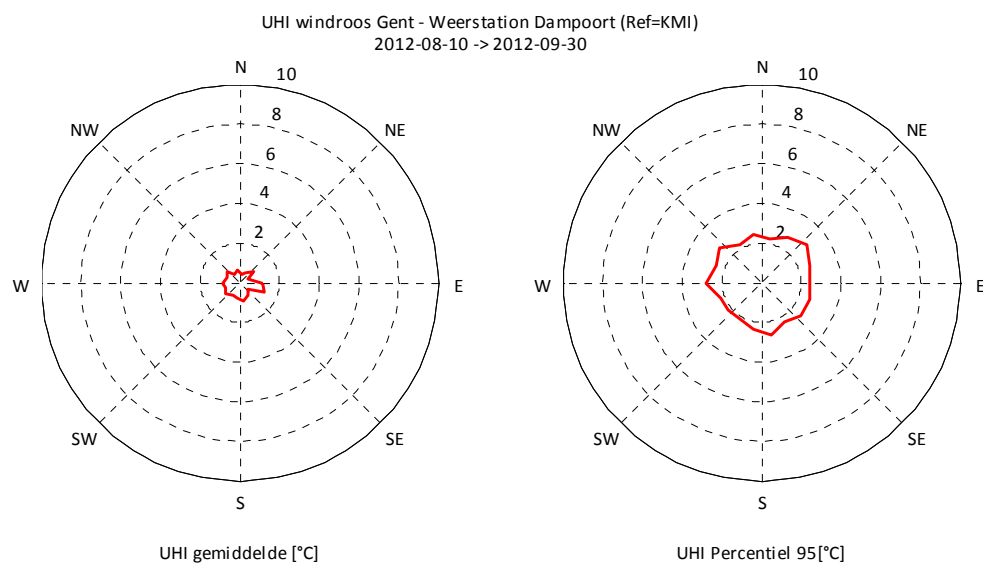
Figuur 34 : UHI windroos voor de UGent meting in het weerstation Armand Pien op de Rozier, referentie : KMI station Melle.



Figuur 35 : UHI windroos voor de hobbymeting in het weerstation Drongen – Baarle, referentie : KMI station Melle



Figuur 36 : UHI windroos voor de UGent meting in het weerstation van de faculteit Bioingenieurswetenschappen op de Rozier, referentie : KMI station Melle.



Figuur 37 : UHI windroos voor de hobbymeting in het weerstation Gent-Dampoort, referentie : KMI station Melle

We merken toch wel een aantal interessante zaken op. Eerst en vooral zien we dat de hoogste intensiteit, zowel wat betreft de gemiddelden als de 95^{ste} percentiel waarden duidelijk bij oostelijke windrichtingen voorkomen. Deze windrichtingen zijn typisch voor anti-cyclonale condities in België met de aanwezigheid van een hogedruk gebied dat meestal met mooi, helder en rustig weer gepaard gaat. Onder dergelijke condities is inderdaad zoals geweten de UHI intensiteit het grootst. Voor de Vrijdagmarkt zien we dat gemiddeld de intensiteit iets groter is bij een noord-oostelijke windrichting, wat ook in de Plantentuin, de Tolhuiskaai, het station Armand Pien en in de metingen

van de faculteit Bio-ingenieurswetenschappen aan de Coupure bevestigd lijkt. Voor wat betreft de maximale intensiteit (P95) is er geen significant onderscheid af te leiden, maar lijkt de oost-zuidoostelijke richting misschien iets dominanter aanwezig.

Voor de dominante zuidwestelijke windrichting kunnen we stellen dat het UHI effect in Gent nooit echt meer dan een 2-3 tal °C bedraagt en gemiddeld gesproken maximaal 1 °C, wat gezien de meetonzekerheid niet echt significant is.

Voor de UHI – roos voor de metingen tot 10 augustus in Ledeberg merken we een iets afwijkende directionaliteit voor wat betreft de P95 statistiek (Figuur 30). We zien een duidelijke ‘pluim’ afkomstig van de noord-noordwestelijke richting. Gezien dit toch min of meer de richting van de stadskern is kan dit misschien deels toe te schrijven zijn aan een soort *urban plume* effect, waarbij lucht die bij passage over de stad opwarmt en windafwaarts getransporteerd wordt. Het is voor die meting echter wel zo dat er in noord-noordwestelijke richting zich op relatief korte afstand een muur bevindt die voor een microschaal effect kan zorgen (hoewel de eerlijkheid ons gebied te stellen dat voor dergelijke microschaal effecten men moeilijk nog over een grootschalige windrichting kan spreken). Wel is het ook zo dat voor de meting aan de Tolhuiskaai, wat net ten noorden van het centrum ligt we een iets uitgesprokener zuidelijke component ontwaren (Figuur 32), dus is het zeker plausibel dat dit *urban plume* effect meespeelt. De significantie ervan dient echter op een meer rigoreuze manier behandeld te worden, maar dit zou ons hier te ver leiden.

We merken zoals hoger ook aangegeven op dat de intensiteit van het UHI effect het hoogst is voor de meting aan de faculteit bio-ingenieurswetenschappen. Hoewel de directionaliteit relatief goed overeenkomt met de overige UHI rozen zien we toch dat de westelijke richtingen in verhouding in de P95 rozen iets sterk tot uiting komt, wat toch een zekere invloed van de inplanting van dit station in z’n omgeving doet vermoeden (bovenaan metalen dak). Dit geldt ook voor de metingen van het hobby station aan de Dampoort, waar relatief weinig directionaliteit te vinden is in zowel de gemiddelde intensiteiten als in P95 waarden.

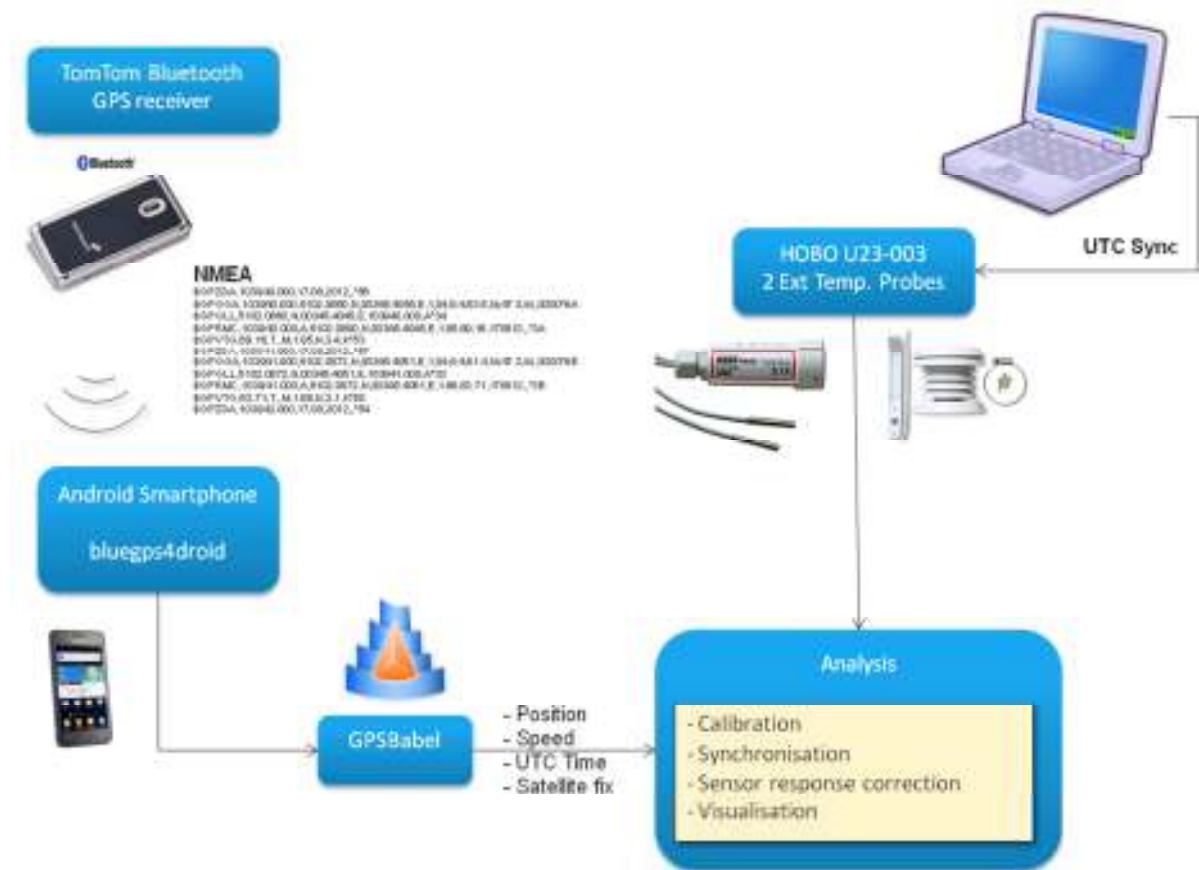
2.2. MOBIELE MEETCAMPAGNE

Naast de meetcampagne met vaste metingen zijn in de zomer van 2012 ook enkele fiets en automobiel transecten door Gent gereden. Deze metingen vonden plaats vrijdag namiddag 17 augustus en in de late avond van zaterdag 18 augustus, op het warmste weekend van de zomer van 2012.

Het dient gezegd dat deze mobiele meetcampagne een vrijwillig initiatief van de opdrachtnemer was dat met beperkte middelen werd uitgevoerd. De resultaten ervan zijn echter zeer relevant voor het voorliggend onderzoek en werden daarom in het kader van dit project in dit document beschreven.

2.2.1. BESCHRIJVING MEETMETHODE

Voor de mobiele metingen in Gent werd gebruik gemaakt van een autonome HOB0 U23-003 sensor met een passief stralingsschild. Daarnaast werd een Bluetooth Tom Tom GPS ontvanger gebruikt, met SiRF III GPS chip voor positiebepaling. Onderstaand schema vat de meetopstelling samen.



Figuur 38 : Samenvattend schema voor de meetopstelling van de mobiele metingen te Gent op 17-18 augustus 2012.

De Tom Tom GPS ontvanger stuurt ruwe NMEA zinnen (standaard 0183) met de GPS informatie door via Bluetooth. Deze data wordt op een Android smartphone ontvangen door middel van de “bluegps4droid” applicatie¹⁹, welke in feite de NMEA zinnen eenvoudig naar een ASCII tekstbestand wegschrijft. Via GPSbabel²⁰ worden deze tekstbestanden met NMEA zinnen omgezet in iets meer hanteerbare ASCII databestanden. Deze bestanden bevatten positie (lat/lon), snelheid, koers, UTC tijds aanduiding en informatie over het aantal GPS satellieten in zicht. De HOB0 sensoren op hun beurt worden via een laptop en een USB-interface module opgestart. Hierbij wordt ook hun interne klok aan de systeemtijd van de laptop aangepast. Het is belangrijk er ons dus van te vergewissen dat de seconden van de laptop systeemtijd perfect synchroon lopen met de UTC seconden van de GPS ontvanger. Dit was het geval voor de metingen in Gent. Uiteraard zal er tijdens de zomer wel een tijdsverschil van 2 uur optreden. We nemen hierbij ook aan dat over de tijdspanne van een mobiele meting (orde van enkele uren), de interne HOB0 klok niet meer dan een seconde zal afwijken van de UTC tijd, ontvangen door de GPS.

Er werden een aantal transecten door Gent gereden, met name Noord-West en Noord-Zuid en dit zoals hoger aangegeven verspreid over 2 dagen. In de namiddag van vrijdag 17/08/2012 werden fietsmetingen verricht tussen 13:00 en 17:00 lokale tijd. Daarna werd nogmaals een transect met de auto gedaan in de vroege avond. In de nacht van 18/08/2012 werden twee transecten door

¹⁹ <http://sourceforge.net/p/bluegps4droid/home/Home/>

²⁰ <http://www.gpsbabel.org/>

Gent gereden tussen 22:00 en 00:00 lokale tijd. De periode viel zoals aangegeven samen met een kleine hittegolf in België, met maximum temperaturen tot 36°C op zondag 19/08/2012. De nacht van 18/08 was volgens het KMI de tweede warmste nacht sinds het begin van de metingen, waarbij de temperatuur in Ukkel niet onder de 23.1 °C is gezakt.

Onderstaande Figuur 39 toont een foto van de fiets waarmee de fietstrajecten op 17 augustus gereden werden.

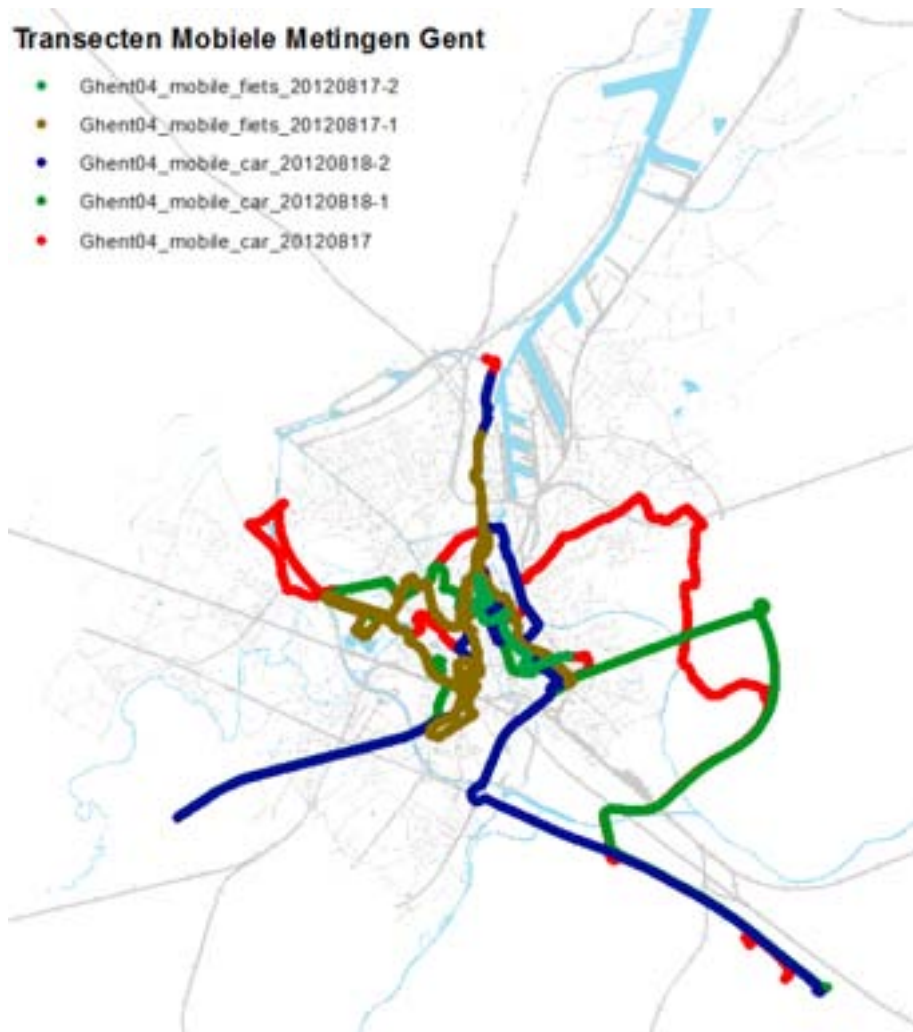


Figuur 39 : Foto van de HOBO U23 sensor vast gemaakt aan de fiets, samen met de GPS ontvanger die voor positiebepaling moet zorgen.

Tabel 6 : Gereden trajecten tijdens de mobiele meetcampagne in Gent op 17-18 Augustus 2012.

Traject	Naam	Vervoersmiddel	Start (lokale tijd)	Einde (lokale tijd)
1	Ghent04_mobile_fiets_20120817-1	Fiets	17/08/2012 ~13:00	17/08/2012 ~16:00
2	Ghent04_mobile_fiets_20120817-2	Fiets	17/08/2012 ~16:00	17/08/2012 ~17:30
3	Ghent04_mobile_car_20120817	Wagen	17/08/2012 ~17:30	17/08/2012 ~19:30
4	Ghent04_mobile_car_20120818	Wagen	18/08/2012 ~22:00	19/08/2012 ~00:00

De effectief gereden trajecten zijn opgelijst in bovenstaande Tabel 6 en afgebeeld in Figuur 40.



Figuur 40 : Overzicht alle transecten gereden in Gent, zowel fietsmetingen als met de auto op 17 en 18 augustus 2012. Enkele transecten overlappen, dus zullen de kaarten hieronder meer duidelijkheid verschaffen per traject.

2.2.2. VERWERKING VAN DE MOBILE GEGEVENS

→ GPS synchronisatie

Gezien het feit dat we vooraf nakaken of de systeemtijd van de laptop die we gebruikten om de HOBO sensoren op te starten gesynchroniseerd was met de UTC klok, kunnen we eenvoudig de GPS gegevens en de temperatuursmetingen synchroniseren op basis van timestamp wat dan ook gedaan is. Het is echter zo dat de tijdsresolutie van de HOBO temperatuursmetingen 1 seconde bedraagt, terwijl de GPS data wel degelijk informatie op microseconde niveau bevatte. We hebben bijgevolg eenvoudigweg de luchttemperatuursmetingen lineair geïnterpoleerd naar de tijdscoördinaten van de GPS klok, deze correcties zijn echter verwaarloosbaar.

→ **Sensor response correctie**

Een belangrijke correctie voor de mobiele metingen is te wijten aan de eindige responstijd van de sensor. Doordat het sensor element zelf een welbepaalde warmtecapaciteit heeft zal dit niet onmiddellijk reageren op temperatuursveranderingen. Dit kan uiteraard nefast zijn voor mobiele metingen en de effectieve ruimtelijke resolutie ervan sterk verlagen indien deze responstijd te lang wordt. Men meet dan immers een uitgesmeerde temperatuursverdeling in plaats van de werkelijke in-situ temperatuur. In dit stuk beschrijven we een correctie methode die dit effect probeert tegen te gaan en dus de oorspronkelijke in-situ luchttemperatuur probeert te reconstrueren.

We stellen de gemeten temperatuur voor met T_m en de werkelijke luchttemperatuur met T_a . Dan is het logisch aan te nemen dat de verandering in de tijd van de gemeten temperatuur evenredig zal zijn met het verschil tussen de gemeten temperatuur (of de temperatuur van het sensor element) en de werkelijke luchttemperatuur. We schrijven dus :

$$\frac{dT_m}{dt} = k(T_a - T_m)$$

Deze vergelijking kan analytisch worden opgelost en we vinden :

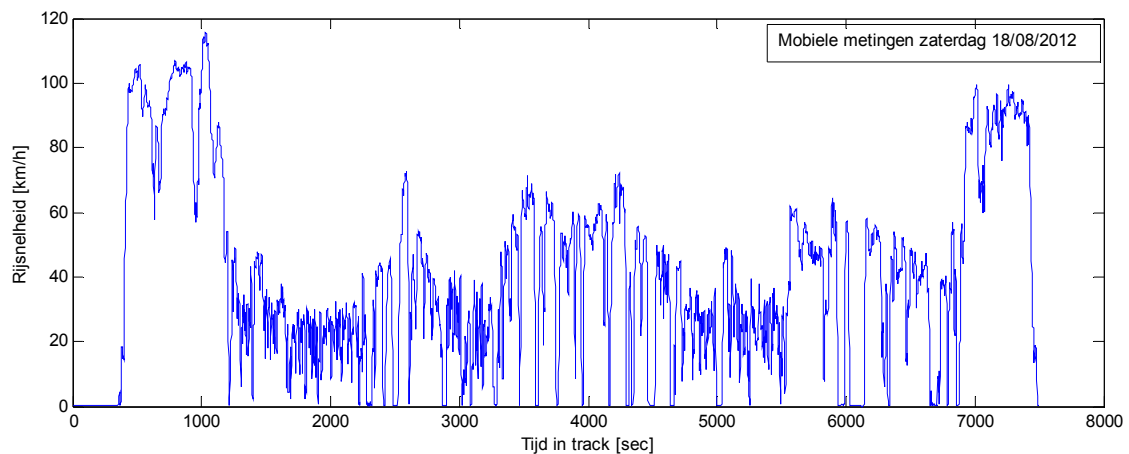
$$T_m(t) = T_a - [T_a - T_m(t_0)]e^{-(t-t_0)/\tau}$$

Waarbij we reeds $1/k = \tau$ stelden. De relatieve respons van de sensor op een temperatuursverandering wordt dan door $1 - e^{-(t-t_0)/\tau}$ gegeven, waaruit blijkt dat τ de tijdsconstante is. Dit is in feite niets anders dan de tijd die de sensor erover doet om 63.2% van een temperatuursverandering 'in te halen'. Wanneer we nu de eerste vergelijking wat herschikken, dan vinden we een manier om de originele luchttemperatuur uit de gemeten luchttemperatuur te reconstrueren :

$$T_a = T_m + \tau \frac{dT_m}{dt}$$

We dienen dus bijgevolg de tijdsconstante τ van de sensor respons te bepalen en de tijdsafgeleide van de gemeten luchttemperatuur. Laat ons beginnen met het laatste probleem. Dit lijkt relatief eenvoudig numeriek, maar het is echter zo dat de eindige resolutie van de luchttemperatuursmetingen de zaak numeriek bemoeilijken. De oplossing die we hiervoor uitdachten is in appendix B opgenomen.

Nu we de tijdsafgeleide hebben kunnen bepalen dienen we nog te corrigeren voor de veranderende responstijd van de sensor bij verschillende rijcondities. Onderstaande grafiek geeft het snelheidsprofiel weer van de rit op zaterdag nacht 18/08.



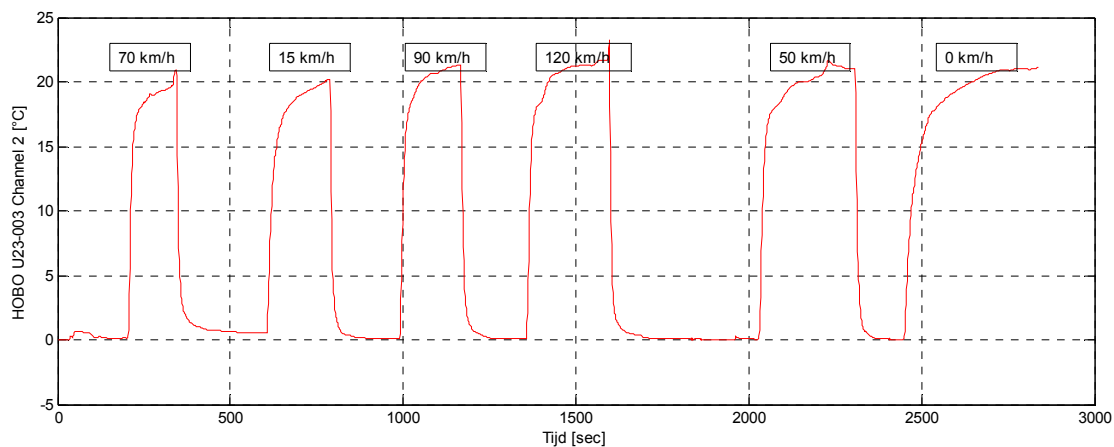
Figuur 41 : Snelheidsprofiel van de rit op zaterdag 18/08. Tijdsbasis in seconden, vertrek was omstreeks 22:00 's avonds lokale tijd.

We zien duidelijk dat er verschillende rijcondities aanwezig zijn, met stukken op snelwegen, provinciebanen en binnenstedelijke gebieden. De ventilatie stroom langs de sensor verandert m.a.w. gevoelig doorheen heel het traject. Doordat bij hogere rijdsnelheden per tijdseenheid meer botsingen zijn tussen de luchtmoleculen en het sensor oppervlak zal de sensor vlugger in thermisch evenwicht met zijn omgeving zijn. We kunnen dus verwachten dat de sensor responstijd gevoelig zal veranderen in functie van de rijdsnelheid.

Om de responstijd als functie van de rijdsnelheid te kunnen uitdrukken werden een aantal metingen verricht op **dinsdag ochtend 21/08/2012**. Op dat ogenblik was het nagenoeg windstil, volledig bewolkt en ongeveer 20 °C. Als temperatuur referentie namen we een thermoskan gevuld met ijswater van ongeveer 0°C. Wanneer we over een voldoende afstand een constante snelheid met het voertuig konden aanhouden, werd een van de sensor elementen uit het ijswater gehaald, heel kort droog gewreven²¹ en aan de luchtstroom voorbij het autovenster blootgesteld gedurende een aantal minuten dat de constante snelheid kon worden aangehouden. Door de volledig bewolkte condities dienden we voor deze calibratie geen stralingsschild te voorzien en konden we makkelijk tijdens het rijden de sensor in en uit het ijsbad nemen en aan de lucht blootstellen.

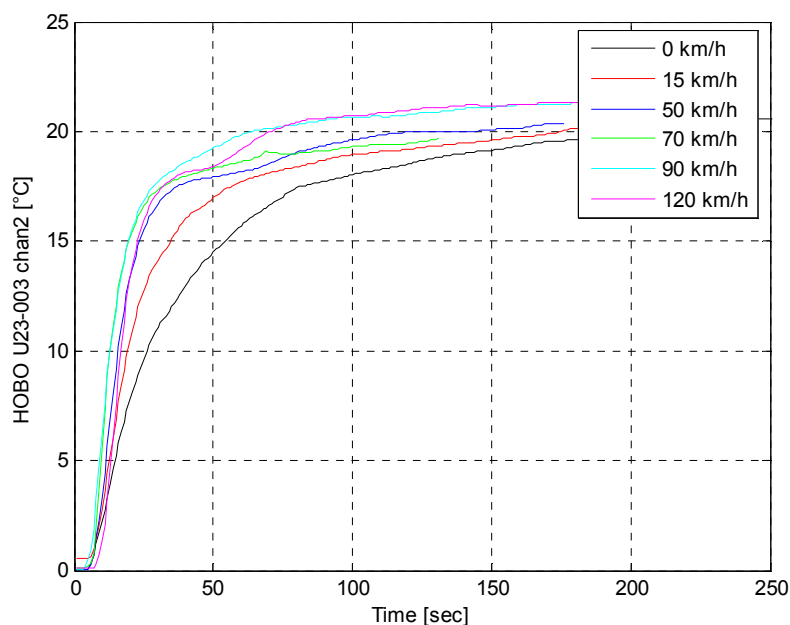
De ruwe metingen worden hieronder in Figuur 42 afgebeeld. Het gereden traject begint niet toevallig aan de kinderopvang Tinkerbel te Muizen bij Mechelen (70 km/h op de Leuvensesteenweg, 15 km/h op de Molenheide laan naar de oprit te Zemst), naar de E19 oprit te Zemst en dan op de E19 richting Antwerpen (een stuk 90 km/h en een stuk 120 km/h). Afrit Berchem in de Craeybeckxtunnel en via de Singel naar de Posthofbrug en de kantoren van VITO in Berchem (50 km/h en 0 km/h op de parking). Er werd telkens gemeten bij een luchttemperatuursaanduiding in de wagen van 20 °C.

²¹ Het sensor element werd slecht éénmaal vlug langs een droog doekje gehaald om de temperatuur niet al te veel te beïnvloeden. Een droge temperatuursreferentie was uiteraard beter geweest.



Figuur 42 : Ruwe gemeten temperatuursprofiel met de responscurves die overeenkomen met het uit het ijsbad halen van de sensor en in de luchtstroom houden. De horizontale as geeft de tijd in seconden weer sinds de start van de meting.

Wanneer we per snelheid de verschillende stijgende flanken van deze grafiek isoleren en op eenzelfde grafiek weergegeven dan zien we reeds een duidelijk verschil tussen de verschillende rijsnelheden (Figuur 43).



Figuur 43 : Ruwe response curves uitgeknipt en op 1 plot weergegeven per snelheid.

Voor 0 km/h zien we duidelijk de traagste stijging van de temperatuur wanneer de probe uit het ijsbad gehaald werd. Vanaf 70 km/h is er weinig onderscheid tussen de curves voor verschillende rijsnelheden.

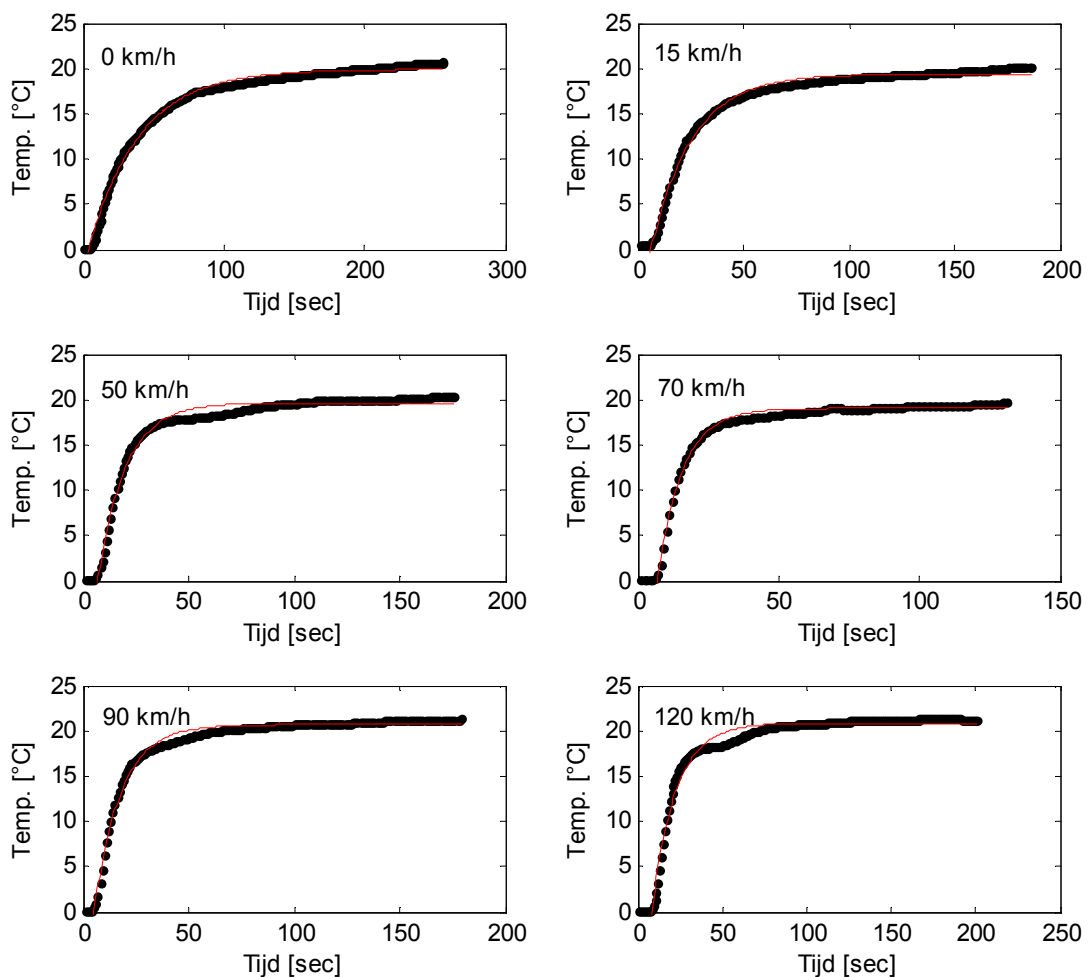
Om de stijgtijd of responstijd van de sensor als functie van de rijnsnelheid uit te drukken zullen we elk van de in Figuur 43 afgebeelde temperatuurscurves fitten met een exponentiële functie :

$$T(t) = T_0 + T_a(1 - e^{-\frac{t-t_0}{\tau}})$$

In deze functie is :

- T_0 : de temperatuuroffset [°C]
- T_a : de asymptotische temperatuur waarnaar de waarden convergeren [°C]
- t_0 : een arbitraire tijdsoffset [s]
- τ : de responstijd van de meting [s]

Het resultaat van het fitten van de verschillende profielen is hieronder afgebeeld in Figuur 44. Hoewel er uiteraard kleine afwijkingen van de beoogde functie zijn in de data is de beschrijving van het temperatuursverloop aan de hand van de exponentiële functie toch relatief bevredigend.



Figuur 44 : Gefitte curves van de responsetijd voor elk van de verschillende rijnsnelheden.

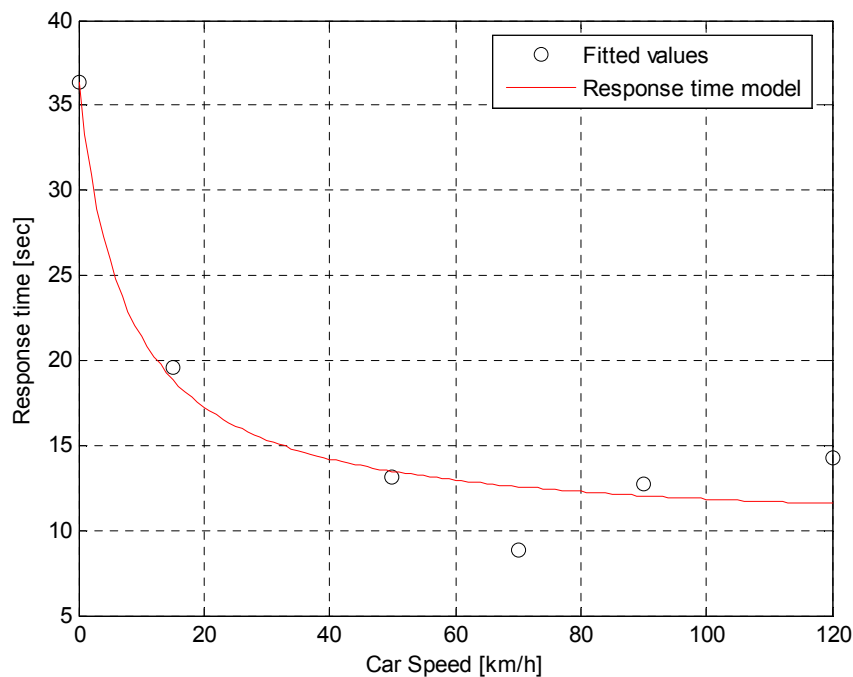
Uit elk van de fits kunnen we vervolgens de tijdsconstante τ halen, welke ons de response tijd geeft bij die rijnsnelheid. Dit is hieronder in Figuur 45 afgebeeld. We zien, zoals verwacht, een duidelijke

afname van de responsetijd bij hogere rijsnelheden, met een afvlakking vanaf 70 km/h. Wanneer we aannemen dat de responsetijd van onze HOB0 sensoren eenvoudigweg omgekeerd evenredig is met de rijsnelheid, dan kunnen we volgend eenvoudig model vooropstellen.

$$\tau(v) = \frac{a_1}{v - a_2} + a_0$$

Waarbij

- $\tau(v)$: de responstijd in functie van de rijsnelheid
- v : de rijsnelheid
- a_0, a_1, a_2 : fitparameters



Figuur 45 : Sensor responstijd als functie van de rijsnelheid en een gefit model.

Uit een regressie analyse vonden we voor de fitparameters die het best bij het geobserveerde verloop passen volgende waarden :

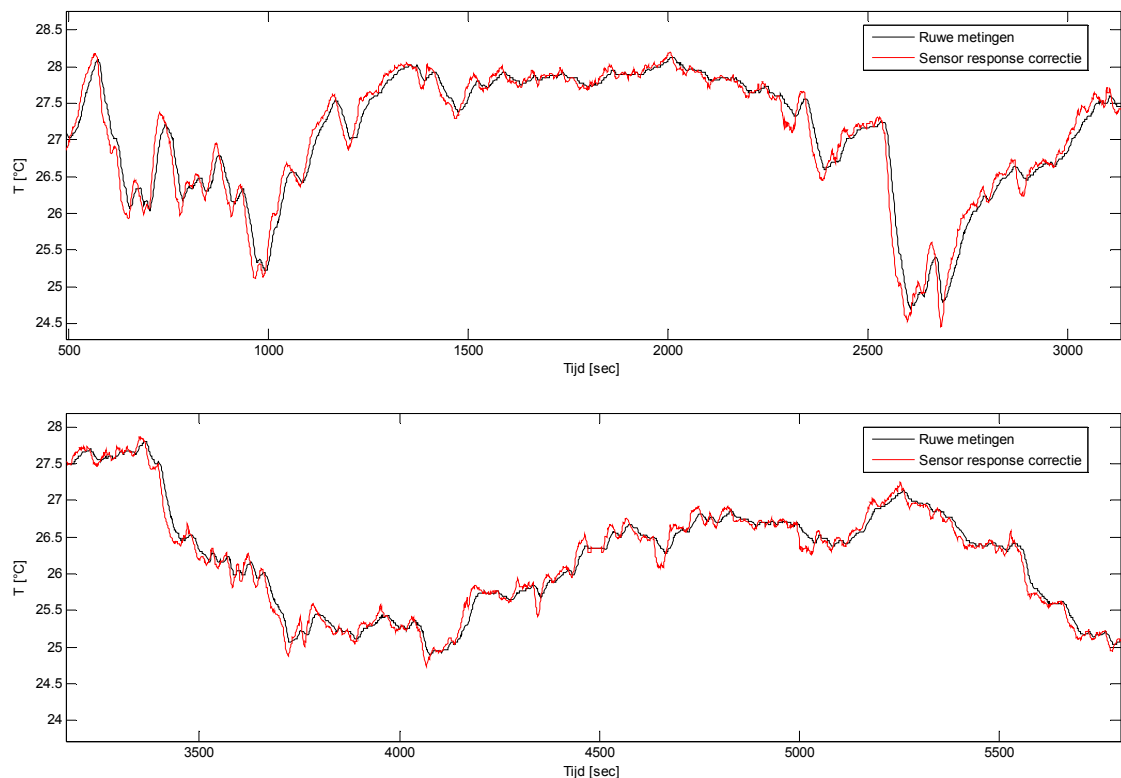
Parameter	Waarde
a_0	9.9789
a_1	201.1217
a_2	-7.6085

Waarbij τ in seconden en v in km/h. Dit model kunnen we vervolgens gebruiken voor het toepassen van de responstijd correctie bij de mobiele metingen. Uiteraard is het zo dat de hoger beschreven metingen slechts een ruwe benadering zijn en dus moeilijk veralgemeend kunnen worden. Zo is de rijsnelheid niet perfect constant tijdens elke meting. Verder is het zo dat het residuele water op de sensor van het ijsbad voor een verstoring kan zorgen. De warmtecapaciteit van water is veel hoger

dan dat van het metalen omhulsel van de sensor, waardoor het iets langer zal duren vooraleer het element in evenwicht is met de luchttemperatuur. Verder is het zo dat de omgevingsluchttemperatuur 20 °C was, het temperatuursverschil met het ijsbad kan misschien ook de responstijd zelf beïnvloeden, maar we gaan ervan uit dat het effect van beide slechts kleine correcties zijn.

Wel is het belangrijk te vermelden dat de metingen van de responsetijd geschieden bij relatief hoge snelheden t.o.v. de werkelijk gereden snelheden van de auto en de fiets op de transecten. Uit Figuur 45 blijkt dan ook echter dat de grootste verandering van responsetijd zich bij deze lagere snelheden voordoen, dus zal er weldegelijk een significante onzekerheid aanwezig zijn op deze correctie.

Wanneer we nu hoger beschreven elementen samenbrengen kunnen we de totale correctie opstellen. Onderstaande figuren illustreren dit in de tijdsreeksen.

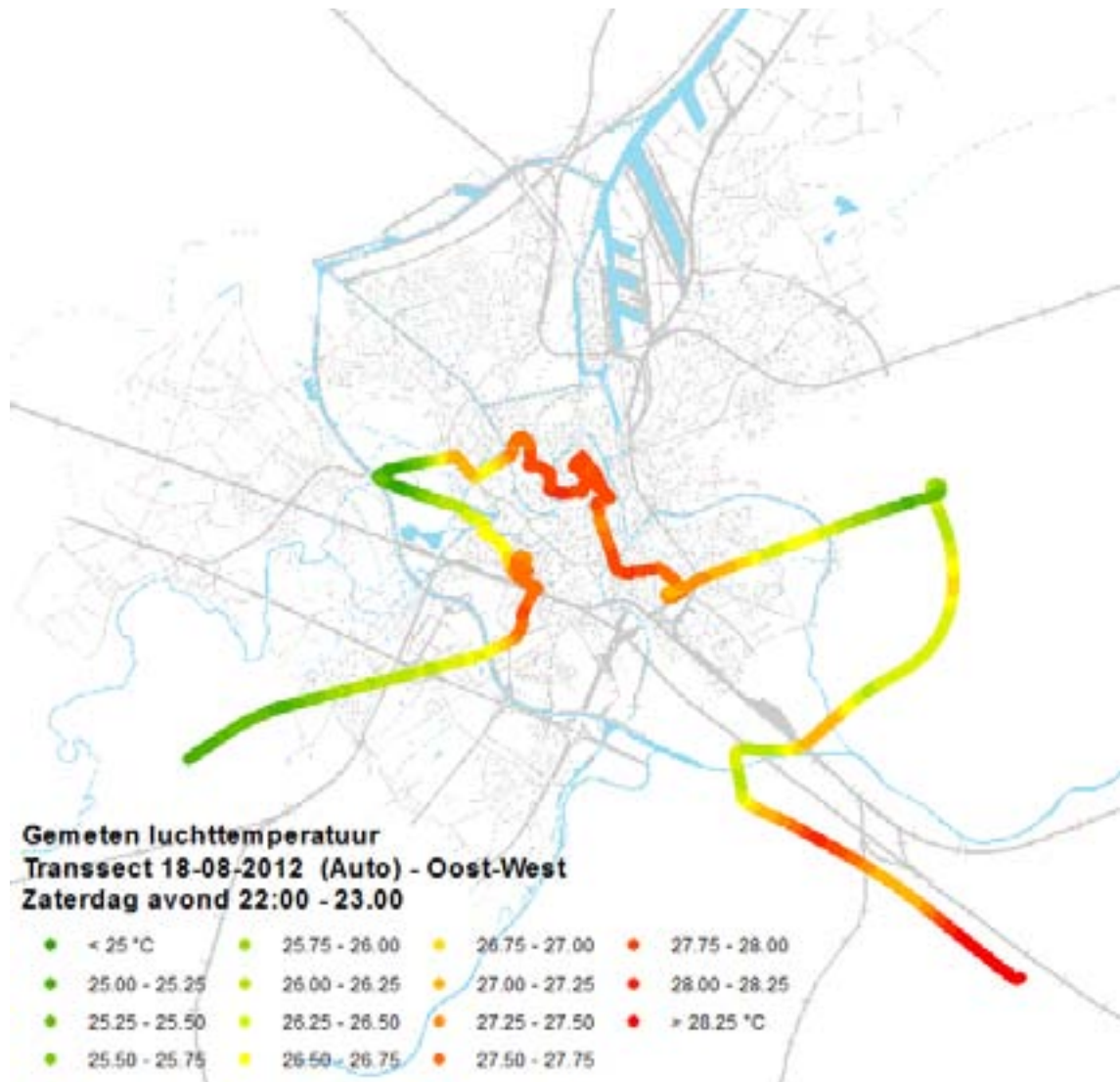


Figuur 46 : Finale sensor response correcties op de tijdsreeksen. We tonen twee stukken uit de transecten die zaterdag 18/08/2012 gereden werden.

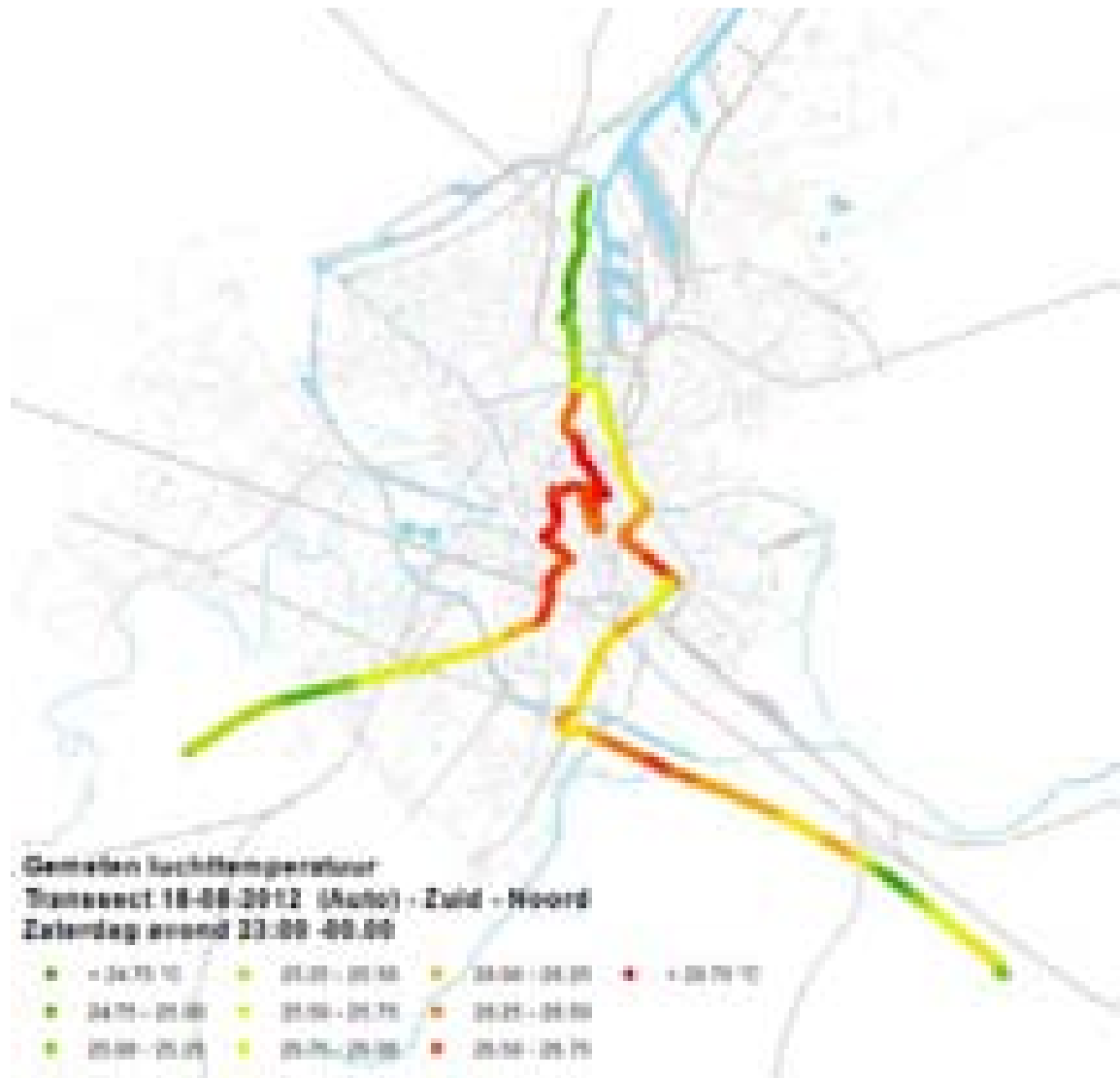
We merken dat de gecorrigeerde tijdsreeksen sterker gepiekt zijn en dat de temperatuursafnames en toenames scherper zijn. Dit is uiteraard het gewenste effect gezien de eindige sensor respons de metingen smooth. Uiteraard wordt het pas interessant wanneer we de vergelijking op een kaart gaan doorvoeren. Dit wordt in volgende sectie beschreven.

2.2.3. RESULTATEN MOBIELE METINGEN

Hieronder geven we eerst en vooral de ruwe metingen weer, i.e. wat we adhv de temperatuursensor gemeten hebben, zonder correctie voor de dagcyclus of sensor respons. We beginnen met de late avond transsecten van zaterdag 18-08-2012.

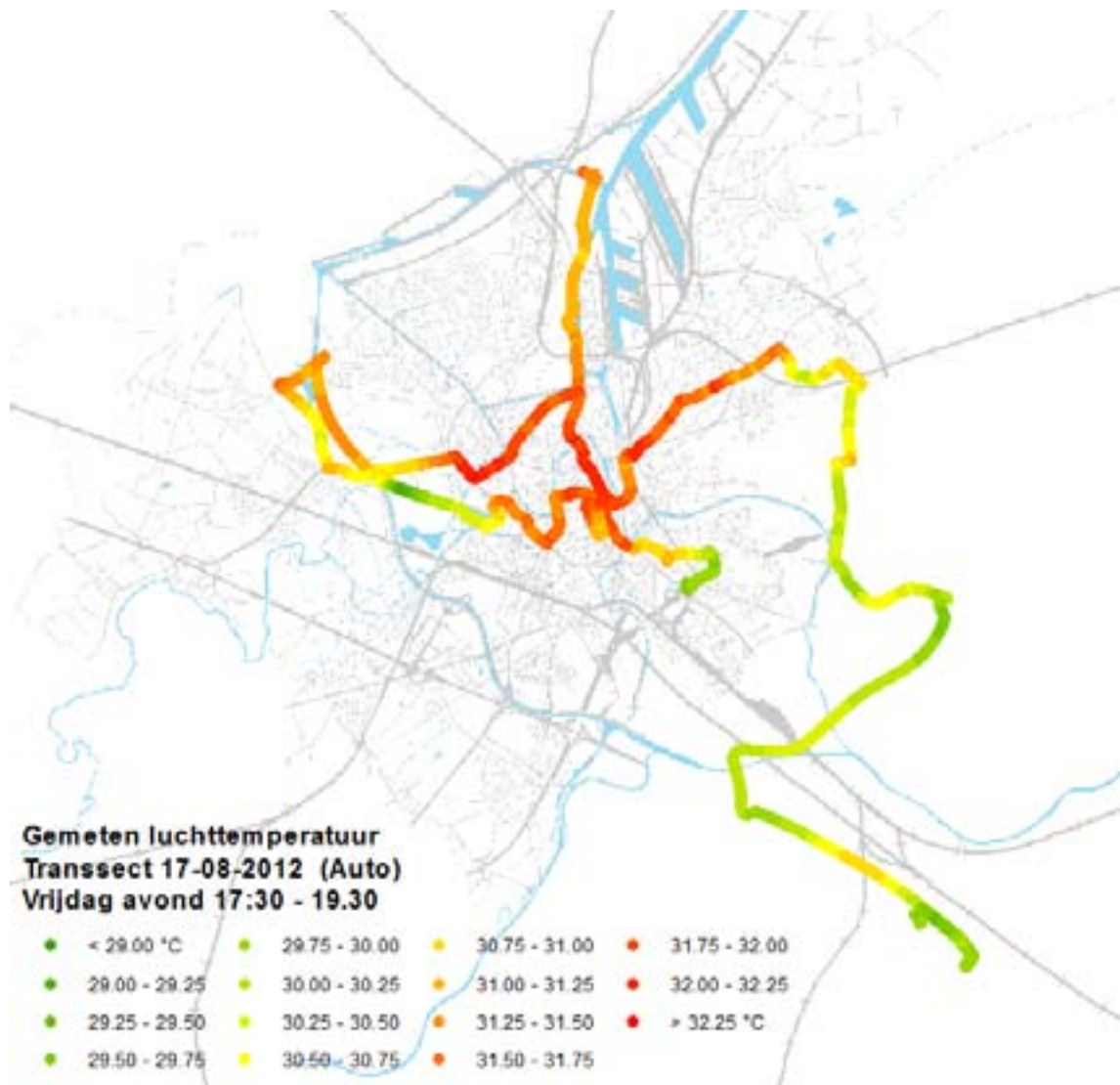


Figuur 47 : Onverwerkte, gemeten luchttemperatuur op zaterdag 18-08-2012 tussen +/- 22:00 en 23:00 lokale tijd (GMT+2). Het transsect werd gereden van oost naar west, vertrekkende op de E40 ter hoogte van het parkeer terrein in Wetteren via de R4 naar de E17, door Gent en dan richting St. Martens-Latem op de Kortrijksesteenweg.

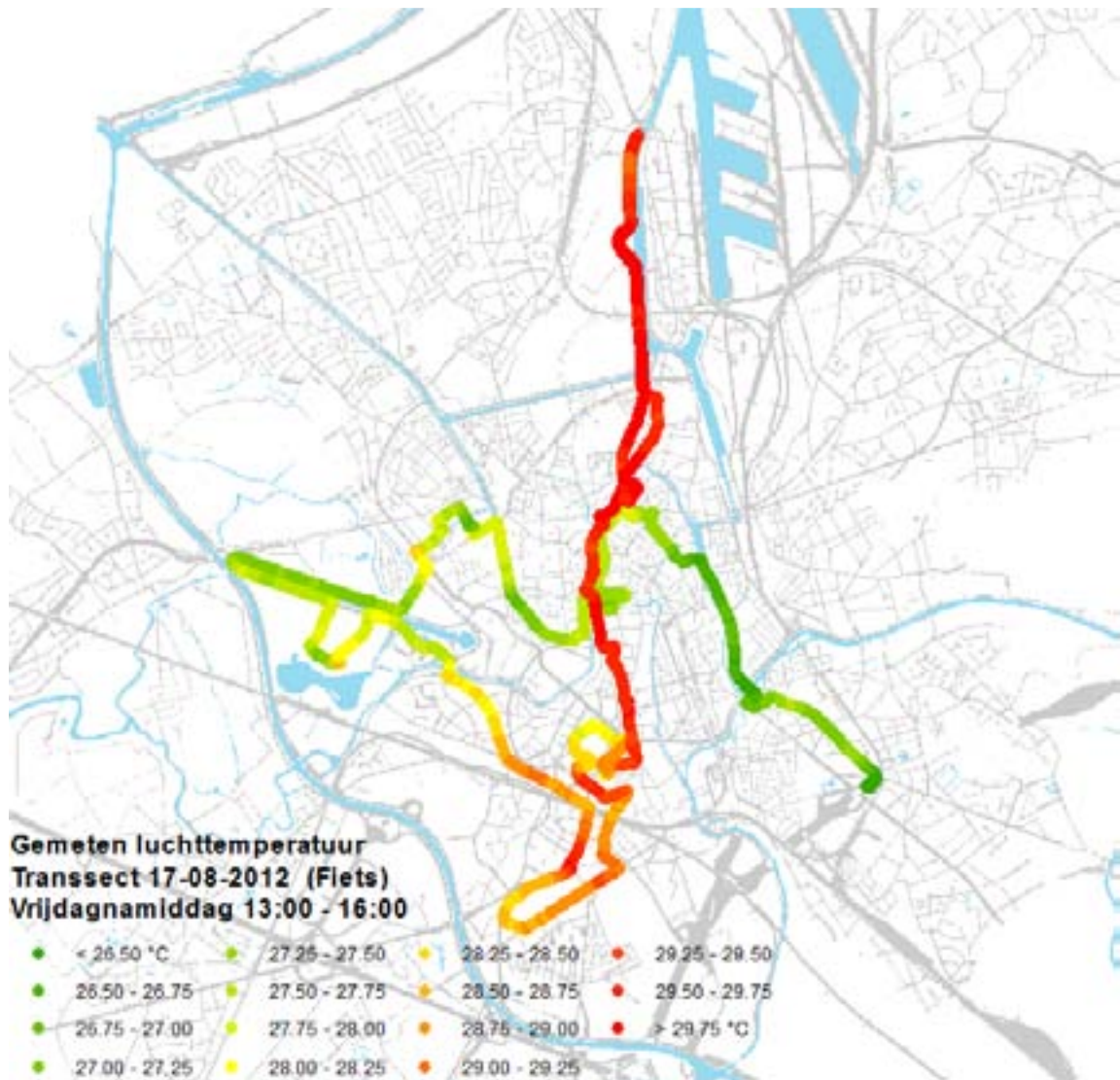


Figuur 48 : Vervolg van hierboven, vanaf 23:00 tot 00:00 GMT+2. Ditmaal eerder in Zuid-Noordelijke richting via de haven en terug langs de Dampoort richting E40.

In deze transecten vinden we een heel uitgesproken hitte-eiland effect, op zich zijn die ook relatief goed interpreteerbaar gezien de transecten elke in een tijdspanne van een uur gereden zijn, nadat de zon is ondergegaan. In onderstaande figuren zijn de transecten van vrijdag 17-08-2012 afgebeeld.



Figuur 49 : Transsect gereden op vrijdagavond 17-08-2012, te beginnen vanaf de park & ride onder het viaduct van de E17 in Gentbrugge opnieuw langs de watersportbaan, de haven, ditmaal door St. Amandsberg en via de secundaire wegen naar de E40 om te eindigen aan de proefhoeve in Melle (waar de vaste sensor werd uitgelezen).

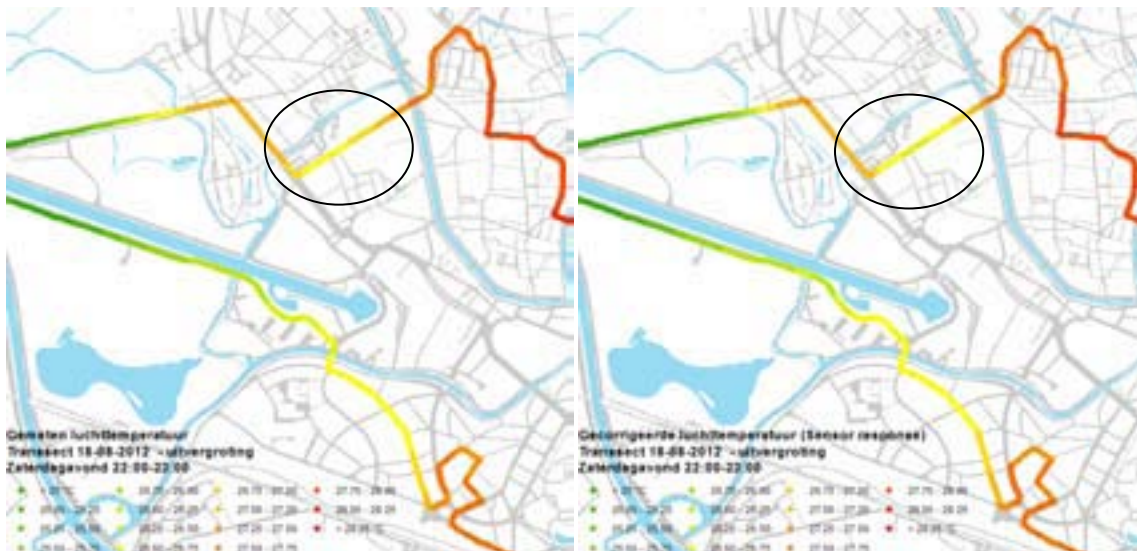


Figuur 50 : Fietstraject tussen 13:00 en 16:00 lokale tijd (GMT+2) op vrijdagmiddag 17-08-2012. We begonnen onder het viaduct van de E17 te Gentbrugge en reden eerst Oost-West richting watersportbaan om vervolgens af te zakken naar de Sterre en daarna richting haven te rijden. Eindigen doen we aan de Vrijdagmarkt aan de gebouwen van de AMRP (UGent). Merk op dat hier geen correctie gedaan is voor de grootschalige temperatuursverandering tussen 13:00 en 16:00.

Uit de metingen van Figuur 50 blijkt duidelijk dat de grootschalige luchttemperatuur op deze dag nog aan het toenemen was. Uiteindelijk is dit traject over een periode van 3 uur gereden. We dienen dus ofwel een correctie toe te passen of op te delen in verschillende subsecties zoals we voor de metingen van zaterdag 18-08 gedaan hebben.

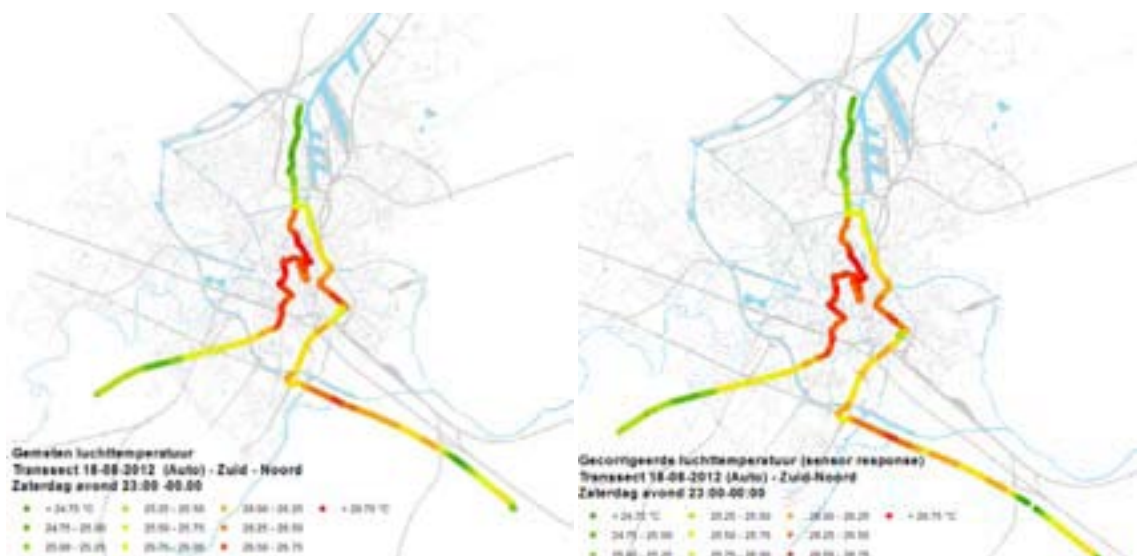
We kijken echter eerst even naar de sensor response correctie in geval van de metingen van zaterdag 18-08-2012. Figuur 73 hieronder geeft een eerste voorbeeld van het effect van deze correctie. Op zich is (zoals reeds uit de tijdsreeksen hoger gegeven) het effect relatief beperkt door de relatief vlugge responstijd van de sensoren. Maar in onderstaande figuur wordt het toch reeds duidelijk dat de gecorrigeerde luchttemperaturen iets scherper zijn afgeleind. Aan de Nieuwe Wandeling is een park gelegen, langs de straat, waar we toch verwachten dat de luchttemperatuur een weinig lager zal zijn. Dit effect komt iets duidelijker tot uiting in het rechterpaneel van Figuur

51 (gecorrigeerde data). Ook de toename van de temperatuur eens terug op de Rooigemlaan is iets nadrukkelijker aanwezig in de gecorrigeerde data. Maar zoals gezegd bleek de correctie toch relatief klein, maar we vonden het belangrijk gezien de aard van mobiele metingen dit toch nauwkeurig te onderzoeken om dubieuze interpretatie van de gegevens te vermijden.



Figuur 51 : Vergelijking tussen ruwe en gecorrigeerde mobiele luchttemperatuurmetingen. De cirkels geven de Nieuwe Wandeling aan. Links zien we de effectief gemeten luchttemperatuur, rechts de gecorrigeerde.

In onderstaande figuur vergelijken we het volledige traject tussen 23:00 en 00:00 op zaterdag nacht (gecorrigeerd vs. ongecorrigeerd), waar we toch op de schaal van Gent relatief weinig verschil merken.



Figuur 52 : Vergelijking tussen gecorrigeerd en ongecorrigeerde traject voor zaterdag 18-08-2012 (23:00 - 00:00).

2.2.4. ANALYSE MOBIELE MEETCAMPAGNE

Interessant wordt het nu wanneer we de mobiele data toch proberen te interpreteren aan de hand van het stedelijk weefsel. Dit zal in iets meer detail worden uitgewerkt wanneer we het hebben over de detectie van de oorzaken van het UHI effect in Gent (Hoofdstuk 5). Maar gezien de mobiele metingen ruimtelijk de meest expliciete en onafhankelijke temperatuursmetingen zijn die we ter beschikking hebben in dit project, leek het ons noodzakelijk om deze te interpreteren aan de hand van de ons ter beschikking gestelde GIS data.

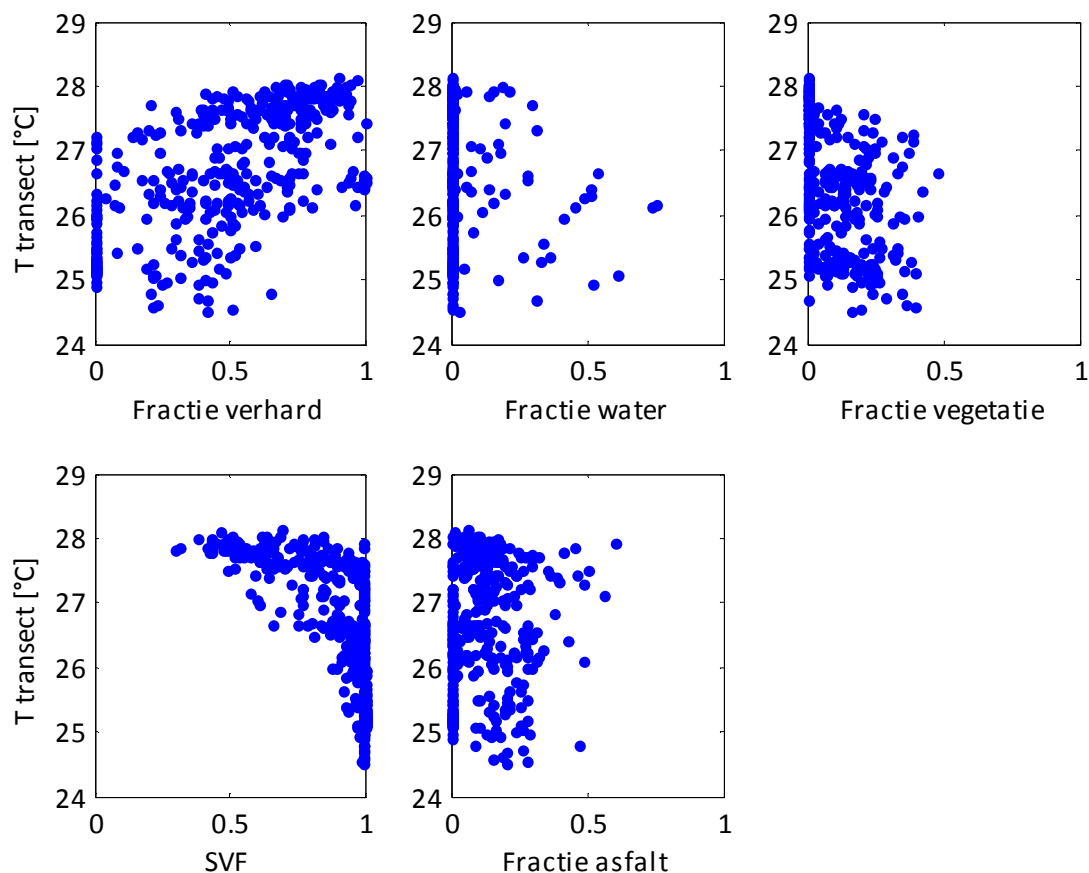
We beperken ons in deze analyse tot het transect van 18 augustus tussen 22:00 en 23:00 (Figuur 47) en zullen hier ook geen correctie doorvoeren voor de grootschalige temperatuursvariatie. Voor de interpretatie van deze data zullen we volgende GIS data gebruiken :

- Fractie **verhard oppervlak** (90 m resolutie), deze GIS laag werd samengesteld op basis van de ons ter beschikking gestelde kadasterkaart "*Kadastrale_gebouwen.shp*" met de gebouwen en de kaart "*wegbaan.shp*".
- **Fractie water** aanwezig in de pixel
- **Fractie vegetatie**. Deze kaart werd op basis van het NDVI beeld van 2006-07-16 samengesteld, waarbij de NDVI waarde werd herschaald tussen 0 en 1 om tot een vegetatie fractie in elke 90m pixel te komen.
- **Sky View Factor** : het gemiddelde van de sky view factor in de street canyons en pleinen op 90 m
- **Fractie asfalt** : dit geeft voor elke 90m pixel de oppervlakte bedekt door asfalt weer en is afgeleid op basis van de "*WIS_materiaalsoorten.shp*" dataset, meer bepaald op basis van het attribuut "materiaals = KWS".

Zoals duidelijk uit de bovenstaande lijst hebben we alle data teruggebracht op het 90 m grid dat we hierna zullen gebruiken voor het voorstellen van de meeste resultaten uit dit project, we verwijzen hiervoor naar de volgende hoofdstukken, waar ook in meer detail de GIS lagen besproken worden. Naar materialiteit toe beperken we ons tot de fractie asfalt als specificatie gezien dit een duidelijk afwijkende (lagere) albedo heeft dan beton en natuursteen, die we onder de totale fractie verhard oppervlak zullen beschouwen.

Onderstaande Figuur 53 geeft enkele eenvoudige scatterplots weer voor de geaggregeerde gemeten luchttemperaturen op 90 m en de boven opgelijste verklarende variabelen. Uiteraard zijn we, gezien dit transect met de auto gereden is, beperkt om te meten enkel op de lokaties waar we met de auto kunnen rijden, zodat bijvoorbeeld de sampling van de lokaties met vegetatie iets minder representatief is, zoals ook blijkt uit de figuur.

We zien heel uitgesproken de correlatie met de fractie verhard oppervlak en de sky view factor. Met vegetatie zien we een licht negatieve correlatie zoals verwacht, maar zoals gezegd is de sampling voor dit transect misschien niet optimaal.



Figuur 53 : Correlatie analyse van de opgelijste parameters t.o.v. de gemeten luchttemperatuur op het beschouwde transect, geaggregeerd op 90 m.

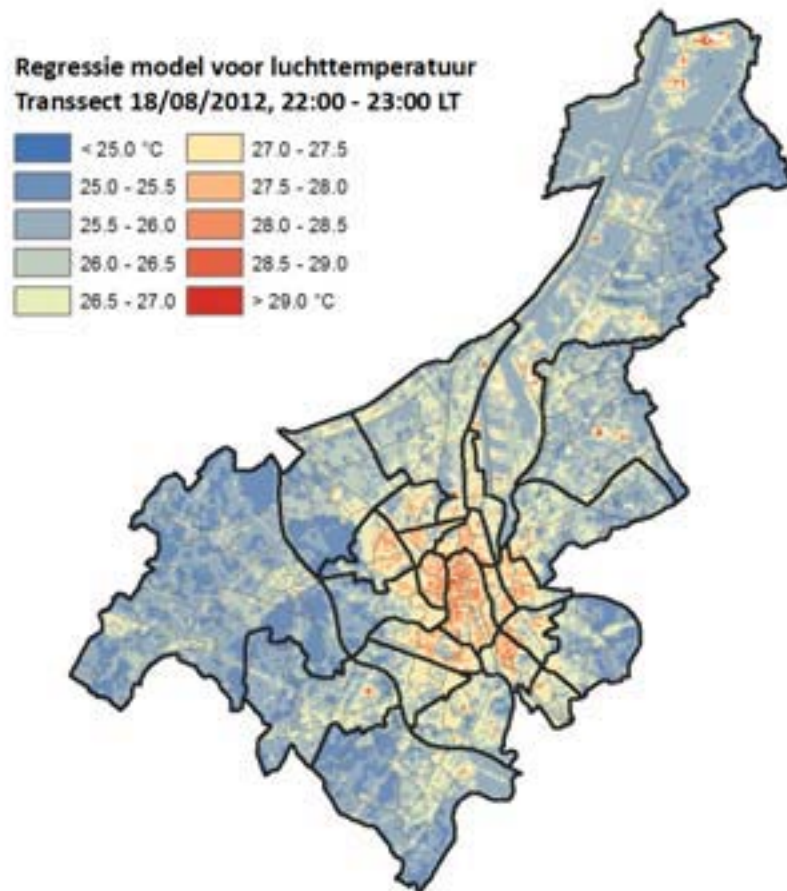
Uit een eenvoudige lineaire regressie van deze verklarende factoren en de gemeten luchttemperatuur op dit transect (Figuur 47) vinden we :

Tabel 7 : Regressie parameters voor de verklarende variabelen voor de gemeten luchttemperatuur van het bestudeerde transect van 18/08/2012. De eerste rij geeft de regressie coëfficiënt aan met de onzekerheid erop in de rij eronder. De p-waarde is een maat van met welke significantie de regressie coëfficiënt van beschouwde parameter verschilt van 0 en dus duidelijk bijdraagt tot het verklaren van het patroon. Indien $p < 0.05$ is de parameter significant.

$T_a =$	Constante	Fractie verhard	Fractie water	Fractie vegetatie	SVF	Fractie asfalt
a_i	28.36	1.04	-0.21	-1.36	-2.38	0.15
σ_{ai}	0.27	0.16	0.34	0.40	0.27	0.32
p-waarde	0.000	0.000	0.5398	0.008	0.0000	0.6359

De ruimtelijke variantie van het gemeten transect van dit model bedraagt : $R^2 = 0.56$, wat op zich zeker niet slecht te noemen is. We zien verder ook dat voor de gevoeligheden die uit de regressie analyse komen we zien dat de meest significante parameters de fractie verhard oppervlak, de vegetatie en de sky view factor zijn. Voor het gereden transect onder beschouwing is de fractie water en de fractie asfalt in de regressie niet significant (95 % CL) voor het verklaren van de ruimtelijke variabiliteit.

Het verdient zeker aanbeveling om deze analyses verder uit te diepen. Hiervoor is echter geen ruimte meer binnen het kader van dit project. Wel is het interessant en mogelijk om op basis van deze gegevens een inschatting te maken van het ruimtelijk patroon voor Gent voor de luchttemperatuur, zeker ter vergelijking met de verder afgeleidde CLUHI kaarten op basis van de modellering aan de hand van het URBCLIM model.



Figuur 54 : Regressie model voor de luchttemperatuur op 18/08/2012 tussen 22:00 en 23:00 s' avonds lokale tijd. Deze kaart geeft dus een eerste inschatting van de ruimtelijke verdeling van de luchttemperatuur, op basis van het gereden transect. Aan de hand van de correlatie tussen verschillende verklarende factoren : SVF, fractie verhard oppervlak, fractie vegetatie en fractie water werd een regressie model gefit, wat vervolgens werd toegepast op het ganse grondgebied. Let wel dat het hier dus om een eerste inschatting gaat gezien we in verdere hoofdstukken een volledige deterministische modellering zullen opzetten voor het berekenen van de luchttemperatuur.

HOOFDSTUK 3. ANALYSE VAN HET OPPERVLAKTE HITTE-EILAND EFFECT IN GENT

Bino Maiheu - VITO

In dit hoofdstuk analyseren en brengen we het zogeheten oppervlakte hitte-eiland effect of *surface urban heat island* (SUHI) van Gent in kaart. Onder “surface urban heat island” verstaan we het verschijnsel dat de oppervlakte temperatuur van een stad gevoelig hoger kan zijn dan de omringende rurale omgeving. We dienen hier vanaf het begin reeds duidelijk te maken dat we in dit hoofdstuk zullen spreken over de *oppervlakte*temperatuur, waarmee we de kinetische temperatuur van het oppervlak (bvb. de straatstenen, muren, bladtemperatuur in parken) bedoelen, niet de luchttemperatuur. Dit is een niet onbelangrijk onderscheid dat duidelijk gemaakt dient te worden om misinterpretatie van de resultaten tegen te gaan. Oppervlakte – en lucht hitte-eilanden verschillen sterk in de manier waarop ze tot stand komen, de technieken om ze te identificeren, de gevolgen en in zekere mate ook de beschikbare methoden voor mitigatie (US-EPA, 2013). Tabel 8 hieronder lijst enkele kenmerken op van oppervlakte en canopy layer hitte-eilanden :

Tabel 8 : Basis karakteristieken van oppervlakte en atmosferische hitte-eilanden. Naar (US-EPA, 2013), zie ook <http://www.epa.gov/heatisld/>

Eigenschap	Oppervlakte Hitte-eiland (SUHI)	Lucht (canopy layer) hitte-eiland (CLUHI)
Dagcyclus	- Aanwezig gedurende ganse dag en nacht; - Meest intens overdag en in de zomer	- Klein of zelfs negatief overdag; - Meest intens tijdens de nacht
Intensiteit (piek intensiteit)	- Sterke ruimtelijke en temporele variatie - Intensiteit : tot 10 – 15 °C (dag), 5 tot 10 °C (nacht)	- Minder ruimtelijke variatie - Intensiteit overdag -1 tot 3°, 's nachts tot 7 – 12 °C
Identificatie methode	- Indirect meting : remote sensing (satelliet)	- directe meting : weerstations, mobiele metingen

De oppervlakte temperatuur is belangrijk in die zin dat zij in belangrijke mate ook de modulatie of dagcyclus van de luchttemperatuur gaat bepalen. Hogere oppervlakte temperaturen zullen voor een hogere warmteflux en bijgevolg sterkere opwarming van de atmosfeer zorgen. De invloed is echter indirect. Parken en begroeide zones in de stad hebben typisch lagere oppervlakte temperatuur en zullen dus ook bijdragen tot een lagere luchttemperatuur. Dicht bebouwde zones aan de andere kant zullen typisch een hogere luchttemperatuur kennen, maar doordat de lucht niet ter plaatse blijft hangen en er dus menging optreedt is de relatie tussen oppervlakte temperatuur en luchttemperatuur niet eenvoudig of eenduidig vast te leggen. Veel hangt af van de exacte eigenschappen van het oppervlak : warmtecapaciteit, albedo, emissiviteit, vochtgehalte, ruwheid, maar dus ook de karakteristieken van de atmosfeer zoals de windsnelheid, stabiliteit en de turbulente menging.

Oppervlaktetemperatuur, zoals in de tabel aangegeven, wordt typisch aan de hand van remote sensing en meer bepaald satellietdata in beeld gebracht. In (JA Voogt and TR Oke, 2003) wordt uitgebreid ingegaan op het wetenschappelijk gebruik van satelliet data voor stedelijke klimaatsstudies gezien er toch enige voorzichtigheid geboden is bij de interpretatie van satelliet data. Enkele aspecten hieruit zullen we in de volgende inleidende tekst van dichterbij bekijken. Daarna beschrijven we in detail de oppervlakte temperatuursbeelden die we voor Gent opvraagden, verwerkten en analyseerden.

3.1. INLEIDING

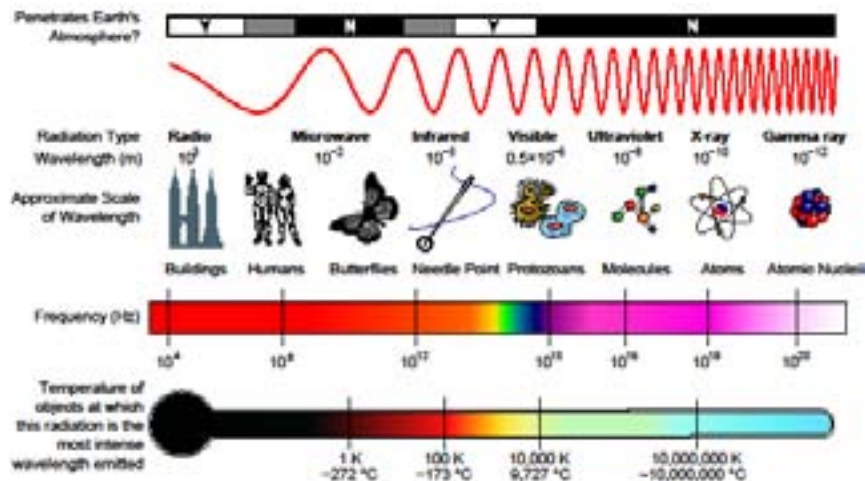
3.1.1. AFLEIDEN VAN OPPERVLAKE TEMPERATUUR OP BASIS VAN SATELLIET GEGEVENS

Elk lichaam met een zekere temperatuur T boven het absolute nulpunt zendt elektromagnetische straling uit met een golflengte (λ) afhankelijke radiantie B uit volgens de gekende wet van Planck :

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2\varepsilon_{\lambda}hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$

Waarin h , c en k_B respectievelijk de constante van Planck, de lichtsnelheid en de constante van Boltzmann. Deze wet geldt echter slechts voor een ideale zwarte straler²². In realiteit zullen verschillende materialen een verschillende emissiviteit ε_{λ} hebben, die sterk van de golflengte van de uitgezonden elektromagnetische straling kan afhangen en de verhouding weergeeft van de in werkelijkheid uitgestraalde energie t.o.v. de energie uitgestraald door een ideale zwarte straler bij dezelfde temperatuur. De golflengte waarbij het maximaal vermogen wordt uitgestraald kan eenvoudig berekend worden op basis van de zogeheten verschuivingswet van Wien : $\lambda_{max} = b/T$, waarin b de constante van Wien, met name 2.89777×10^{-3} Km. Het is dus zo dat objecten op een typische temperatuur van 20 °C of 293.15 K preferentieel straling in het thermisch infrarode (TIR) deel van het elektromagnetisch spectrum uitzenden, bvb. $\lambda_{max}(20^{\circ}\text{C}) = 9.88 \mu\text{m}$.

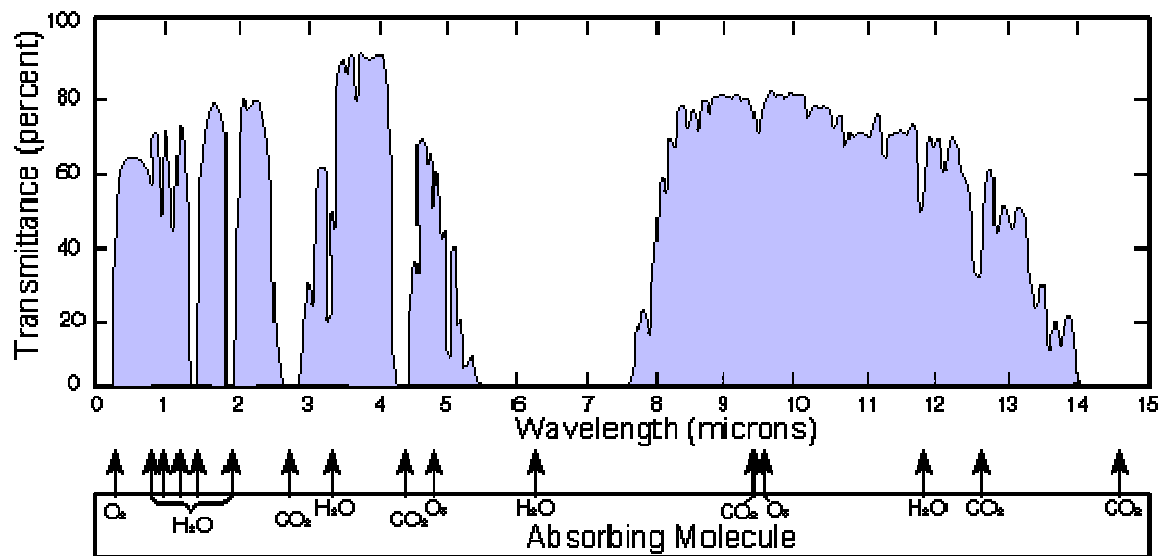
²² http://nl.wikipedia.org/wiki/Zwarte_straler, Een zwarte straler is een geïdealiseerd object dat alle elektromagnetische straling die erop invalt absorbeert (en dus niet reflecteert).



Figuur 55 : Schematische voorstelling van het elektromagnetisch spectrum.(Bron: http://nl.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisch_spectrum)

Het EM spectrum is hierboven in Figuur 55 afgebeeld. Door de aanwezige waterdamp en broeikasgassen in de aardatmosfeer wordt een deel van deze IR straling geabsorbeerd (zie Figuur 56). Het is echter zo dat voor een aantal “banden” de absorptie relatief beperkt is, en de atmosfeer transparant²³ is voor IR straling.

²³ Uiteraard in de afwezigheid van wolken...



Figuur 56 : Absorptie karakteristiek van de aardatmosfeer het infrarode deel van het EM spectrum. De grafiek toont het percentage van de IR straling dat bij een bepaalde golflengte door de atmosfeer wordt doorgelaten. De verschillende absorptiebanden, veroorzaakt voornamelijk door waterdamp (H_2O) en het broeikasgas CO_2 zijn onderaan weergegeven. (Bron: <http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared>)

Eén van deze banden is de zogeheten TIR (Thermisch Infrarood) band tussen 8 en 14 μm . We kunnen met andere woorden deze TIR straling vanuit de ruimte waarnemen door middel van satellieten. Er zijn momenteel een hele reeks TIR sensoren in omloop allemaal met verschillende ruimtelijke resolutie en terugkeer frequentie. Gaande van een resolutie van 4-5 km met een opname frequentie van 15 minuten (SEVIRI²⁴ instrument aan boord de Meteosat Second Generation satelliet (MSG)), tot een ruimtelijke resolutie van 60 m met een terugkeer periode van een tweetal weken (Landsat 7 ETM+).

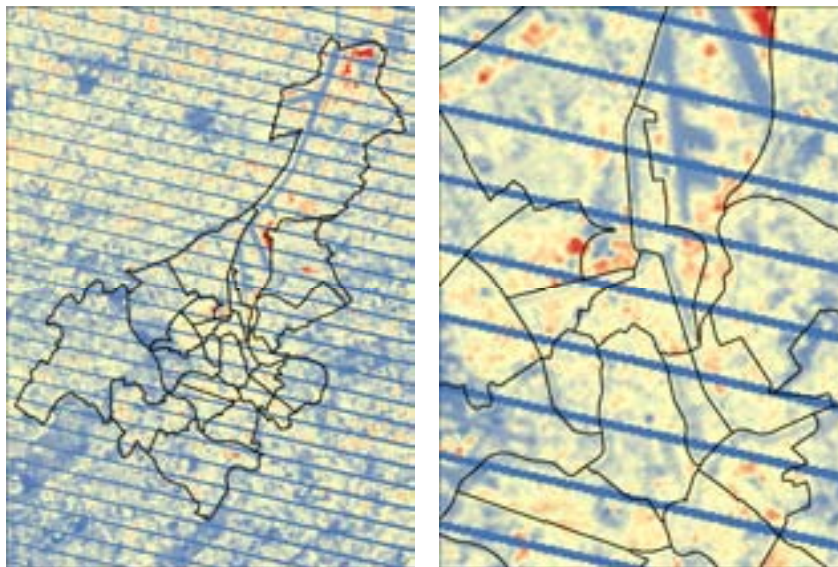
Een belangrijke opmerking die we in deze dienen te maken is het feit dat deze TIR sensoren geen “temperatuur meten”, zoals vaak populariserend wordt aangegeven. Deze sensoren meten de intensiteit van de invallende infrarode straling aan de top van de atmosfeer in een aantal golflengtes, *banden of kanalen*. Op basis van deze IR intensiteiten kunnen we echter wel een inschatting doen van de temperatuur van het oppervlak dat de straling uitzond. Hier gaat echter wel een uitgebreide verwerkingsketen aan vooraf met sensor calibratie en correcties voor de aanwezige waterdamp in de atmosfeer en dus bijhorende absorptie van de infrarode straling. Gezien de atmosfeer zelf ook een “warm lichaam” is zal die ook IR straling uitzenden, waarvoor moet gecorrigeerd worden indien men de temperatuur van het oppervlak wenst af te leiden. We zullen hier niet dieper op ingaan in dit rapport, maar het is niet onbelangrijk dit even te vermelden.

Een belangrijke factor in het bepalen van de werkelijke *kinetische* temperatuur van het oppervlak is de emissiviteit ϵ_λ van dat oppervlak. Deze grootheid is aan het begin van deze inleiding reeds kort geïntroduceerd. Men kan heel duidelijk zien dat het kennen van de radiantie B_λ alleen niet voldoende is voor het terugrekenen naar de temperatuur T . Men dient rekening te houden met de emissiviteit, wat een materiaal constante is die kan variëren tussen 0 en 1. Metalen hebben typisch

²⁴ Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI), zie: (Aminou et al., 2002, 1997)

een heel lage emissiviteit, zeker wanneer het gaat om gepolierde oppervlakken. Typische constructie materialen (beton, baksteen, ...) hebben een emissiviteit tussen de 0.80 en 0.95. Niettegenstaande het feit dat de emissiviteit van heel wat materialen goed gekend²⁵ is, is het een factor van grote onzekerheid in het afleiden van de oppervlakte temperatuur uit TIR satelliet data. Een fout van een paar procenten in de emissiviteit kan al gauw een aantal graden verschil in temperatuur opleveren.

De toepasbaarheid van verschillende technieken voor het afleiden van de emissiviteit hangt af van de hoeveelheid beschikbare TIR kanalen in het instrument in kwestie. Voor de Landsat TM/ETM+ instrumenten (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>) is er telkens slechts 1 beschikbare TIR band (10.4-12.5 μm), wat de toepasbaarheid van het instrument voor afleiden van oppervlakte temperatuur of Land Surface Temperature (LST) enigszins beperkt. Daarenboven is het zo dat bij Landsat 7 sinds 2003 zich een probleem voordoet met de zogeheten Scan-Line-Corrector (SLC) (Markham et al., 2004), waardoor de coverage van de Landsat ETM+ data beperkt is. Voor Gent is dit probleem heel duidelijk zichtbaar in onderstaande afbeelding van een Landsat 7 ETM+ scene, genomen op 2011-05-03 om 11:33 lokale tijd.



Figuur 57 : Voorbeeld van het ETM+ SLC probleem voor Landsat 7 ter hoogte van Gent. De kleurschaal is slechts indicatief en gebaseerd op de ruwe digital counts van het Landsat 7 TIR kanaal.

Hoewel goede resultaten behaald zijn met Landsat gebaseerde LST, zeker over natuurlijk terrein (Coll et al., 2010) en er een aantal verschillende algoritmen beschikbaar zijn voor het afleiden van LST op basis van 1 TIR kanaal (J a. Barsi et al., 2003; J a. Barsi, 2005; Jimenez-Munoz et al., 2009), is Landsat niet de beste optie voor het afleiden van stedelijke oppervlakte temperatuur.

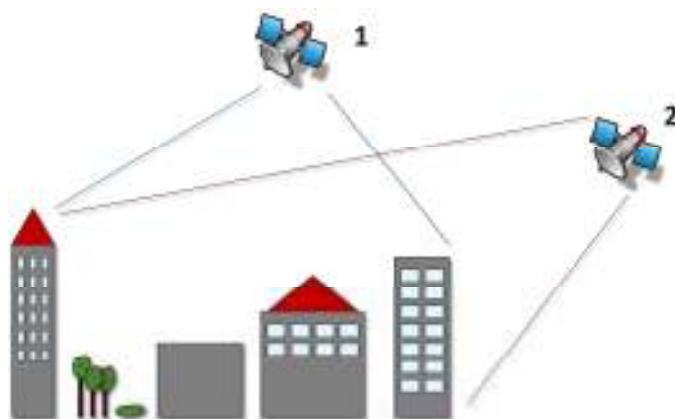
Recent onderzoek van de universiteit van Valencia, in het kader van de DESIREX 2008 campagne (<http://www.uv.es/desirex/index.htm>) maakte een afweging van verschillende methodes en algoritmes voor het inschatten van emissiviteit over stedelijk oppervlak (Oltra-Carrió et al., 2012). Waaruit bleek dat het zogeheten Temperature-Emissivity-Separation algoritme (TES) (Gillespie et al., 1999) de oppervlakte temperatuur boven stedelijk gebied het best reproduceert. Voor dit

²⁵ <http://www.icess.ucsb.edu/modis/EMIS/html/em.html>, <http://speclib.jpl.nasa.gov/>

algoritme is geen voorafgaande kennis van de emissiviteit nodig, die wordt intern door het algoritme berekend op basis van de radianties in 5 verschillende TIR kanalen. Op dit ogenblik is het enige instrument dat hierdoor binnen deze context bruikbaar is, de Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer²⁶ (kortweg ASTER, <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>) aan boord van de Amerikaanse EOS-Terra satelliet, gelanceerd in 1999. Terra is een polaire satelliet en heeft een terugkeer periode van 16 dagen, waarin het volledige aardoppervlak in beeld wordt gebracht. ASTER beschikt effectief over 5 spectrale banden in het thermisch infrarode deel van het spectrum en daardoor kan men het TES algoritme toepassen op die data. De ruimtelijke resolutie van de thermische banden van ASTER bedraagt 90 m.

3.1.2. EFFECT VAN GEOMETRIE EN SCHAAL OP DE OPPERVLAKTE TEMPERATUUR

Als tweede inleidend punt dienen we te vermelden dat stedelijke geometrie een belangrijk gegeven is in het interpreteren van de oppervlakte temperatuur. Het is immers niet altijd duidelijk van welke oppervlakken we exact de temperatuur “zien”. Door de heterogeniteit van het stedelijk weefsel zullen we afhankelijk van de observatiehoek andere oppervlakken (muur, dak, grond) in het vizier van de sensor krijgen.



Figuur 58 : Illustratie van het effect van de waarnemingshoek voor satelliet gebaseerde observaties van oppervlakte temperatuur.

Bovenstaande Figuur 58 illustreert dit, weliswaar karikaturaal. Satelliet sensor 1 zal in de illustratie meer thermische straling afkomstig van het oppervlak “zien” dan satelliet 2, die meer straling afkomstig van de gebouwenwanden zal observeren. De verschillen in afgeleide temperatuur kunnen makkelijk oplopen tot een 4-5 °C (Lagouarde et al., 2004) afhankelijk van de observatiehoek en de stand van de zon. Hierop dieper ingaan zou ons binnen het kader van deze studie te ver leiden, maar het illustreert wel dat de afgeleide oppervlakte temperatuur die we zullen gebruiken wegens de 90 m ruimtelijke resolutie een amalgaam van verschillende oppervlakken kan bevatten die wegens een verschillende oriëntatie in dezelfde pixel elk op een andere manier bijdragen tot de oppervlakte temperatuur van die beschouwde pixel. De illustratie geeft dus onrechtstreeks ook aan dat we in een oppervlakte temperatuursbeeld niet altijd het werkelijke oppervlak zien, maar veelal het effect van daken die bvb. door gebruik van roofing materiaal (wat sterk opwarmt) duidelijk zichtbaar zijn in de beelden.

²⁶ <http://asterweb.jpl.nasa.gov>

In onderstaande paragrafen beschrijven we de ASTER data die we voor Gent opvraagden, gevolgd door een downscaling naar 30 m aan de hand van Landsat beelden. We presenteren tenslotte een analyse van de thermische patronen en het surface urban heat island dat voor Gent wordt waargenomen. In een laatste deel vertalen we verder deze oppervlakte temperatuursbeelden naar een inschatting van potentiële hittestress overdag.

3.2. BESCHRIJVING OPGEVRAAGDE ASTER BEELDEN

3.2.1. KWALITATIEVE BESCHRIJVING

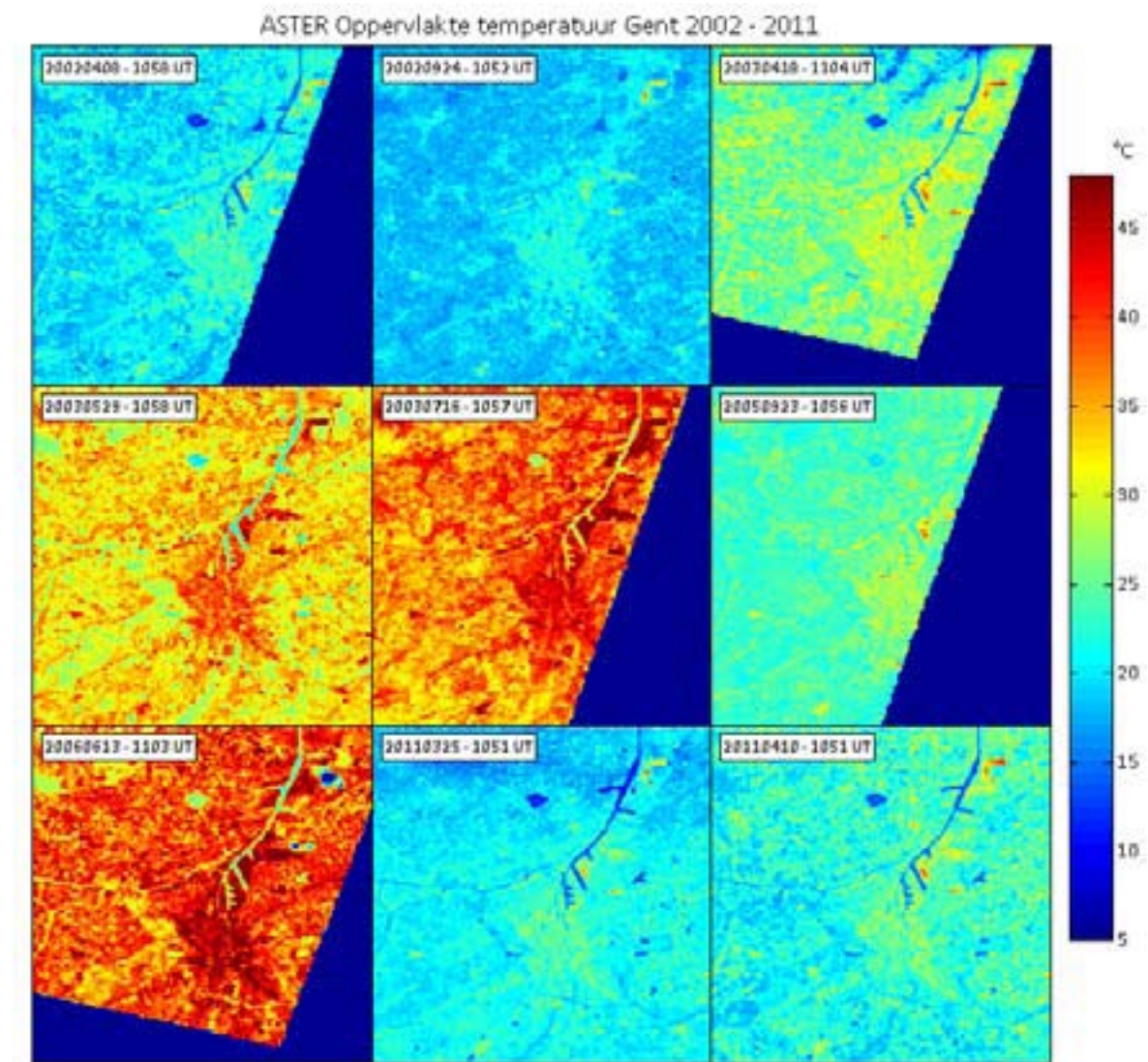
Via het Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC) van de “Japan Space Systems” organisatie (<http://gds.aster.ersdac.jspacesystems.or.jp>) hebben we voor de periode 2000-2011 een 9-tal nagenoeg wolkenvrije beelden geselecteerd. Concreet gaat het om het officiële AST2B3 “Surface Kinetic Temperature” product, wat het resultaat is van het TES algoritme toegepast op de ASTER data. Onderstaande Tabel 9 geeft aan om welke beelden het gaat. We zien dat we enkel beelden overdag hebben kunnen vinden, wat enigszins jammer is gezien er zeker verschillen kunnen optreden tussen oppervlakte temperaturen overdag en ’s nachts. Overdag zullen bijvoorbeeld materialen met een lage warmtecapaciteit (bvb. roofing materiaal) relatief snel opwarmen en hoge oppervlaktetemperaturen vertonen, door een lage warmtecapaciteit zullen die dan ’s nachts ook snel afkoelen. Voor de meeste beelden is de cloud cover beperkt tot een paar procenten van de totale scene. Voor de 3 beelden met een iets hogere cloud cover hebben we visueel nagekeken of Gent niet door wolken bedekt wordt.

Tabel 9 : Tabel met de aangekochte ASTER beelden boven Gent. De linker kolom geeft het identificatienummer van de scene, waarmee het beeld makkelijk teruggevonden kan worden op de zoekmachine <http://ims.aster.ersdac.jspacesystems.or.jp/ims/html/MainMenu/MainMenu.html>.

ASTER GDS GRANULE ID	CLOUD COVER	DAY/ NIGHT	CENTER LATITUDE	CENTER LONGITUDE	ACQ. START (UTC)
ASTL1A 1104101051101104110204	1%	Day	51.162974	3.878344	2011-04-10T10:51:10Z
ASTL1A 0606131103130606170313	4%	Day	51.319009	3.469335	2006-06-13T11:03:13Z
ASTL1A 0305291058010306270597	0%	Day	50.970278	3.669078	2003-05-29T10:58:01Z
ASTL1A 0304181104090305060358	2%	Day	51.325187	3.431192	2003-04-18T11:04:09Z
ASTL1A 0204081058540204200734	1%	Day	51.02634	3.291595	2002-04-08T10:58:54Z
ASTL1A 1103251051121103260222	24%	Day	51.166104	3.855553	2011-03-25T10:51:12Z
ASTL1A 0509231056390509260466	1%	Day	51.028199	3.279497	2005-09-23T10:56:39Z
ASTL1A 0307161057000307300658	40%	Day	51.024286	3.306068	2003-07-16T10:57:00Z
ASTL1A 0301121104340301280243	30%	Day	51.317949	3.475881	2003-01-12T11:04:34Z
ASTL1A 0209241052520210160722	1%	Day	51.180761	3.7479	2002-09-24T10:52:52Z

De beelden werden na aankoop geherprojecteerd naar het Belgische Lambert 72 coördinaten systeem en afgesneden op een gemeenschappelijk grid boven Gent. In Figuur 59 zijn verder een aantal quicklooks opgenomen. We vonden een tweetal beelden in 2002, een 3-tal in 2003, de zomer van de hittegolf in Europa, een beeld uit 2005, 2006 en 2 beelden uit 2011. Door de overpasstijden van de EOS-Terra satelliet zijn alle beelden rond 11 UT genomen, wat in de zomer

overeenkomt met 1 uur lokale tijd in de namiddag²⁷. In het beeld op 2003-04-18, zijn een aantal wolkenlierten (lagere temperatuur in het LST beeld) te bespeuren ten noordwesten van de haven en in het beeld van 2006-06-13 een tweetal “patches” ten oosten van de haven.



Figuur 59 : Enkele 'quicklooks' van de ASTER oppervlakte temperatuursdata voor Gent. We tonen de beschikbare wolkenvrije beelden zoals in Tabel 9 opgenomen, met uitzondering van het beeld op 2003-01-12, wat een winterbeeld is (zie Tabel 10). Alle opnames zijn op dezelfde schaal afgebeeld (rechts), eenheden in °C.

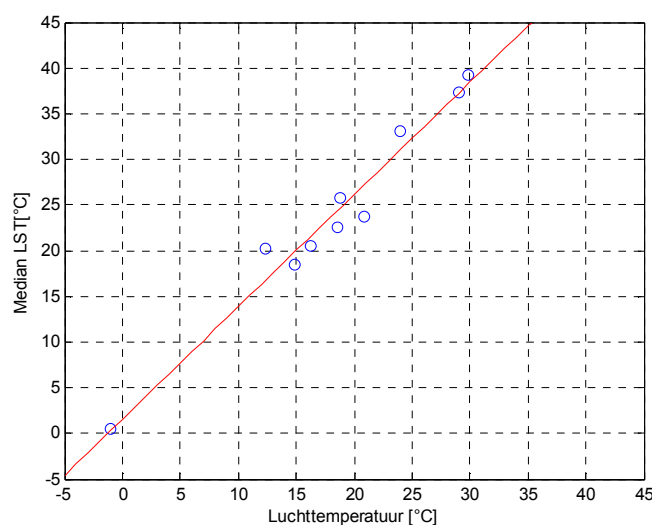
In onderstaande Tabel 10 hebben we de grootschalige meteorologische condities opgezocht die overeenkomen met het moment van opname van de beelden. De tabel specificeert luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, windrichting en snelheid en ook de neerslag hoeveelheid gedurende de voorafgaande nacht gezien deze laatste parameter in belangrijke mate het bodemvocht gehalte kan beïnvloeden en bijgevolg de interpretatie van het oppervlakte temperatuursbeeld.

²⁷ Behalve dan voor het beeld op 2011-03-25, wat voor de periode van het zomer uur valt.

Tabel 10 : In-situ meteorologische condities voor de ASTER beelden. Bron : <http://meteo.infospace.ru/>, station Munte (50°56'NB, 3°44'OL) voor Gent – Belgium. De tijdstippen voor de LST opnames zijn in lokale tijd weergegeven. Het tijdstip van de waarnemingen afkomstig van de vermelde site is telkens 13:00 lokale tijd. Met “--” bedoelen we geen data beschikbaar.

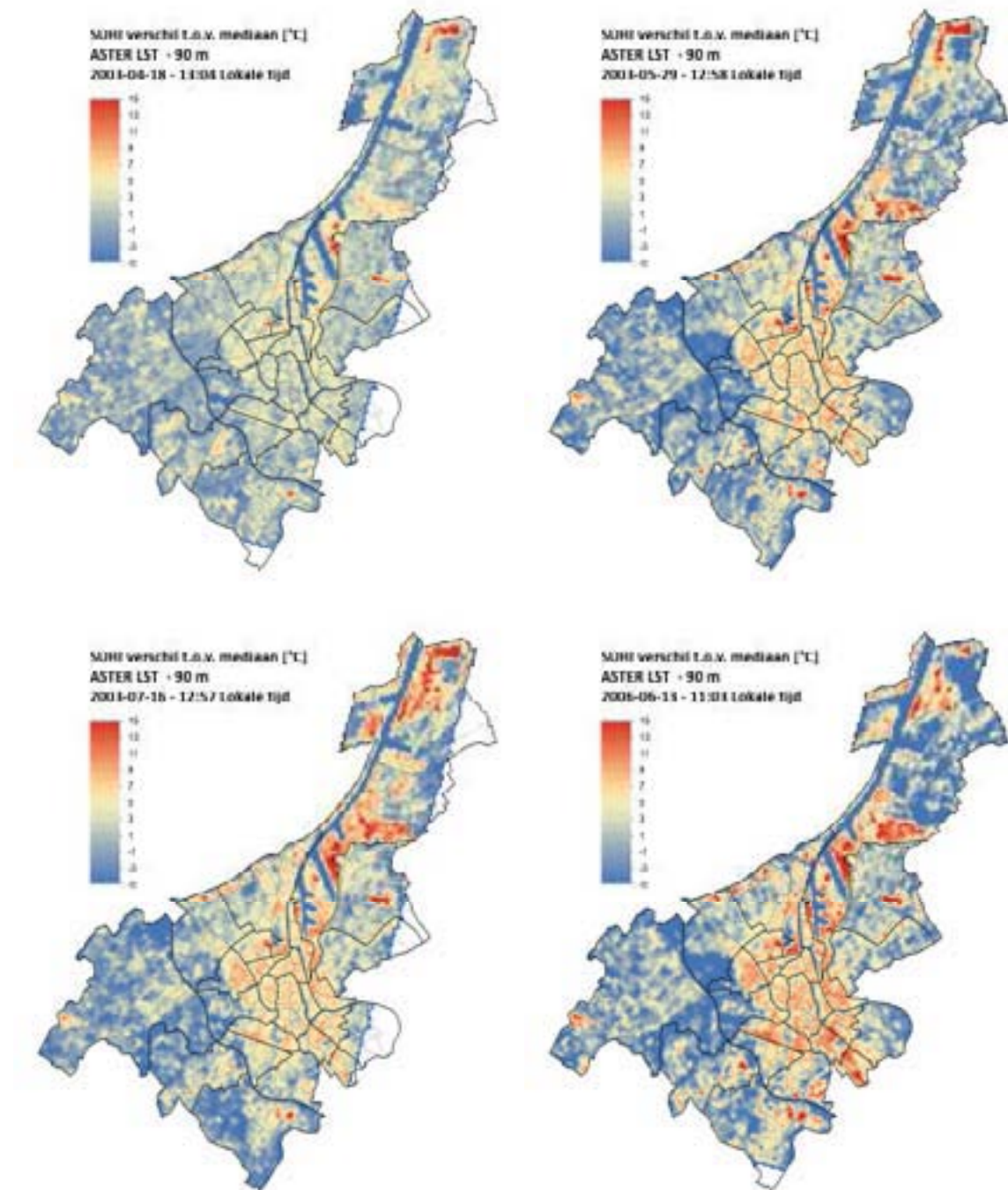
Datum opname (Lokale tijd)	Mediaan LST [°C]	Lucht temperatuur [°C]	Relatieve vochtigheid [%]	Wind richting [°]	Wind snelheid [m/s]	Neerslag voorafgaande nacht [mm]
2002-04-08 12:58	20.2 °C	12.3 °C	37 %	55 ° (NO)	7 m/s	0 mm
2002-09-24 12:52	18.5 °C	14.9 °C	38 %	60 ° (NO)	7 m/s	0 mm
2003-01-12 13:04	0.5 °C	-1.0 °C	87 %	221 ° (ZW)	3 m/s	0 mm
2003-04-18 13:04	25.8 °C	18.8 °C	30 %	90 ° (O)	6 m/s	0 mm
2003-05-29 12:58	33.2 °C	24.0 °C	47 %	100 ° (O)	3 m/s	0 mm
2003-07-16 12:57	37.4 °C	29.0 °C	49 %	200° (Z)	3 m/s	0 mm
2005-09-23 12:56	23.8 °C	20.9 °C	55 %	190 ° (Z)	3 m/s	--
2006-06-13 13:03	39.3 °C	29.8 °C	42 %	0° (N)	2 m/s	--
2011-03-25 12:51	20.6 °C	16.3 °C	53 %	0° (N)	1 m/s	--
2011-04-10 12:51	22.6 °C	18.6 °C	38 %	70 ° (O)	3 m/s	--

Wat eerst en vooral opvalt is dat de meeste beelden zijn genomen bij situaties waarbij de wind niet uit westelijke richting komt (weliswaar de dominante windrichting in België). Dit is consistent gezien onder dergelijke condities de grootste kans op heldere hemel (en dus mogelijkheid tot satelliet opname) zich voordoet. Voor alle beelden is de relatieve vochtigheid betrekkelijk laag (40 – 50 %) met een relatief lage windsnelheid (2-3 m/s), zeker voor beide beelden met de hoogste oppervlakte temperatuur. Voor geen enkel van de beelden is voor zover mogelijk neerslag gedurende de voorbij nacht opgetekend. We zien voorts ook duidelijk de correlatie tussen de luchttemperatuur en de oppervlakte temperatuur in die zin dat voor de beelden met de hoogste oppervlakte temperaturen (2003-07-16, 2006-06-13) , de luchttemperatuur ook het hoogst is (resp. 29 °C en 29.8 °C). Deze correlatie werd van naderbij bekeken in onderstaande Figuur 60, waar we merken dat tussen beide een lineaire relatie is met een correlatie coëfficiënt van $R^2 = 0.92$.



Figuur 60 : Correlatie analyse tussen de gemeten luchttemperatuur (zie Tabel 10) en de mediaan voor elk oppervlakte temperatuursbeeld in Tabel 9 (per beeld een datapunt). De correlatie tussen

beiden is zeer sterk, met een R^2 coëfficiënt van 0.97 (0.92 wanneer we het winterbeeld weglaten). De rechte in rood wordt gegeven door : $LST_{mediaan} = 1.23 T_a + 1.56$.



Figuur 61 : Genormeerde SUHI kaarten voor een 4-tal ASTER LST beelden. De kaarten geven telkens het temperatuursverschil in de pixel t.o.v. de mediaan temperatuur van het beeld zodat de kaarten iets beter onderling vergelijkbaar worden.

Om de hotspots iets beter te bestuderen hebben we hierboven in Figuur 61 de oppervlakte temperatuurskaarten genormeerd t.o.v. de mediaan temperatuur van het beeld. Met andere

woorden de temperatuur in elke pixel van de kaarten geeft aan hoeveel warmer elke pixel is t.o.v. de “gemiddelde” temperatuur van het ganse beeld. Hierdoor brengen de kaarten de intensiteit van het SUHI effect in beeld en worden ze onderling beter vergelijkbaar.

In de quicklooks van Figuur 59 en de genormaliseerde SUHI kaarten van Figuur 61 merken we duidelijk het oppervlakte warmte eiland of SUHI van de Gentse binnenstad. We zien op het eerste zicht enkele “hotspots” opduiken, voornamelijk in het havengebied, met name de terreinen van Volvo en Honda tussen de Geraard van den Daelelaan, de Belgicastraat en Energiestraat (Ghent Coal Terminal) en het stuk industrieterrein aan de Skaldestraat ten oosten van de Kennedylaan. Maar ook de terreinen van Volvo langs de R4 ter hoogte van Oostakker. Verder zien we ook duidelijk de terreinen van ArcelorMittal als hotspot inzake oppervlakte temperatuur. Tenslotte vallen meer zuidelijk in de haven ook de loodsen aan de Wiedauwkaai en de 11ha grote UCO-site in de Maïsstraat die momenteel het voorwerp vormt van een uitgebreid renovatieproject²⁸. Deze haven lokaties worden steevast 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 wat heel sterk kan opwarmen en dus voor hoge oppervlakte temperaturen kan zorgen. Op de grote parkings van de autoconstructeurs kunnen ook het grote aantal metalen daken een belangrijke oorzaak zijn voor de verhoogde oppervlaktetemperatuur, zoals gezien vanuit de ruimte.

Voor de binnenstad kunnen we op onderstaande Google Earth screenshot zien welke de belangrijkste hotspots zijn voor wat betreft oppervlakte temperatuur. Hierbij zien we duidelijk Ledeborg en Moscou, de stationsbuurt, de buurt rond het Strop. Verder zien we ook duidelijk de Brugse Poort en delen van Sint Amandsberg. Dit zijn stuk voor stuk relatief dicht bebouwde wijken (cfr. latere analyses).

²⁸ <http://www.agsob.be/projecten/bedrijventerreinen/uco-ma%C3%AFsstraat>

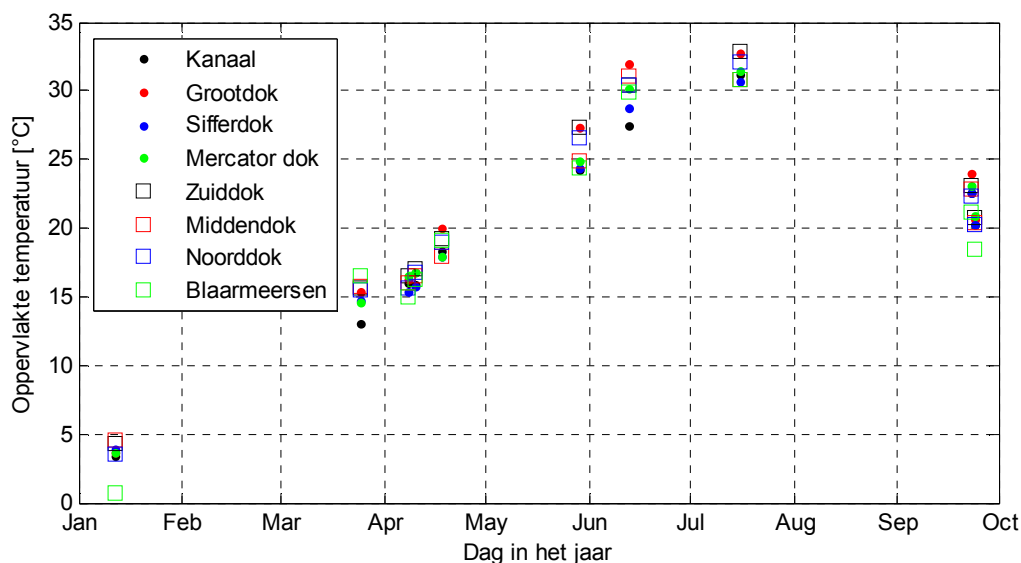


Figuur 62 : Google Earth overlay van het oppervlakte temperatuursbeeld 2006-06-23 voor het centrum van Gent.

De rol van water voor het oppervlakte hitte- eiland is voorts ook heel nadrukkelijk aanwezig in Figuur 62. Het valt op dat alle open water wegen als koele aders door de binnenstad lopen voor wat betreft oppervlakte temperatuur. We zien duidelijk afgetekend de Coupure, de Visserij, de Portus Ganda en het historisch centrum rond Koren- en Graslei, evenals de grote groene zones zoals het Citadelpark, de Blaarmeersen en de Bourgoyen.

We merken voorts wel nog op dat hoe verder we op het seizoen zijn, hoe minder sterk afgetekend, het haven wateroppervlak is t.o.v. de omringende omgeving. In het beeld van eind september 2002 zien we bijna geen contrast meer tussen het omringende havengebied en het wateroppervlak, dat aan het einde van de zomer dan ook al flink zal zijn opgewarmd. Voor de beelden die in maart – april zijn genomen merken we het grootste contrast tussen de oppervlakte temperatuur van het water en het omringende havengebied.

We merken voorts ook duidelijk de jaarcyclus van de water oppervlakte temperatuur. Wanneer we expliciet de analyse doen en de watertemperatuur voor een aantal grote oppervlakte waterlichamen visualiseren als functie van de dag in het jaar (maar over de verschillende jaren heen), dan bekomen we onderstaande Figuur 63.



Figuur 63 : Evolutie van de oppervlakte water temperatuur in Gent als functie van de dag van het jaar op basis van de 10 ASTER beelden. In deze grafiek is alle data weergegeven

De zones werden afgebakend op basis van de shapefile aangeleverd door Stad Gent. Per waterlichaam geven we de gemiddelde temperatuur van alle ASTER pixels die erbinnen vallen. We zien eerst en vooral dat voor alle waterlichamen het verloop relatief gelijkaardig is, met name, de oppervlakte temperatuur van het water aan de Blaarmeersten kent in grote lijnen een gelijkaardig verloop als de temperatuur van bvb. het kanaal Gent-Terneuzen. Wel zien we dat de oppervlakte temperatuur tijdens de zomermaanden in de ASTER beelden wel hoog oplopen. Op basis van een aantal kranten artikels²⁹ konden we afleiden dat de watertemperatuur in de Blaarmeersen eind januari zo'n 5 graden bedraagt en in juni zo'n 21 graden. Uit metingen (Pelicaen, 2012) gedurende 2010 blijkt dat de watertemperatuur in de Blaarmeersen varieert gedurende een zomer seizoen tussen een 12-tal °C (in Mei) en een goeie 25°C in Juli . We merken dus dat de geobserveerde oppervlakte temperaturen van de ASTER data aan de hoge kant zijn gedurende de zomer (tot ~30 °C). Dit kan waarschijnlijk verklaard worden door het feit dat er ten eerste een zekere dagcyclus aanwezig kan zijn m.b.t. de water temperatuur. Zie bvb (AFG Jacobs et al., 2008) voor een experiment voor een kleine poel. Gezien de ASTER beelden telkens rond 13h lokale tijd genomen zijn kan dit een invloed hebben, maar ook het feit dat de ASTER oppervlakte temperaturen in hoofdzaak gebaseerd zijn op de straling afkomstig van de bovenste dunne film op de waterlaag kan deze discrepantie misschien verklaren. De bovenste dunne film van het wateroppervlak zal ook sterker beïnvloed worden door de luchtlagen die daar direct boven aanwezig zijn.

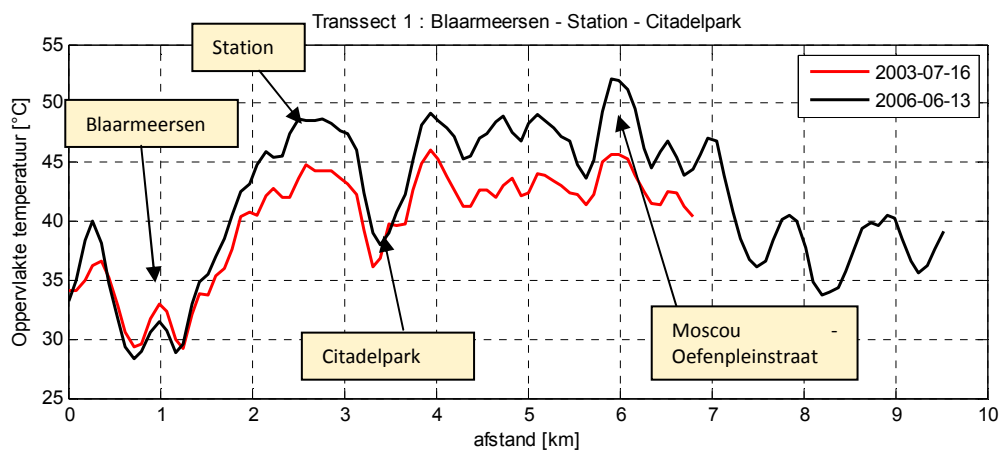
Wat we in alle geval kunnen onthouden uit deze analyse is dat de aanwezigheid van water afhankelijk van het seizoen een heel verschillende impact kan hebben op de omgeving, afhankelijk van het verschil in lucht temperatuur met de omgeving.

²⁹ http://www.nieuwsblad.be/article/detail.aspx?articleid=BLBST_20120120_001

3.2.2. ANALYSE VAN ENKELE TRANSSecten

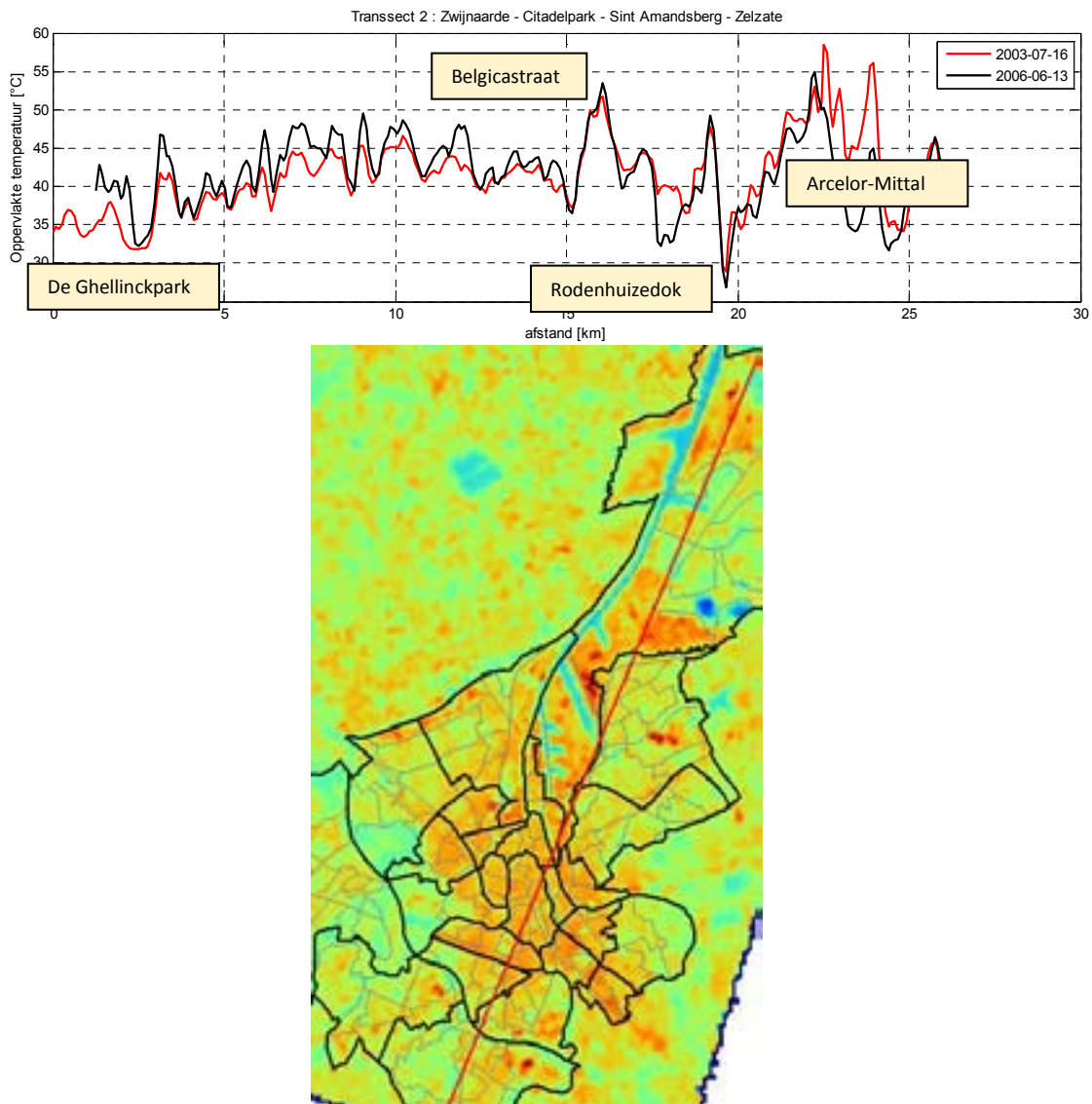
Het lijkt ons voorts interessant om enkele transecten van naderbij te bestuderen om zo een gevoel te krijgen van welke verschillen inzake oppervlakte temperatuur nu werkelijk aanwezig zijn in het stedelijk weefsel. We bekijken verder een aantal transecten voor twee ASTER zomerbeelden die we opvraagden (2003-07-16 en 2006-06-13) :

- **Transect 1** : Blaarmeersen – Station – Citadelpark – Ledeberg, afgebeeld in Figuur 64.
- **Transect 2** : Zwijnaarde – Citadelpark – St. Amandsberg – Zelzate, afgebeeld in Figuur 65.
- **Transect 3** : Bourgoyen – Blandijnberg – Ledeberg – Melle, afgebeeld in Figuur 66.



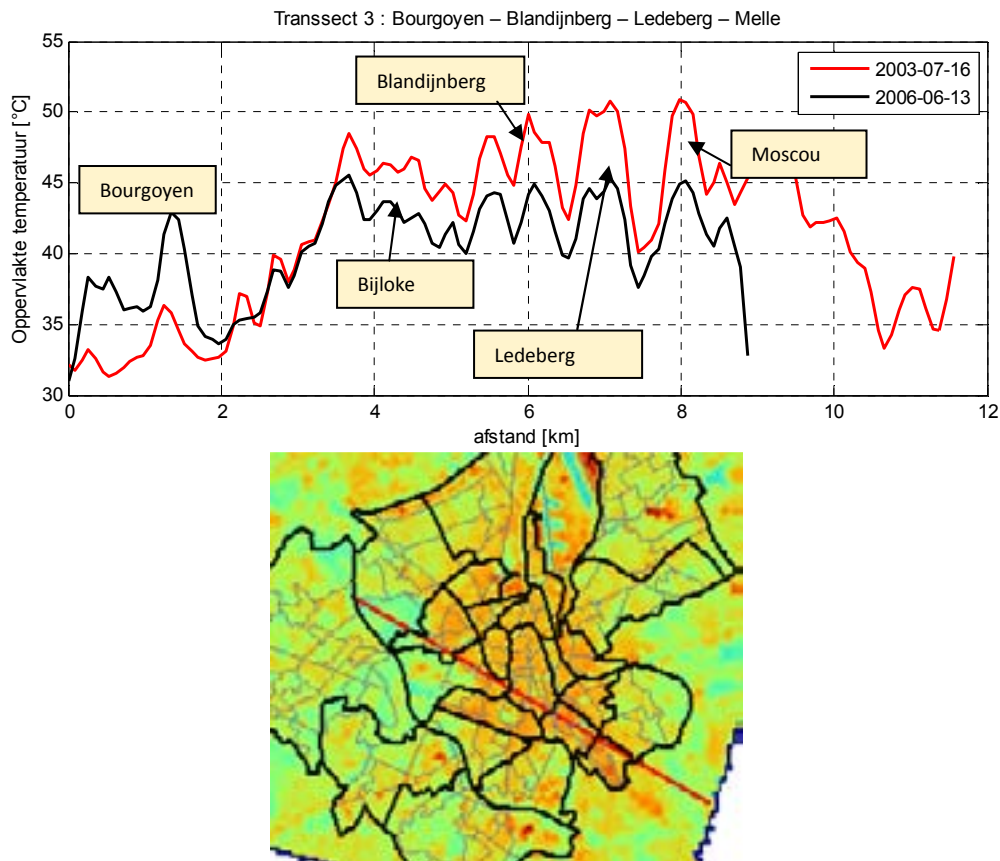
Figuur 64 : transect 1 : Blaarmeersen - Stationsbuurt - Citadelpark – Ledeberg. De transect lijn wordt gegeven door de rode lijn op de figuur onderaan. De overeenkomstige oppervlakte temperaturen van West naar Oost worden voor beide ASTER opnames gegeven bovenaan de plot.

In bovenstaande Figuur 64 zien we in transect 1 duidelijk de verhoogde oppervlakte temperatuur van de stationsbuurt t.o.v. de Blaarmeersen (verschil van een 15- tal °C) enerzijds en het Citadelpark (verschil van een 8-tal °C) anderzijds. Over de buurt ten oosten van het Citadelpark (Strop) en Ledeberg zien we relatief gelijklopende oppervlakte temperatuur die dan op dit transect piekt ter hoogte van de grote industriële terreinen aan Moscou en de Oefenpleinstraat waar bvb de Gamma gevestigd is.



Figuur 65 : transect 2 : Zwijnaarde – Citadelpark – St. Amandsberg – Zelzate. De transect lijn wordt gegeven door de rode lijn op de figuur onderaan. De overeenkomstige oppervlakte temperaturen van Zuid naar Noord worden voor beide ASTER opnames gegeven bovenaan de plot.

Op het lange Zuid – Noord transect van Figuur 65 beginnen we in Zwijnaarde ter hoogte van het De Ghellinckpark. Op zich is vanuit deze hoek bekeken de toename richting centrum relatief geleidelijk. Het zijn dan ook relatief groene en open stads zones die we hier doorkruisen : waterweg aan de R4 ter hoogte van de Oudenaardse steenweg (N60) en de Campus De Sterre van de UGent, gevolgd door de St. Pieters Aalst wijk en het De Smet De Naeyer park aan de Krijgslaan. Een eerste uitgesproken maximum wordt op dit transect bereikt ter hoogte van de industrieterreinen aan de John Kennedylaan en een tweede ter hoogte van de industrie terreinen aan de Belgicastraat met vervolgens een duidelijk minimum ter hoogte van het Rodenhuzedok met de lagere watertemperatuur t.o.v. de omgeving (zie ook Figuur 63 waar we verwachten dat de watertemperatuur voor deze zomerbeelden inderdaad rond de 30 °C is, terwijl de oppervlakte temperatuur van de omgeving op dat moment van de dag duidelijk een 10-tal graden hoger is).



Figuur 66 : transect 3 : Bourgoyen – Blandijnberg – Ledeborg – Melle. De transect lijn wordt gegeven door de rode lijn op de figuur onderaan. De overeenkomstige oppervlakte temperaturen van West naar Oost worden voor beide ASTER opnames gegeven bovenaan de plot.

transect 3 toont op zich het mooiste SUHI transect van Gent, waarbij we de oppervlakte temperatuur vanaf de Bourgoyen doorheen duidelijk zien oplopen doorheen Ekkerghem met een 10 tal °C. Dan is er een kleine afname ter hoogte van de Bijloke, waar het stedelijk weefsel toch wat meer gekenmerkt wordt door de aanwezigheid van water (Coupure) en groen (bvb. Bijloke hof). We spreken hier van een verschil van een 4-5 °C in oppervlakte temperatuur. Wanneer de dichtheid van het stedelijk weefsel vervolgens toeneemt (Blandijnberg, St. Pietersplein etc...) zien we de temperatuur terug oplopen. Het maximum wordt voor dit transect bereikt ter hoogte van Ledeborg, met een 18-tal °C verschil in oppervlakte temperatuur t.o.v. de Bourgoyen voor het beeld van 2003-07-16. Tussen Ledeborg en Moscou zien we ook duidelijk de invloed van het park De Vijvers aan de op/afrit Gentbrugge van de E17. Richting Melle zien we de oppervlakte temperatuur opnieuw afnemen.

3.2.3. DETECTIE VAN TRENDS IN DE OPPERVLAKTE TEMPERATUREN

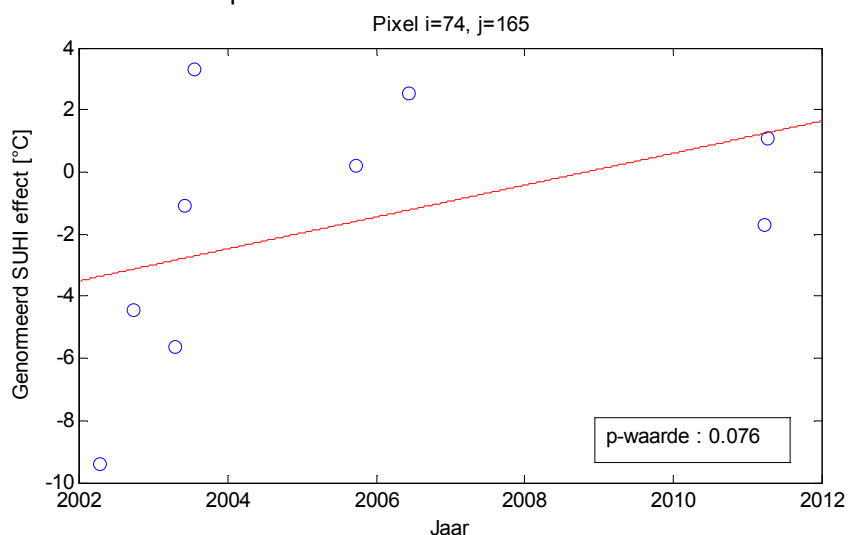
Gezien we met dit beeldarchief toch beschikken over een dataset gespreid over een kleine 10 jaar, leek het ons verder interessant te gaan kijken of er bepaalde trends tot uiting komen in de data. Met andere woorden zijn er duidelijk nieuwe “hotspots” te bespeuren, of zijn er duidelijk hotspots verdwenen. Op zich is een dergelijke trendanalyse niet eenvoudig gezien de beelden onder heel verschillende omstandigheden genomen zijn. Zowel de stand van de zon (en dus dag in het jaar, zie

§3.1.2), het bodemvocht, de grootschalige luchttemperatuur, windsnelheid spelen allemaal een rol voor de oppervlakte temperatuur en om effecten ten gevolg van ruimtelijke ontwikkelingen zoals nieuwe bebouwing, verdwijnen/aanplanten van groen te detecteren dienen we zeker te zijn dat we de eerst genoemde effecten uit de data halen. Op zich zou dergelijke oefening een volledige studie op zich kunnen zijn, maar gezien de mooie lineaire relatie tussen de mediaan oppervlakte temperatuur en de synoptische luchttemperatuur (Figuur 60) leek het ons de moeite dit op een eenvoudige manier toch te proberen en te zien of we toch niet op deze manier bepaalde zaken kunnen afleiden. De zin of onzin van deze oefening laten we hier even in het midden.

Om de 9 (we laten het winterbeeld hier even buiten beschouwing) oppervlakte temperatuursbeelden naar een soort “standaard conditie” te herleiden zullen we enkel werken op basis van de evenredigheid met luchttemperatuur van Figuur 60. We normaliseren m.a.w. de oppervlakte temperatuur aan de hand van de verhouding tussen de overeenkomstige luchttemperatuur in Tabel 10 en 20 °C, wat we als referentietemperatuur nemen. Met andere woorden :

$$LST_{norm} = [LST - \text{Mediaan}(LST)] \cdot \frac{T_a}{20^\circ C}$$

Waarbij T_a de luchttemperaturen uit Tabel 10. In elke pixel van de genormeerde beelden bekijken we vervolgens de intensiteit van het SUHI effect als functie van de tijd. Een voorbeeld is hieronder opgenomen voor een voorbeeld pixel:

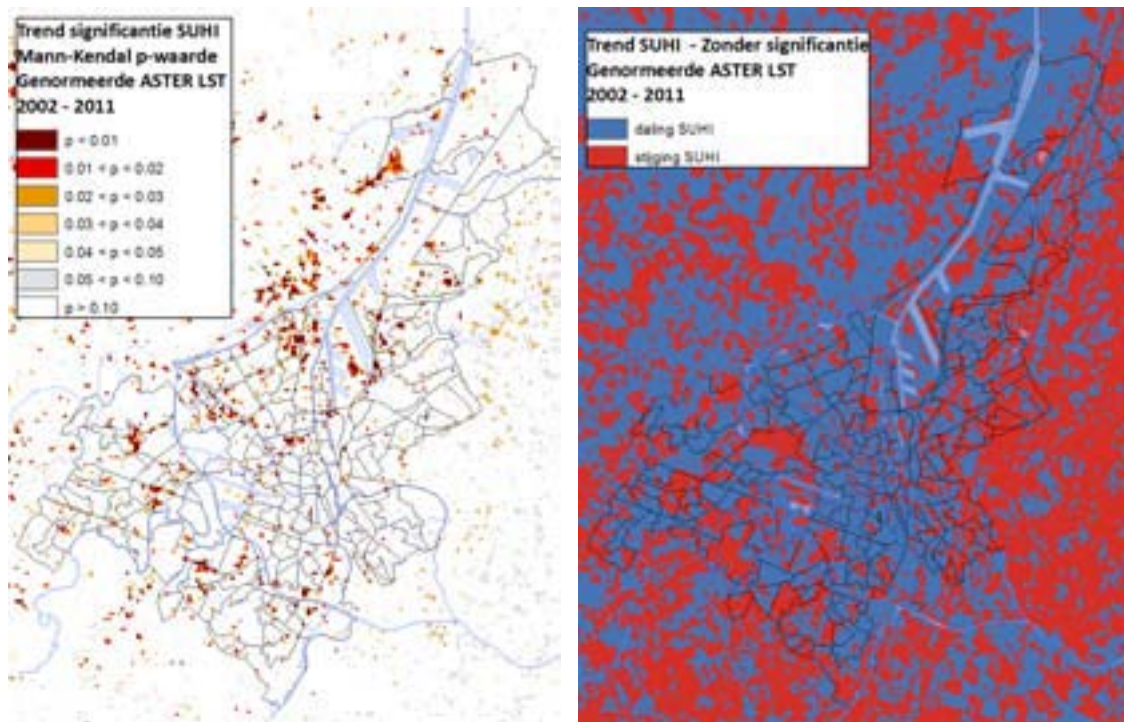


Figuur 67 : Voorbeeld voor de analyse van een eventuele trend in de genormeerde SUHI beelden voor een pixel ter hoogte van het Zandeken tegenover de Arcelor Mittal site. De afgebeelde trend is gezien de bekomen p-waarde statistisch **niet** significant te noemen (95 % C.L.) (zie voetnoot verder).

Voor elke pixel werd dergelijke analyse gedaan en getest aan de hand van de Mann-Kendall test³⁰ of de eventueel geobserveerde stijging of daling van het SUHI effect statistisch significant te

³⁰ De Mann-Kendall test is een statistische test die nagaat in hoeverre een geobserveerde trend significant is. Deze test wordt courant toegepast in trendanalyses. De typische uitkomst van deze test is de zogeheten p-waarde. Deze grootheid geeft de waarschijnlijkheid aan dat een uitkomst die groter is dan de geobserveerde trend berust op toeval of statistische fluctuatie. In de praktijk betekent dit dat we kunnen stellen dat indien de p waarde kleiner is dan 0.05 we met een statistische significantie van 95 % kunnen

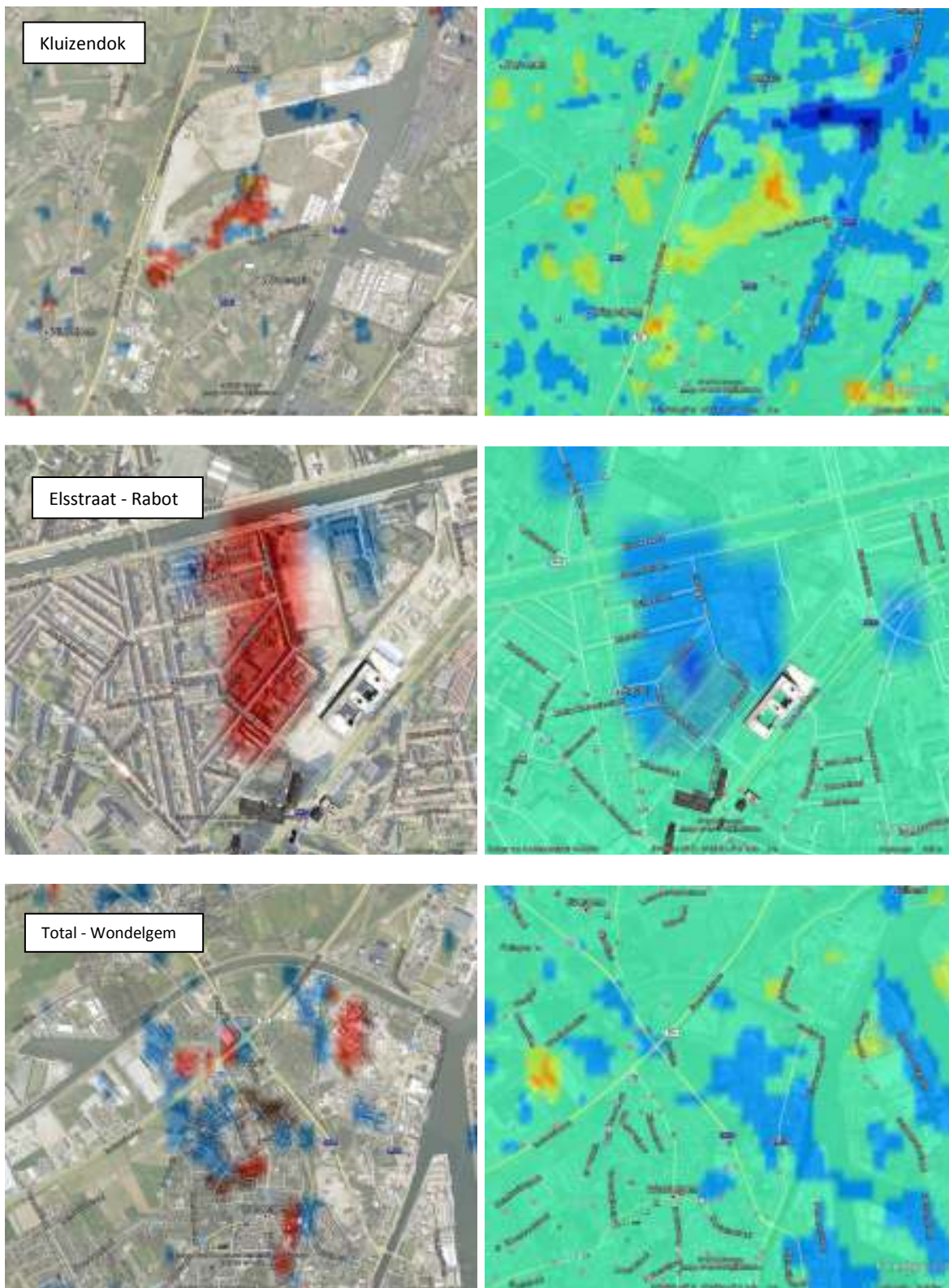
noemen is. De resultaten van onderstaande analyse hebben we in Figuur 68 afgebeeld, waarbij we ons voor de trend zelf beperkt hebben tot de observatie van een toename of afname in het SUHI, zonder de effectieve grootte van de trends weer te geven. Dit lijkt ons zinvol gezien de heel sterke aannames die voor deze kleine analyse gedaan werden en het feit dat we uiteindelijk slechts LST data voor een 4-tal jaar hebben : 2002, 2003, 2006 en 2011.

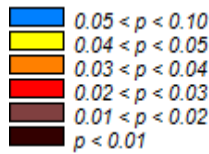


Figuur 68 : Geobserveerde trends (stijgend/dalend) in de ASTER LST beelden (rechts), en de significantie ervan (links) door middel van de p-waarde. P-waarden lager dan 0.05 kunnen we als significant beschouwen.

We zien voor het overgrote deel van het bestudeerde grondgebied dat de trends over de periode waarvoor we ASTER data opvraagden statistisch niet significant te noemen zijn ($p > 0.05$). Echter, hoewel we nogmaals dienen te benadrukken dat deze analyse met de nodige voorzichtigheid dient benaderd te worden vinden we toch enkele zones die een significante verandering van LST vertonen. Deze zijn hieronder in Figuur 69 afgebeeld. We geven telkens de significantie weer in de linkerkolom, waarbij we gezien de onzekerheid een trend als significant zullen beschouwen voor tinten donkerder dan rood ($p < 0.03$). In de rechterkolom geven we telkens de aard van de wijziging weer, waarbij blauwe tinten een afname van oppervlakte temperatuur inhouden en de geel-rode tinten een toename. Gezien de aard van de analyse en het feit dat deze oppervlakte temperatuursbeelden nog altijd moment opnames zijn zullen we ons hier niet wagen aan een kwantificatie van het effect, maar enkel een eerder kwalitatieve bespreking.

stellen dat de geobserveerde trend niet te wijten zijn aan statistische fluctuaties of toeval. Met andere woorden hoe lager de p-waarde, hoe signifikanter de geobserveerde trend. Referenties : Mann, H. B. (1945), Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13, 245– 259.; Kendall, M. G. (1975), Rank Correlation Methods, Griffin, London en Sen, P. K. 1968: Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63:1379–1389.





Figuur 69 : Gebieden met significante wijzigingen in de oppervlakte temperatuur op basis van een simplistische trendanalyse. De kleur legende voor de p-waarde is onderaan afgebeeld. Voor een p-waarde < 0.05 kunnen we potentieel spreken van een statistisch significante wijziging van oppervlakte temperatuur. In de linker kolom zien we telkens of het gaat om een significante wijziging (p-waarde) of niet, rechts zien we de aard van de wijziging, waarbij de blauwe tinten overeenkomen met een afname van oppervlakte temperatuur en de geel-rode tinten met een toename. Bovenaan zien we het Kluizendok, in het midden de buurt rond de Elsstraat in het Rabot, en onder de bedrijventerreinen van Total in Wondelgem.

Hoewel de methode heel simplistisch is, slagen we er toch in een aantal ontwikkelingsprojecten binnen Gent te identificeren en een kwalitatieve inschatting te doen van hun impact op de oppervlakte temperatuur :

- **Kluizendok – 't Zandeken** : bovenaan Figuur 69 zien we een statistisch significante stijging van de oppervlakte temperatuur in de zone onder het Kluizendok. Deze stijging van oppervlakte temperatuur is hoogstwaarschijnlijk te relateren aan het verdwijnen van het gehucht 't Zandeken in Evergem en het bloot komen te liggen van naakte, onbegroeide grond, en eventueel industrieterreinen tussen de Marco Polo straat en de James Cookstraat.
- **Elsstraat – Rabot** : een tweede verandering van oppervlakte temperatuur situeert zich ter hoogte van de wijk rond de Elsstraat in het Rabot, deels overlappend van de ontwikkelingssite van het project Tondelier³¹. Hier zien we een significante afname van de oppervlakte temperatuur. Een deel van de verklaring kan hier bijvoorbeeld zijn de toename van de begroeiing en verwildering op de verlaten terreinen van de gasfabriek. Maar ook zien we waarschijnlijk duidelijk het effect van het vervangen van een asfalt vlakte ten voordele van een iets kleinere parking omringd met groen in de binnenplaats tussen de Jozef II-straat en de Vlotstraat, zoals hieronder aangegeven in Figuur 70.
- **Bedrijventerrein Total in Wondelgem** : hier zien we eveneens een statistisch significante afname van de oppervlakte temperatuur. Het is echter niet duidelijk waaraan deze toe te schrijven is en of deze daadwerkelijk gelinkt kan worden met structurele wijzigingen op het terrein.

³¹ <http://www.gent.be/eCache/WRA/91/009.html>

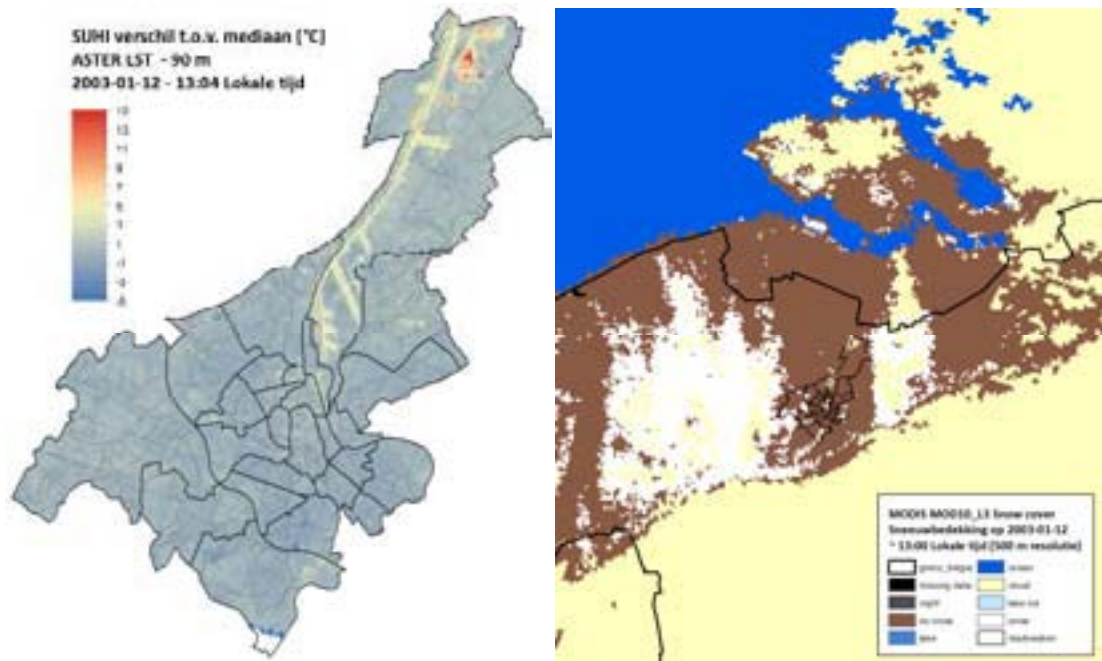


Figuur 70 : Afbeelding van gewijzigde situatie tussen de Jozef II-straat en de Vlotstraat ter hoogte van de Elsstraat in het Rabot. Links zien we een beeld van 30-04-2007, rechts van 31-08-2009. Bron: Google Earth.

Algemeen kunnen we echter wel stellen dat voor het overgrote deel van het oppervlak, de verschillende oppervlakte temperatuursbeelden na normalisatie een relatief gelijkaardig patroon vertonen gedurende de periode 2002 – 2011.

3.2.4. SUHI VOOR EEN WINTER-SITUATIE

Gezien het beeld van 12 januari 2003 het enige beeld is dat we tijdens de winterperiode hebben kunnen opvragen is het niet oninteressant om daar toch even kort bij stil te staan vooraleer we verder gaan met de bespreking van de zomerbeelden. We hebben dit afgebeeld in onderstaande Figuur 71. Er is weinig contrast te merken op dit beeld en we zien dat de temperatuursvariatie relatief klein is. Wel komt het wateroppervlak als zijnde een 4-5-tal graden warmer dan de omgeving sterk tot uiting, net als de industriële site van ArcelorMittal, waar als enige lokatie in dit winterbeeld tot 15 ° verschil in oppervlakte temperatuur op te tekenen valt met de omgeving.



Figuur 71 : Oppervlakte temperatuur gedurende de winter op basis van het ASTER LST beeld van 2003-01-12 (links) en sneeuwbedekking voor die dag omstreeks op basis van een gelijktijdige satelliet opname³².

We merken ook dat voor een groot deel van West- en Oost-Vlaanderen er op dat moment een sneeuwtapijt lag (Figuur 71, rechts), terwijl in Gent zelf voor die periode blijkbaar iets minder sneeuw aanwezig was. In alle geval kunnen we stellen dat er voor dergelijke wintersituatie inzake oppervlakte temperatuur weinig warmte eiland effect te bespeuren valt in de binnenstad.

3.3. VERTALING NAAR POTENTIËLE DAGSTRESS

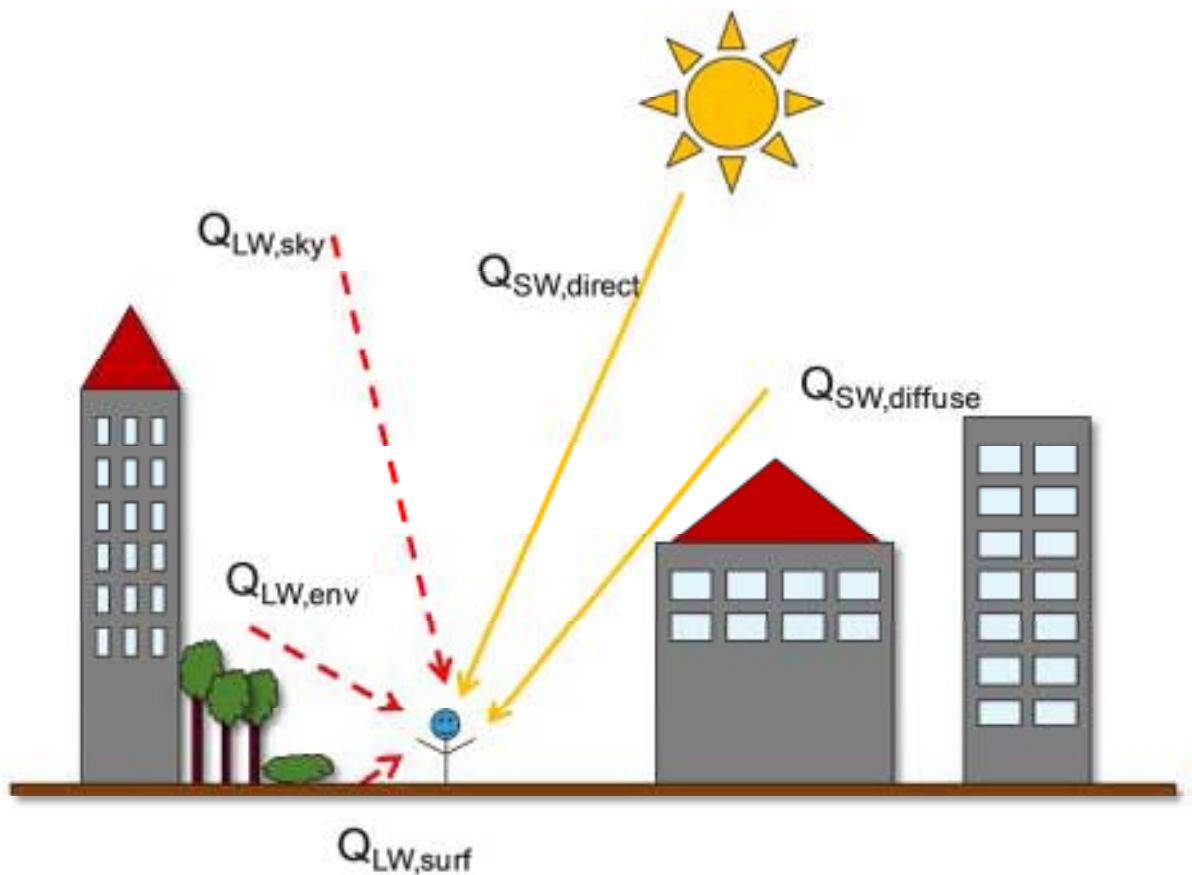
3.3.1. TER INLEIDING : DE STRALINGSBALANS

In bovenstaande stukken hebben we uitgebreid de verzamelde oppervlakte temperatuursbeelden besproken en geanalyseerd. De vraag stelt zich nu hoe we deze oppervlakte temperatuursbeelden kunnen gebruiken in iets meer tastbaardere vorm t.a.v. hittestress in de stedelijke omgeving. Op zich zijn er verschillende vormen van hittestress in het algemeen en in stedelijk gebied in het bijzonder. Het UHI effect op de luchttemperatuur heeft een duidelijke invloed op de nachtelijke lucht temperaturen, waar tijdens dagen met een uitgesproken UHI intensiteit de nachtelijke luchttemperatuur in het stedelijk weefsel veel minder daalt dan in de rurale omgeving. Deze verhoogde nachtelijke temperaturen zullen voornamelijk effect hebben in eerste orde op het moeilijk inslapen 's nachts met een verminderde recuperatie en een verhoogde vermoeidheid tot

³² De sneeuwbedekking is afgebeeld op basis van het MOD10_L2.A2003012.1100.005.2007256074125 product afkomstig van de MODIS sensor, die zich net als het ASTER instrument aan boord van het EOS-Terra platform bevindt. Beide opnames zijn bijgevolg gelijktijdig. Bron: National Snow & Ice Data Center (<http://www.nsidc.org/>)

gevolg. Dit kan op zijn beurt weer effect hebben op het welbevinden, de gezondheid en de economische productiviteit van de bevolking. Overdag echter is de situatie anders. We zien dat het CLUHI effect veel minder uitgesproken is en er in de luchttemperaturen (zie meetcampagne) veel minder verschil is tussen de stad, het platteland maar ook in de stad zelf. Een belangrijke factor voor hittestress overdag is echter de zon en dus zonnestraling (die uiteraard 's nachts afwezig is). Het effect van instraling op het menselijk lichaam kan ook kwantitatief worden uitgedrukt door middel van de zogeheten *mean radiant temperature*³³ (MRT). Dit is een fictieve stralingstemperatuur die gedefinieerd wordt als de *uniforme temperatuur van een ideale zwarte straler die een gemiddeld, rechtopstaand persoon omhuld en aan dezelfde stralingsflux is blootgesteld*. Het is met andere woorden het verschil van hoeveel stralingsenergie, zowel zonnestraling (kortgolvlige) als thermische (IR of langgolvlige straling), een persoon binnenkrijgt minus hoeveel thermische straling een persoon uitzendt. Deze MRT is uitermate belangrijk in het afleiden van thermische comfort indices zoals een Physiologically Equivalent Temperature (PET) of de Universal Thermal Climate Index (UTCI). En is overdag zelfs tot 2x zo belangrijk dan de luchttemperatuur (die in de stedelijke omgeving relatief weinig zal variëren overdag). Deze grootheid geeft dus een veel beter idee van de ruimtelijke variatie van hittestress overdag. Dit is schematisch afgebeeld in onderstaande Figuur 72.

³³ Zie bvb. Fanger, P.O. (1970). Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. New York: McGraw Hill.



Figuur 72 : Schematische afbeelden van de verschillende stralingsfluxen (W/m^2) die invallen op een menselijk lichaam in het stedelijk gebied. Merk op dat we de gereflecteerde kort en langgolvlige straling hebben weggelaten als mede de warmtestraling (IR of langgolvlige straling) die een persoon zelf uitzendt.

De verschillende stralingscomponenten zijn aangegeven :

- $Q_{SW,direct}$: **directe kortgolvlige straling**. Indien mensen zich bevinden in zones zonder schaduw en dus blootgesteld worden aan directe zonnestraling, zal deze component het meest bepalend zijn voor de hittestress ervaren door voetgangers. Deze straling bevindt zich hoofdzakelijk in het visuele en nabij infrarode deel van het spectrum.
- $Q_{SW,diffuse}$: kortgolvlige straling afkomstig van de zon wordt ook door de atmosfeer verstrooid (de afhankelijkheid van de golflengte van deze verstrooiing kan overigens heel duidelijk geobserveerd worden tijdens mooie rode zonsondergangen). Door deze verstrooiing zullen voetgangers ook aan een zekere fractie **diffuse kortgolvlige straling** blootgesteld wordt. Deze diffuse component is overigens dominant wanneer bijvoorbeeld bewolking aanwezig is.
- $Q_{LW,surf}$, $Q_{LW,env}$: De kortgolvlige straling afkomstig van de zon wordt gedeeltelijk geabsorbeerd door het oppervlak en terug vrijgegeven in de vorm van **langgolvlige straling**. Deze straling bevindt zich hoofdzakelijk in het thermisch infrarode deel van het spectrum (zie Figuur 55 en §3.1.1). Deze langgolvlige straling afkomstig van het oppervlak wordt voorgesteld door $Q_{LW,surf}$. Maar deze straling is echter niet alleen afkomstig van de bodem. In het stedelijk weefsel zal elk oppervlak zichtbaar vanaf de positie van de voetgangers hiertoe bijdragen : gevels, heet asfalt, maar ook bvb vegetatie. In bovenstaande Figuur 72

is bijgevolg een onderscheid gemaakt tussen langgolvlige straling afkomstig van het oppervlak, en langgolvlige straling afkomstig van de omgeving.

- $Q_{LW,sky}$: Naast het oppervlak en de omgeving is de atmosfeer als dusdanig ook een “warm lichaam”, dat dus thermische of langgolvlige straling zal uitzenden. Dit is wat deze component aangeeft in bovenstaande figuur. Deze omnidirectionele **langgolvlige straling afkomstig van de atmosfeer** zal dus duidelijk afhangen van de fractie van het hemelgewelf waaraan de voetganger is blootgesteld, met andere woorden de sky view factor.

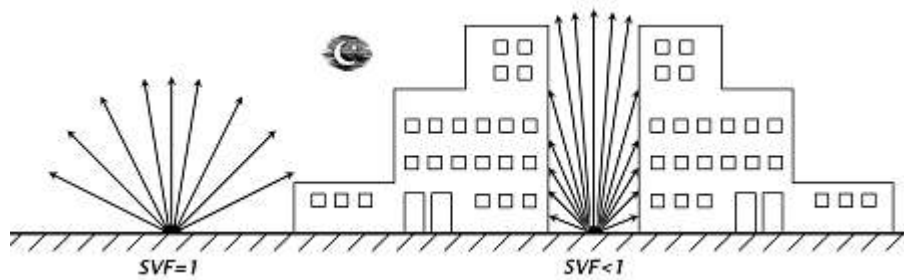
Alle hoger vermeldde componenten hebben een positief teken, met andere woorden zullen energie toevoegen aan onze proefpersoon en dus voor opwarming zorgen. Uiteraard zullen er ook verkoelende mechanismen zijn en in de stralingsbalans dienen we uiteraard dan de langgolvlige straling uitgezonden door het menselijk lichaam te beschouwen. Deze grootte is afhankelijk van de lichaamstemperatuur en emissiviteit van de huid en/of kledij (typisch 0.9) en waarbij de effectieve oppervlakte temperatuur van het lichaam kunnen benaderen als 34 – 35 °C (Erell et al., 2011).

We dienen hierbij verder ook op te merken dat we 2 componenten zullen verwaarlozen in de verdere discussie, met name de gereflecteerde kort- en lang-golvlige straling. De gereflecteerde hoeveelheid langgolvlige straling is relatief beperkt en voor wat de kortgolvlige straling betreft, is die eigenlijk enkel belangrijk in de buurt van sterk reflecterende oppervlakken (glas, spiegels). Deze kunnen weldegelijk aanwezig zijn in de stedelijke omgeving, maar op basis van de ons beschikbare data kunnen we daarvoor onmogelijk een inschatting doen.

Om redenen die verder duidelijk zullen worden zullen we een aantal vereenvoudigingen moeten doorvoeren om de complexiteit van het stedelijk weefsel hanteerbaar te maken (§3.3.4). Eerst en vooral kunnen we beroep doen op onze remote sensing data die een relatief goede inschatting geven van de oppervlakte temperatuur van het stedelijk weefsel. Gezien de resolutie van de ASTER data (90 m) kunnen we stellen dat dit om een geaggregeerde, uitgemiddelde temperatuur gaat van zowel gebouwen, vegetatie canopy als grond oppervlak. Deze LST stelt ons dus in staat de langegolf stralingscomponenten te berekenen afkomstig van oppervlak en stedelijk canopy (de omgeving). De ontbrekende langgolvlige straling is dan afkomstig van de lucht. We dienen echter rekening te houden met een soort *view factor*, i.e. : de verhouding hoeveel van het hemel gewelf zichtbaar is vanaf de grond t.o.v. hoeveel geblokkeerd wordt door gebouwen en obstakels. We spreken van de *sky view factor* hier. Hierin dient ook vegetatie te worden opgenomen gezien ook dit een deel van het hemelgewelf afschermt. Gezien wij die zogeheten sky view factor in volgend hoofdstuk ook zullen nodig hebben loont het de moeite om er even kort bij stil te staan.

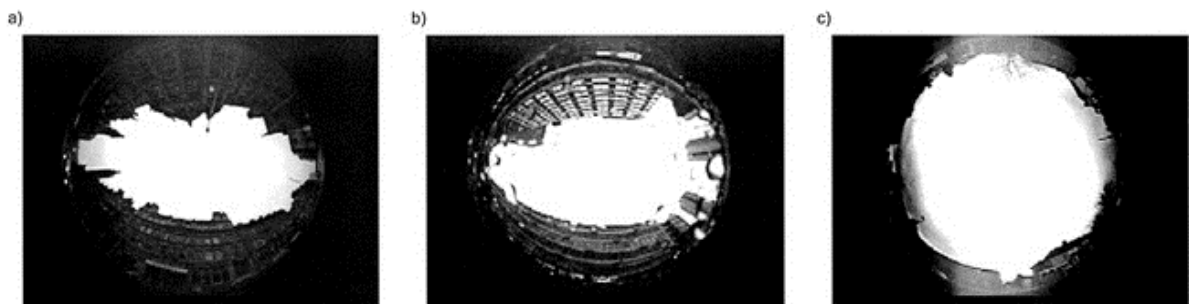
3.3.2. AFLEIDEN 3D HOOGTE MODEL VOOR GENT EN DE SKY VIEW FACTOR

Zoals vermeld is de sky view factor kortweg de fractie van het hemelhalfroond dat zichtbaar is vanaf het grondniveau. Onderstaande Figuur 73 illustreert dit :



Figuur 73 : Illustratie van de sky view factor, bron : www.knmi.nl/klimatologie/weeramateurs/UHI/index.html

Wanneer men zich in een open veld bevindt, dan is bijna het volledige hemelhalfrond zichtbaar, in dit geval hebben we een SVF van bijna 1. In stedelijke omgeving echter, blokkeren de gebouwen veelal het “vrije zicht”. Extreme street canyons hebben bijgevolg een SVF die veel lager is dan 1. Een SVF kan men experimenteel eenvoudig bepalen aan de hand van fotografie met zogeheten fish-eye lenzen (zie onderstaande Figuur 74). Zo zien we in paneel a) een situatie met een lage SVF, terwijl in paneel c) we een hogere sky view factor hebben, voor een meer open lokatie.

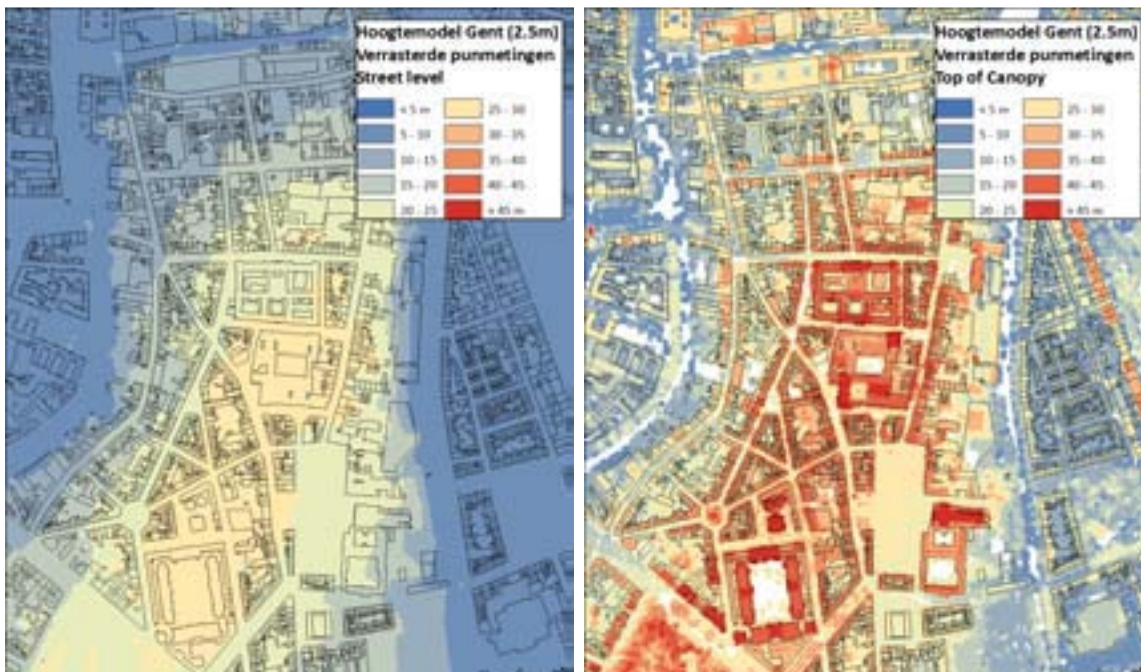


Figuur 74 : Illustratie van bepaling van SVF met zogeheten fish-eye lenzen (Chapman and Thornes, 2004).

Om de SVF af te leiden voor een wijk of een stad is uiteraard een 3D model van de gebouwen nodig. Gezien slechts een beperkte zone van Gent reeds in 3D is gedigitaliseerd is deze 3D data momenteel nog niet echt bruikbaar hiervoor. Voor deze studie zijn we dus vertrokken van ruwe LIDAR puntmetingen die beschikbaar gemaakt zijn door AGIV. Het gaat hier om een set x,y,z metingen afgeleid uit een aantal vliegtuig campagnes. De concrete methodiek voor de verwerking van deze data is in bijlage opgenomen. Hier geven we kort de grote stappen weer en bespreken de resultaten.

In de ruwe AGIV puntmetingen zijn 2 datasets beschikbaar, een dataset met terrein punten en een dataset met gebouwen en top-of-canopy (vegetatie) punten. Om de relatieve hoogte van de gebouwen t.o.v. het terrein model te bepalen hebben we dus beide nodig. Allereerst werden de datasets met x,y,z punten geaggregeerd naar een terrein kaart enerzijds en een top-of-canopy kaart anderzijds. Na analyse bleek een resolutie van 2.5 m voor deze rasterkaarten een goed compromis tussen het niveau van detail, de grootte van de raster kaarten en de intrinsieke ruimtelijke resolutie die de puntmetingen toelaten. Voor het aanmaken van de terrein kaart hebben we nog een extra correctie toegepast waarbij we de pixels bedekt door de gebouwen expliciet hebben uitgegomd en terug vanaf de terrein data naast de gebouwen, de terrein hoogte onder de gebouwen reconstrueerden. Dit laatste om een zo goed mogelijke match te hebben

tussen de gebruikte gebouwen contouren³⁴ en het AGIV terrein model, waaruit niet alle gebouwen waarvoor we de hoogte willen bepalen zijn weggelaten.



Figuur 75 : Vergelijking terrein model (links) en de top of canopy hoogtes (rechts) voor de Blandijnberg in Gent.

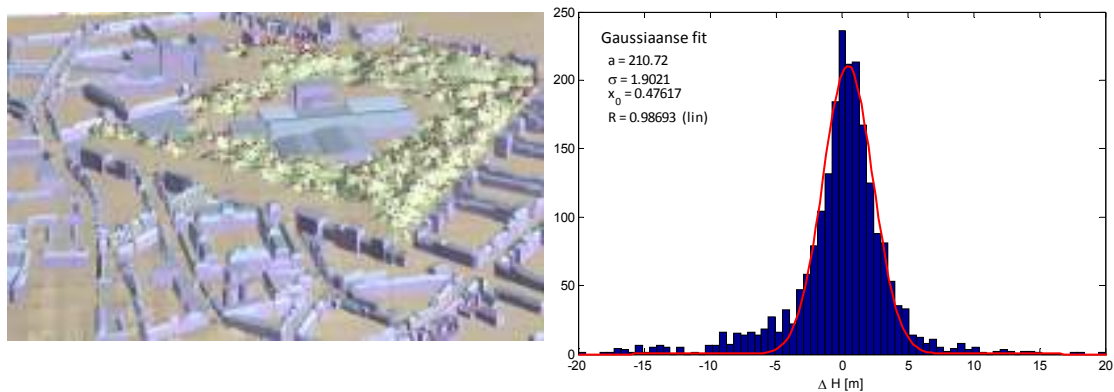
We merken uiteraard dat in de top of canopy laag het raster veel gedetailleerdere karakteristieken bevat dan de overliggende gebouwen contouren. We kunnen echter slechts 1 hoogte per gebouw reconstrueren met deze methodiek, en zaken zoals schuine daken kunnen we niet in rekening brengen. Voor het inschatten van de SVF lijkt ons dit echter voldoende te zijn.

Vervolgens hebben we voor elk gebouw het hoogte verschil t.o.v. het straatniveau bepaald. Voor de terrein hoogte per gebouw nemen we de laagste van de onderliggende pixel waarden uit het terrein model. Als dakhoogte wordt het 90^{ste} percentiel genomen van de pixels uit de Top of Canopy laag. Wanneer echter het verschil met de terrein hoogte van dat gebouw minder dan 4 m bedraagt, nemen we de maximale pixel hoogte van het Top of Canopy model. Resulterende gebouwen hoogtes die dan nog kleiner dan 0 zijn worden op 0 gezet. Dit lijkt een iet of wat gecompliceerde aanpak. Maar deze volgde echter als beste uit een vergelijkende analyse met een hoogte model voor de buurt rond het Citadelpark dat door UGent³⁵ is opgesteld geworden op basis van stereo-luchtfoto's en fotogrammetrie in het kader van het CLIMAQS project (Maiheu, Hendrickx and Goossens, 2010). Het resultaten van een korte validatie studie is afgebeeld in onderstaande Figuur 76. We merken ongeveer 1.9 m spreiding op het verschil van de gebouwen hoogtes (zie Figuur 76). Het gemiddeld verschil³⁶ dat uit de validatie volgt is 8 cm, dus dat geeft aan dat gemiddeld gesproken de gebouwen hoogtes uit onze afleiding ongeveer wel overeenkomen met een onafhankelijke meting.

³⁴ Deze contouren zijn ons ter beschikking gesteld voor het jaar 2003, dat overeenkomt met de vliegcampagnes van AGIV waaruit de x,y,z puntmetingen volgden.

³⁵ Contact: Prof. Dr. Rudi Goossens (rudi.goossens@ugent.be), Marijn Hendrickx

³⁶ Merk op dat de centrale positie van de gaussische fit in Figuur 76 wel 47 cm gemiddeld verschil aangeeft, wat nog altijd aanvaardbaar zou zijn.



Figuur 76: Vergelijking van het CLIMAQS hoogte model van UGent (links afgebeeld), waarbij een gedetailleerde digitalisatie is gedaan, ook van de vorm van de daken en het hier afgeleide hoogtemodel. Rechts zien we het histogram van de verschillen tussen de gemiddelde UGent dakhoogte en de gebouwen hoogte van ons model.

Op basis hiervan kunnen we vervolgens de sky view factor afleiden. Hiervoor maken we gebruik van de *Terrain Analysis – Lighting and Visibility* module binnen SAGA GIS. Deze module stelt ons in staat de sky view factor te berekenen en het resultaat is hieronder weergegeven.



Figuur 77 : Voorbeeld van de afgeleide sky view factor voor een uitvergroting van het centrum van Gent. Men kan duidelijk de smalle straatjes met een lagere sky view factor zien en de eerder open pleinen met een hogere SVF.

Indien we ook rekening houden met vegetatie in de afleiding van de sky view factor, vinden we onderstaande Figuur 78.



Figuur 78 : SVF_v , afgeleid ook rekening houdende met de vegetatie. De gebouwen zijn bedekt door de shapefiles gezien deze later uit de resultaten dienen weggesneden te worden om de publieke ruimte te hebben.

We merken dat naast een verlaagde sky view factor in smalle straatjes, nu ook de beschaduwing door vegetatie (bvb bomen in het citadelpark) wordt meegenomen. We dienen hier echter de opmerking te maken dat dit slechts ten dele accuraat is gezien

- De LIDAR data gebruikt voor het opmeten van het hoogtemodel verspreid is genomen over de 4 seizoenen en over een 3-tal jaar. De toestand van de vegetatie is dus lang niet zeker en kan niet 1 op 1 worden afgeleid uit deze opnames.
- Het beschaduwingsalgoritme houdt geen rekening met het feit dat een boomkruin deels transparant is voor zonlicht. Om een correcte inschatting te kunnen maken van de stralingsintensiteit doorheen het bladerdek is dus een soort stralingstransfer berekening nodig die rekening houdt met de kruindichtheid of LAI (leaf area index). Hoewel het belang hiervan heel duidelijk vermeld dient te worden, zou dergelijke berekening ons echter binnen het kader van dit project te ver leiden. We dienen ons dus bewust te zijn dat de potentiële invallende zonnestraling in stadsparken voorzien van bomen deels overschat kan zijn in de volgende berekeningen.



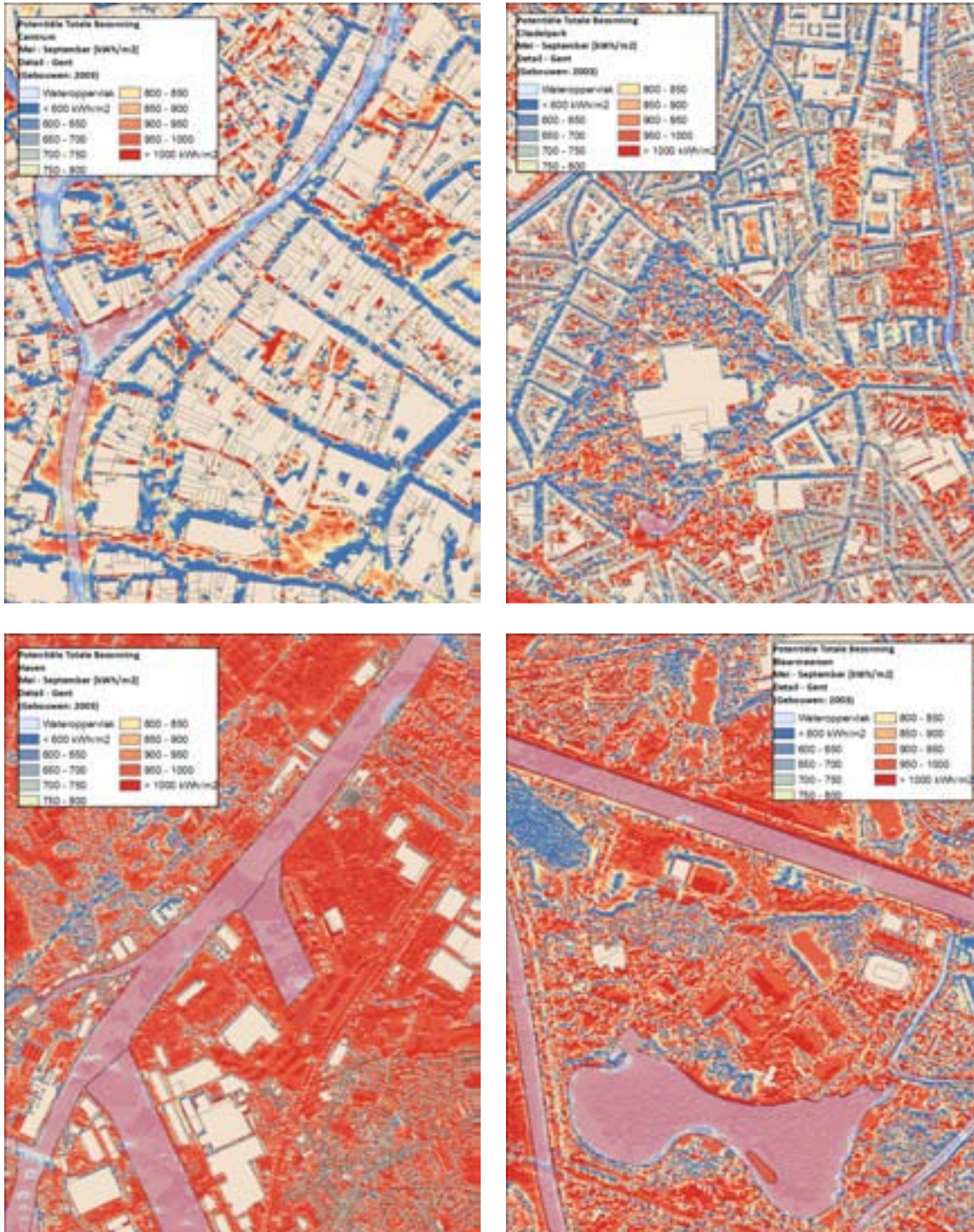
Figuur 79 : Afbeelding van de potentieel invallende zonnestraling in W/m^2 . Links is de directe component afgebeeld, rechts de diffuse.

3.3.3. POTENTIËLE BEZONNING IN GENT

Indien we de *mean radiant temperature* van § 3.3.1 wensen te berekenen hebben we naast de langgolvlige straling, waarvoor we het ASTER oppervlakte temperatuursbeeld (zie verder) zullen gebruiken ook de kortgolvlige invallende straling nodig. Met andere woorden de zonnestraling en met name hoe de schaduwvorming hierin een rol speelt.

Om dit te illustreren berekenen we allereerst de totale potentiële bezonning voor een seizoen : vanaf begin mei tot eind september. De absolute waarden van dergelijke berekening zijn in geen geval vergelijkbaar zijn met de werkelijke waarden gezien hier telkens van een heldere hemel is uitgegaan. In werkelijkheid zal die totale bezonning uiteraard stukken lager liggen gezien de vaak voorkomende bewolking een groot deel van de invallende directe zonnestraling zal absorberen. De ruimtelijke variabiliteit geeft echter wel aan waar de schaduwvorming in Gent het grootst is, en waar het oppervlak (en dus de bevolking) meer wordt blootgesteld aan invallende zonnestraling. Onderstaande figuren brengen dus enkel de interactie van de veranderende stand van de zon (dag/jaarcyclus) met het stedelijk weefsel in kaart. We beroepen ons hiervoor andermaal op het hoogtemodel op 2.5 m dat we opstelden en dat eerder is beschreven.

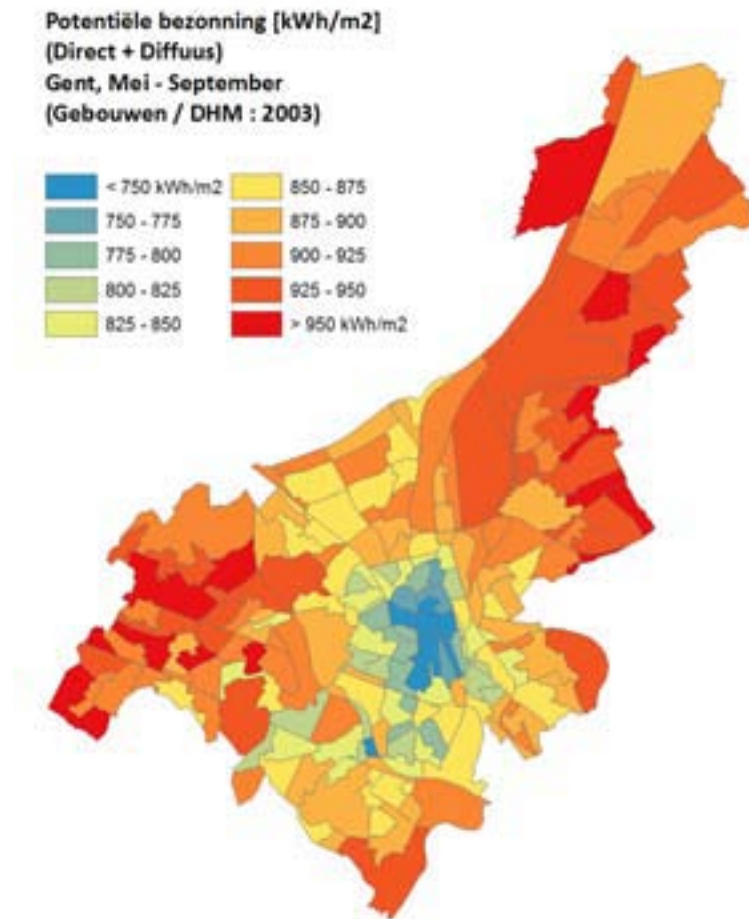
Figuur 80 geeft enkele detail afbeeldingen van de totale potentiële bezonning (uitgedrukt in kWh/m^2) gedurende een zomerseizoen (mei - september). We merken duidelijk de schaduw effecten aan de zuidelijke gevelzijden in de straten en bvb op de Vrijdagmarkt, waar de totale bezonning anderhalf tot twee keer hoger ligt in het centrum van het plein dan tegen de zuidelijke gevels. In het beeld van de haven zien we duidelijk de grote industriële terreinen met weinig beschutting en schaduwvorming. We verwachten hier dan ook de grootste hittestress t.g.v. invallende korte-golf straling. Voorts zien we bijvoorbeeld voor de detail beelden van het Citadelpark en de Blaarmeersen dat de berekening voor vegetatie elementen zoals die nu geschiedde niet optimaal is. Beter zou zijn om hier een eenvoudig stralingstransfer model te gebruiken dat rekening houdt met de kruindichtheid (en bijvoorbeeld kan onderscheid maken tussen zomer en winter situaties).



Figuur 80 : Detail afbeeldingen van de totale potentiële bezonnning over een gans zomer seizoen van mei tot september, onder heldere hemel. Bovenaan links zien we een detail in het centrum van Gent, met de Korenmark en de Vrijdagmarkt duidelijk afgetekend, rechts een detail van de buurt rond het Citadelpark. Onderaan links een detail in de haven en rechts de Blaarmeersen.

In onderstaande Figuur 81 vervolgens hebben we de afgeleide totale potentiële bezonnning geaggregeerd naar statistische sectoren. Per sector hebben we hiervoor de gemiddelde bezonnning

weergegeven, rekening houdende met de aanwezigheid van de gebouwen. Dit wil zeggen dat we enkel die gridcellen meenemen in de 2.5m rasterkaart die tussen de gebouwen liggen.



Figuur 81 : Geaggregeerde totale bezonning in statistische sectoren. Per sector geven we de gemiddelde potentiële bezonning weer, waarbij we rekening houden met de aanwezigheid van gebouwen (die niet worden meegerekend in de uitmiddeling).

Een aantal zaken vallen op. De laagste waarden worden gevonden voor de meer centrale delen van Gent. Dit is ergens logisch gezien daar meer kleine, smalle straatjes aanwezig zijn die op natuurlijke wijze voor schaduwvorming zorgen. De totale bezonning is het grootst uiteraard voor de grote open gebieden die kenmerkend zijn bvb. voor de haven, maar ook bijvoorbeeld de open natuurgebieden zoals de Bourgoyen of het strand van de Blaarmeersen (zoals ook op Figuur 80 zichtbaar is).

3.3.4. MEAN RADIANT TEMPERATURE

Nu we in iets meer detail de afleiding van het 3D model, de sky view factor en de bezonning (invallende korte golfstraling) besproken hebben, liggen alle elementen op tafel om een inschatting te maken van het ruimtelijk patroon van de hoger gedefinieerde mean radiant temperature (§ 3.3.1).

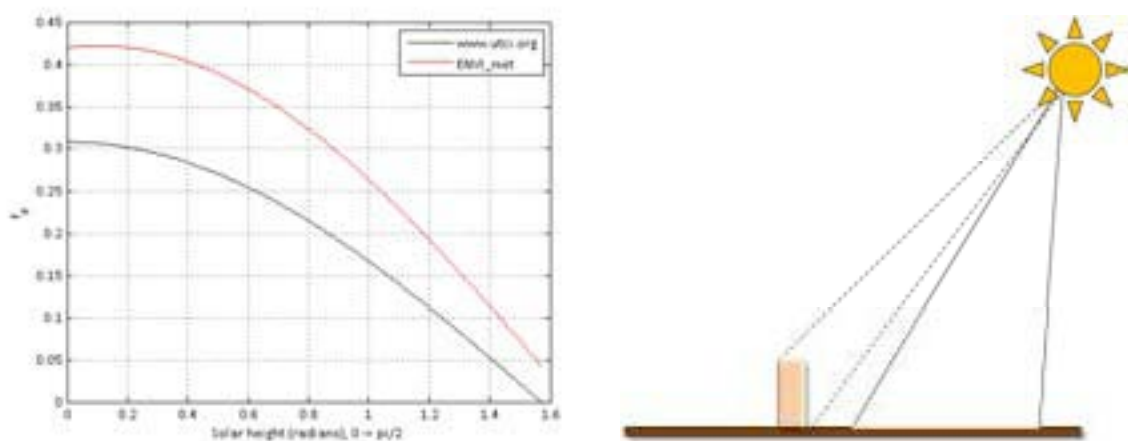
Wiskundig ziet de berekening van de MRT er als volgt uit (www.utci.org, (Thorsson et al., 2007)) voor een persoon die blootgesteld is aan directe zonnestraling enerzijds en aan diffuse kort-golvige en lang-golvige straling afkomstig van een aantal oppervlakken i in zijn 'vizier' :

$$T_{mrt} = \left[\frac{1}{\sigma} \cdot \sum_{i=1}^n \left(Q_{LW,i} + a_h \frac{Q_{SW,i}^{diffuse}}{\varepsilon_h} \right) \cdot F_i + f_p a_h \frac{Q_{SW,i}^{direct}}{\sigma \varepsilon_h} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Met :

- σ : de constante van Stefan-Boltzman ($5.670373e-8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).
- $Q_{SW,i}^{direct}$: directe invallende korte golf straling (directe zonnestraling) in $[\text{Wm}^{-2}]$
- ε_h : emissiviteit van onze theoretische persoon (typisch 0.97)
- a_h : absorptie coëfficiënt voor kortgolvlige straling van onze theoretische persoon, typisch 0.7 (Thorsson et al., 2007; Erell et al., 2011)
- F_i : view factor voor oppervlak i , waarover gesommeerd wordt
- $Q_{LW,i}$: langgolvlige straling afkomstig van oppervlak i $[\text{Wm}^{-2}]$
- $Q_{SW,diffuse,i}$: diffuse kortgolvlige straling afkomstig van oppervlak i $[\text{Wm}^{-2}]$
- f_p : projected area factor voor onze theoretische opstaande mens met rotatie symmetrie

De laatste factor (f_p) vertaalt de invallende zonnestraling op een horizontaal oppervlak, waarin kortgolvlige neerwaartse zonnestraling typisch wordt uitgedrukt in een invallende straling op een omhullende theoretische cilinder rond een menselijk lichaam afhankelijk van de hoogte van de zon boven de horizon Figuur 82.



Figuur 82 : Grafiek van de area projecten factor. Er worden een aantal verschillende parametrisaties³⁷ afgebeeld met name afkomstig van www.utci.org en de parametrisatie gebruikt in het ENVI-met model (www.envi-met.com).

In theorie zou men dus de straling afkomstig van elk oppervlak i moeten kennen dat zich in het gezichtsveld van de voetganger in kwestie bevindt. Het hoeft geen uitleg dat om dit gedetailleerd in kaart te brengen in een extreem heterogene omgeving zoals een stad een uiterst moeilijke opdracht is. Er dringen zich dus inderdaad een aantal vereenvoudigingen op (Thorsson et al., 2007).

Een belangrijke opmerking hierbij is dat de effecten van straling zich op heel korte afstand kunnen afspelen : in de schaduw van een boom of niet kan al makkelijk een verschil van 10 °C stralingstemperatuur opleveren zoals ook blijkt uit studies van de Universiteit Wageningen. In deze analyse bekijken we sowieso de zaak op 90m en daarna naar wijkniveau. Het spreekt dus voor zich dat we dergelijke korte afstandseffecten niet kunnen vatten met deze berekening maar meer geïnteresseerd zijn in een globaal beeld van de hittestress overdag in Gent.

Om vervolgens de energiestroomcomponenten te berekenen zullen we volgende zaken aannemen :

- De opwaartse langgolvlige straling kunnen we berekenen aan de hand van het ASTER LST beeld :

$$Q_{LW}^{surf} = \varepsilon_{surf} \sigma T_{surf}^4$$

- De neerwaartse langgolvlige straling afkomstig van de atmosfeer parametriseren we aan de hand van luchttemperatuur en emissiviteit op basis van de dampspanning van water (Prata, 1996), zie ook (Choi et al., 2008). We nemen 20 mbar als karakteristieke waarde voor de dampspanning van water (typische bij +/- 20 °C) hier (net als voor de zonnestraling berekeningen). De luchttemperatuur kunnen we makkelijk uit de modellering halen (zie verder).
- We gaan er vervolgens van uit dat een voetganger voor de helft aan opwaartse langgolvlige straling en voor de helft aan neerwaartse langgolvlige straling is blootgesteld. Nu is het wel zo dat in stedelijke omgeving die neerwaartse langgolvlige straling niet enkel afkomstig is

³⁷ www.utci.org : $f_p = 0.308 \cos(\gamma(1 - \gamma^2/48402))$, ENVI-met : $f_p = 0.42 * \cos(\gamma) + 0.043 * \sin(\gamma)$ met γ telkens de zonnehoogte (radialen)

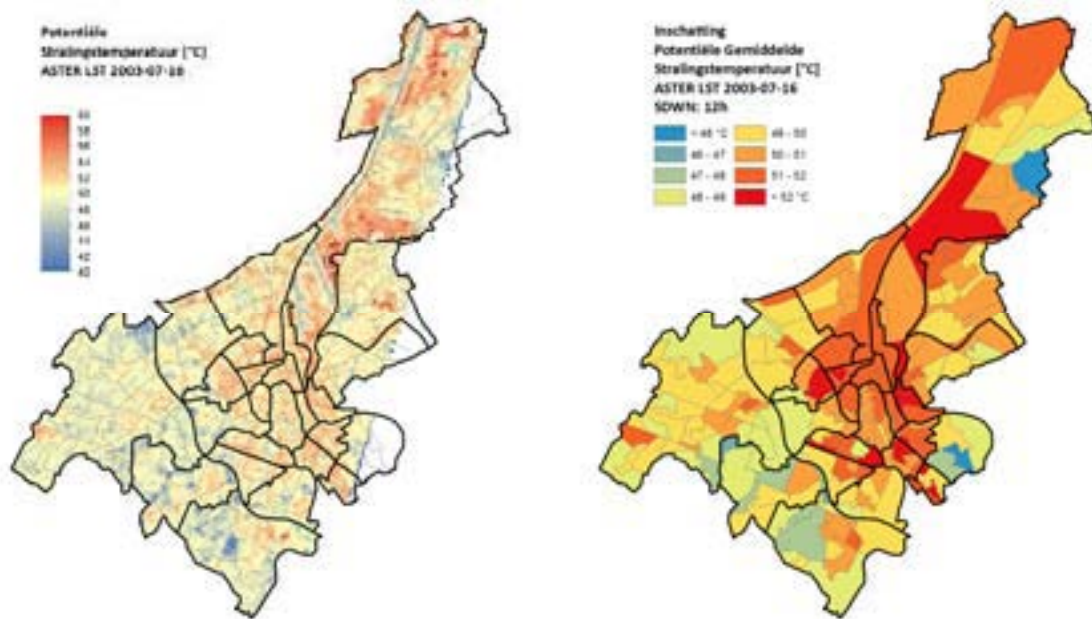
van de lucht, maar ook van de omringende gebouwen en vegetatie. Hier komt dus de befaamde SVF terug in het spel. We berekenen m.a.w. een neerwaartse IR straling van de atmosfeer (cfr hoger) : Q_{LW}^{sky} , en een IR straling afkomstig van de omgeving (gebouwwanden, bomen etc...) : Q_{LW}^{env} , een soort “environmental radiation” laat ons zeggen. We kunnen m.a.w. stellen dat de totale invallende langgolvlige straling op onze proefpersoon Q_{LW} gegeven wordt door :

$$Q_{LW} = .5 \underbrace{\left[(1 - SVF_{vg}) \cdot Q_{LW}^{surf} + SVF_{vg} \cdot Q_{LW}^{sky} \right]}_{\text{neerwaarts}} + .5 \underbrace{Q_{LW}^{surf}}_{\text{opwaarts}}$$

- Voor wat betreft de kortgolf straling, m.a.w. de directe en diffuse zonnestraling dienen we voor wat betreft de directe zonnestraling de hoekfactor (f_p) in rekening te brengen zoals die hoger is aangegeven. We berekenen vervolgens in SAGA-GIS³⁸ via de Module *Terrain Analysis – Lighting and Visibility*, de potentiële invallende zonnestraling, zowel direct als diffuus. We doen dit namelijk voor een dag in de zomer (de exacte datum op een paar weken na in de zomer maakt in principe niet zo heel veel uit) en dit om 12h zonnetijd (i.e. voor wanneer de zon het hoogst aan de hemel staat). In lokale tijd tijdens de zomer is dit in België ongeveer 14:00h. Men dient er zich wel van bewust te zijn dat het hier gaat om *potentiële* instraling, met name onder aanname van een heldere hemel en een typische 20 mbar waterdampspanning op 51.05 °NB.

Wanneer we alle componenten samenvoegen volgens de relatie aan het begin van deze paragraaf bekomen we de kaarten van Figuur 83, waarbij we als onderliggend ASTER beeld dat van 2003/07/16 genomen hebben. We beelden zowel de 90 m resolutie kaart af als de uitmiddeling naar statistische sectoren. **Deze kaarten geven dus een inschatting van het ruimtelijk patroon van de mean radiant temperature en dus stralingsbelasting voor een hete zomerdag in Gent.**

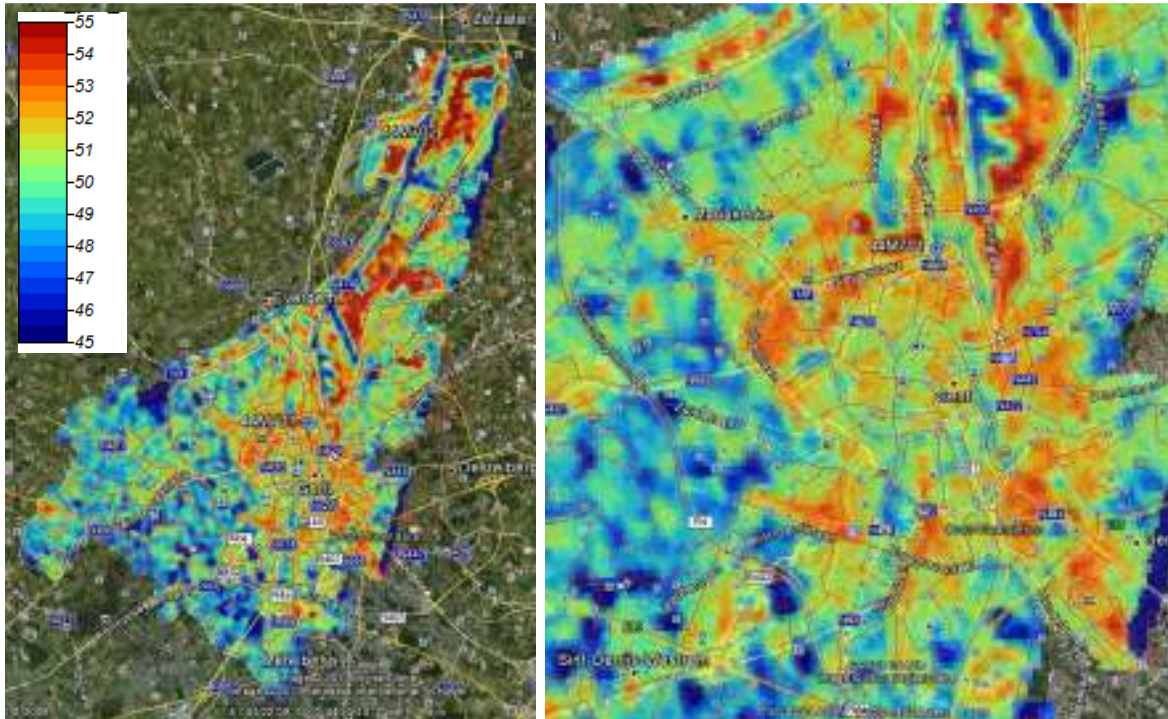
³⁸ <http://www.saga-gis.org/en/index.html>



Figuur 83 : Potentiële MRT op basis van het ASTER beeld van 2003-07-16. Er is enige voorzichtigheid geboden bij de interpretatie van de wijken in het oosten gezien het ASTER beeld van 2003-07-16 daar is afgekap.

Een aantal zaken vallen op. Zo zien we dat de zones met de hoogste potentiële MRT zich niet direct in de stadskern dienen te bevinden. In het oosten van de stad zien we duidelijk de buurt rond het rangeerstation en ter hoogte van de dokken aan de Vliegtuiglaan (Zuidok). Ook de industrie ten noorden van de Nieuwevaart en in iets mindere mate de wijk Rabot en Brugse Poort zijn duidelijk zichtbaar. Ledeberg zelf blijft een hotspot voor stralingstemperatuur net als St. Amandsberg, maar ook de wijk rond het Sint-Pieters station. We zien in feite een relatief gelijkaardig beeld ontstaan als voor de SUHI kaarten, 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.

Hoewel delen van de grote natuurgebieden zoals de Bourgoyen en de Blaarmeersen grote open ruimtes bevatten (en dus gevoelig zijn aan directe zonnestraling), zien we toch duidelijk dat de MRT daar lager is dan in de meer bebouwde delen van Gent. Dit is voornamelijk toe te schrijven aan de verminderde oppervlakte temperatuur die de stralingsbelasting t.g.v. lange-golf straling verminderd t.o.v. de bebouwde en niet begroeide stadszones. Dit is verder nog in wat meer detail afgebeeld op volgende Google-Earth screenshots van dezelfde kaart :



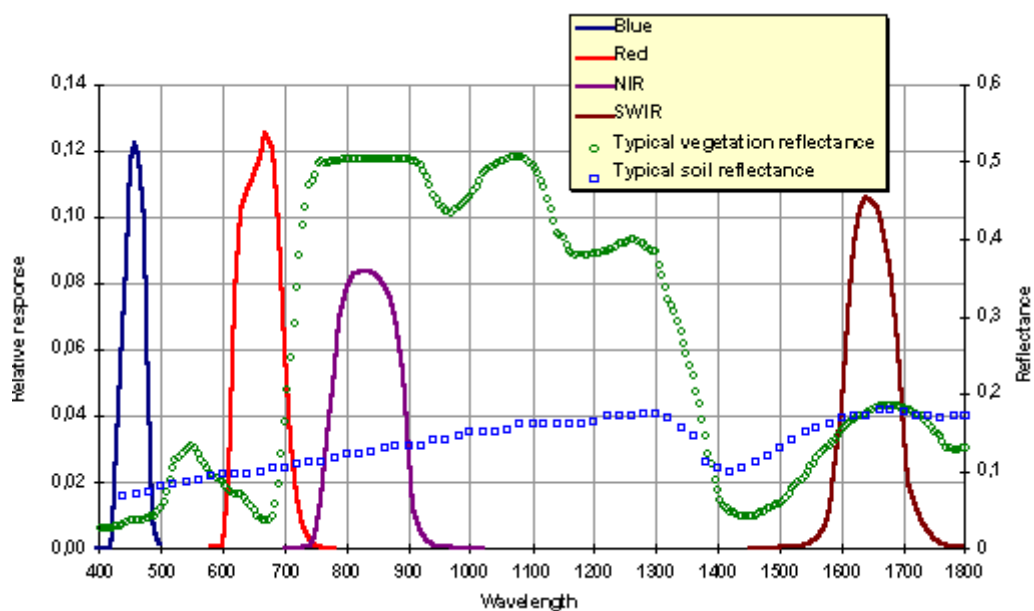
Figuur 84 : Google-Earth Screenshots van de MRT kaart zoals hoger beschreven. De schaal aanduiding is in °C.

3.4. DOWNSCALING ASTER BEELDEN NAAR 30M

In overleg met de opdrachtgever werd besloten om een verhoging van de ruimtelijke resolutie van de ASTER beelden na te streven. De originele beelden met een resolutie van 90 m zijn reeds relatief gedetailleerd en bieden de mogelijkheid om op basis van de ter beschikking gestelde GIS informatie de geobserveerde LST patronen te interpreteren. Bij een downscaling naar hogere ruimtelijke resolutie dient dus te worden afgewogen waarvoor de beelden uiteindelijk gebruikt gaan worden.

3.4.1. METHODIEK

Voor de downscaling van de ASTER LST beelden hebben we dus besloten om enkel en alleen op basis van remote sensing observaties te werken en maken we dus gebruik van Landsat NDVI data. De NDVI of Normalized Difference Vegetation Index is een relatief makkelijk afleidbare parameter die een goede maat geeft voor het aandeel vegetatie in een pixel. Het is zo dat planten zonnestraling met een golflengte tussen 400 en 700 nm gaan absorberen om aan fotosynthese te doen. Deze spectrale band wordt aangeduid met de term PAR-band of 'Photosynthetically Active Radiation'-band. Voor deze golflengtes ziet vegetatie er dus relatief donker uit. In het nabije infrarood (NIR, golflengtes tussen 700 en 1100 nm) echter zullen planten de meeste straling gaan reflecteren, wat in feite op natuurlijke wijze zo geëvolueerd is. Indien planten ook de IR straling zouden absorberen, zouden ze oververhitten, celschade oplopen en afsterven.



Figuur 85 : Typische spectrale reflectantie van Vegetatie (groene cirkels) en gewone grond (blauwe cirkels). In deze figuur zijn de banden van het SPOT-VEGETATION instrument weergegeven, de rode en NIR band van de TM/ETM+ instrumenten aan boord landsat zijn heel gelijk aardig (Rood : 0.63-0.69 μm , NIR : 0.76-0.90 μm). Bron: VITO (www.spot-vegetation.com).

Op basis van deze wetenschap kan men een eenvoudige parameter opstellen, de zogeheten NDVI, die we hierboven reeds aanhaalden. NDVI wordt relatief eenvoudig gedefinieerd als :

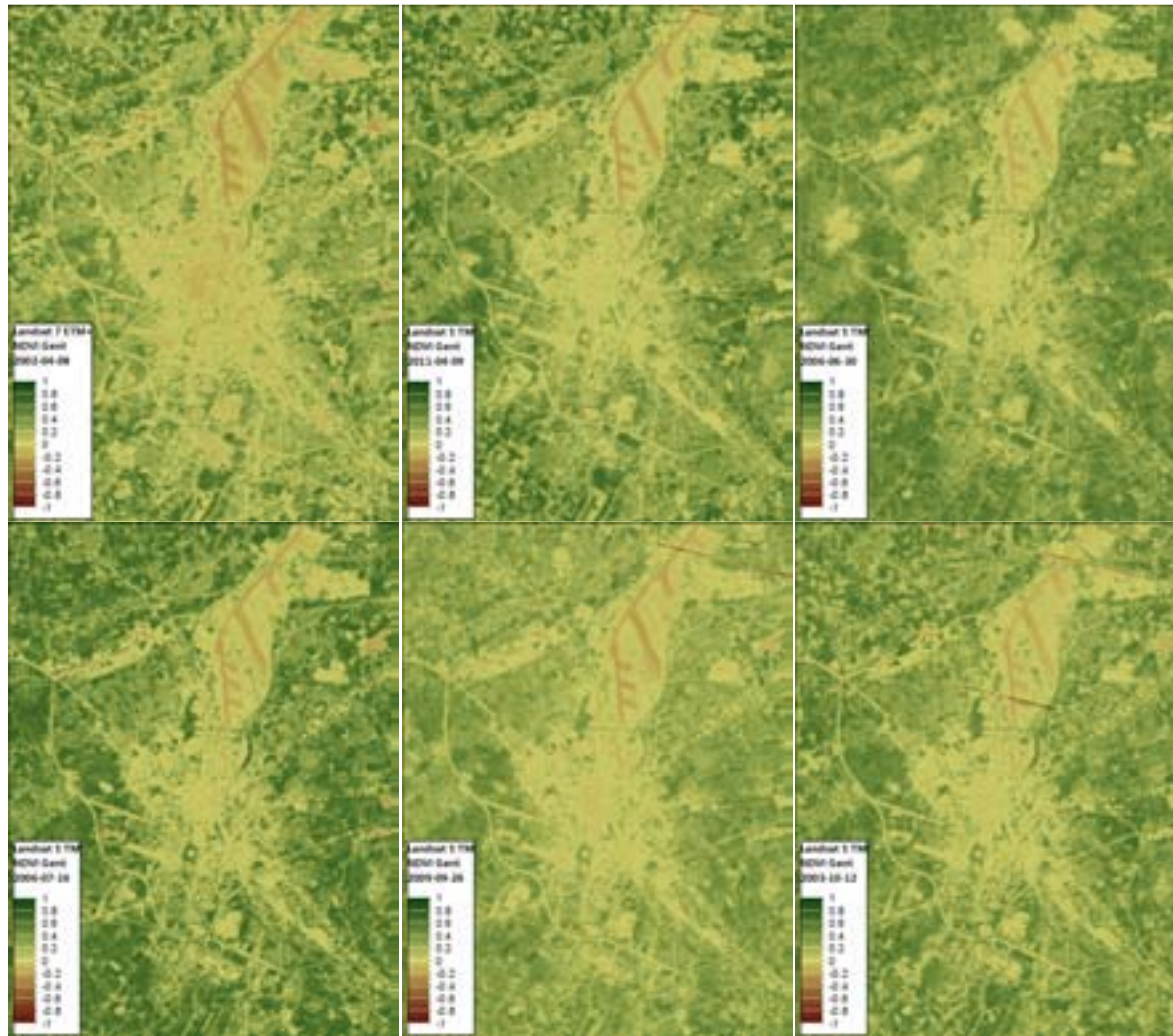
$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

ofwel, zoals de naam zegt, het genormaliseerde verschil tussen de gemeten intensiteit van de gereflecteerde zonnestraling in het NIR deel van het EM spectrum (Band 4 voor Landsat TM/ETM+) en die in het visueel deel (typisch rood) van het spectrum (Band 3 voor Landsat TM/ETM+), zoals die door de sensor wordt waargenomen. Gezien deze grootte verder ook als verhouding gedefinieerd is, zullen een groot deel van de atmosferische correcties slechts tweede orde correcties zijn, waardoor we een relatief bevredigende inschatting kunnen doen van de NDVI puur en alleen op basis van de ruwe Landsat data.

Voor het landsat instrument hebben deze spectrale banden een ruimtelijke resolutie van 30 m, exact de resolutie waarnaar we op zoek zijn voor de downscaling. We hebben bijgevolg enkele Landsat beelden opgevraagd en de NDVI hiervoor berekend. De NDVI beelden zijn hieronder in Figuur 87 weergegeven. De lagere NDVI boven het bebouwd gebied en in de haven is duidelijk zichtbaar. We zien verder ook dat de resolutie van die aard is dat de grote wegen te onderscheiden zijn. Ook voor het stadscentrum zien we dat de resolutie van 30 m duidelijk meer ruimtelijk detail toont. Om de vergelijking even duidelijk te maken hebben we onder in Figuur 86 een origineel Landsat NDVI beeld op 30 m naast een ge-downsamplede versie op 90 m resolutie gezet.

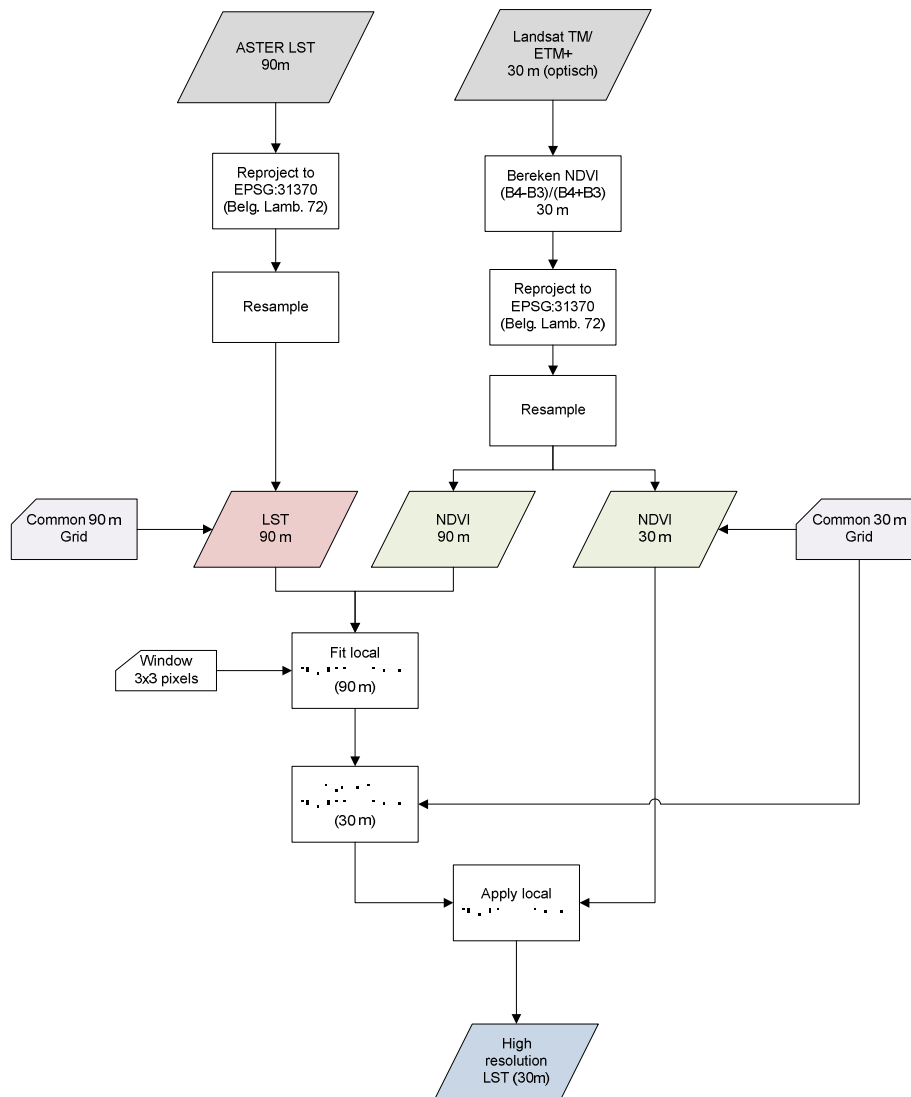


Figuur 86 : Vergelijking tussen het originele Landsat NDVI beeld (rechts, 30 m resolutie) en het gedownsamplede beeld naar de ASTER resolutie (links, 90 m).



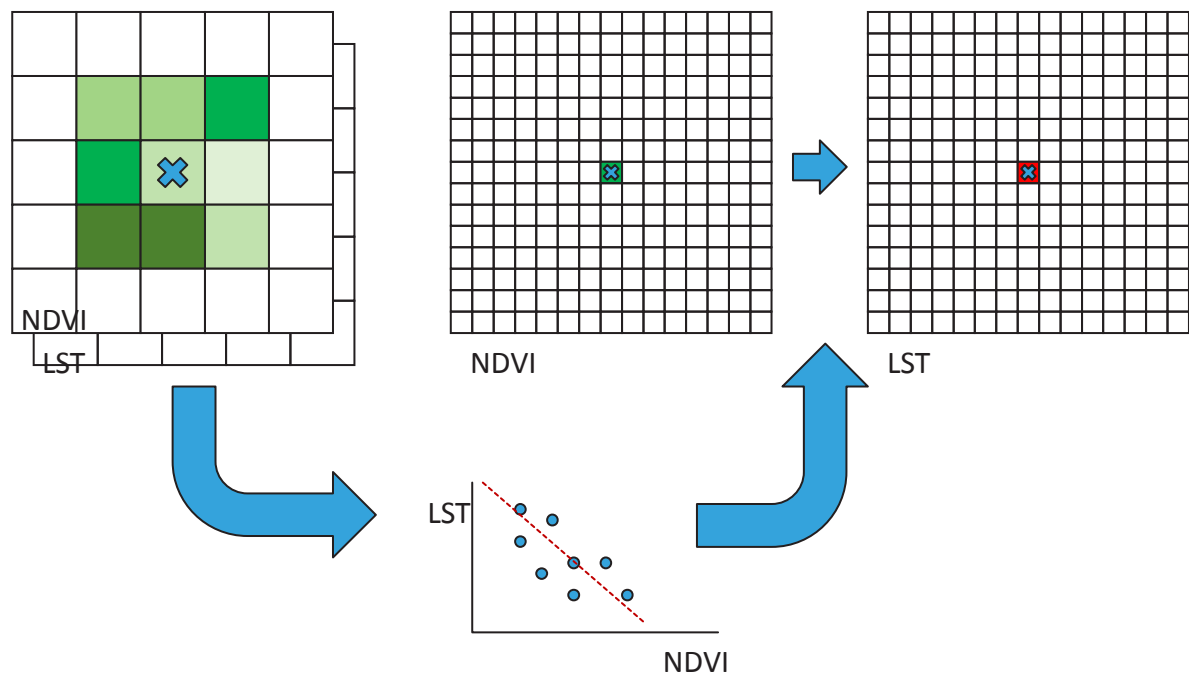
Figuur 87 : NDVI afgeleid voor een 6-tal wolkenloze landsat opnames boven Gent. De ruimtelijke resolutie is telkens 30 m. De kaarten zijn op een gelijke kleurenschaal afgebeeld en gerangschikt volgens datum in het jaar (niet volgens absolute datum).

De relatie tussen NDVI en oppervlakte temperatuur is uitgebreid onderzocht en beschreven. En vaak wordt NDVI dan ook toegepast in downscaling van LST beelden (Stathopoulou and Cartalis, 2009; Weng, 2004; Kustas et al., 2003; etc...). De algemene verwachting is dat zones met een hogere oppervlakte temperatuur een lagere NDVI zullen vertonen.



Figuur 88 : Schematisch overzicht van de downscaling procedure voor de ASTER LST beelden aan de hand van Landsat NDVI.

Het downscaling algoritme dat we implementeerden en toepasten voor deze studie is geïnspireerd op (Zakšek and Oštir, 2012). Volgens die methodiek proberen we een relatie door regressie analyse te vinden tussen de oppervlakte temperatuur en NDVI op basis van het lage resolutie LST beeld en een hersamplede versie van het NDVI beeld naar de resolutie van het LST beeld. De gevonden relatie passen we vervolgens toe op het hoge resolutie NDVI beeld om de finale 30 m LST opname te verkrijgen. Het is uiteraard zo dat we niet kunnen verwachten dat we een duidelijke globale éénduidige relatie vinden tussen het volledige LST beeld en het volledige NDVI beeld. We zullen dus voor elke pixel een lokale regressie doen op basis van de 3x3 omringende pixels. Dit wordt grafisch voorgesteld hieronder in Figuur 89.



Figuur 89 : Grafische voorstelling van het downscaling algoritme gebaseerd op een lokale regressie tussen hersamplede NDVI en ASTER LST.

De iets gedetailleerdere uitwerking van de techniek is afgebeeld in Figuur 88. We beginnen met het ASTER LST beeld op 90 m resolutie en het her-samplede NDVI beeld naar 90m. Beide beelden werden gegeoreferentieerd en geprojecteerd naar Belgische Lambert 72 coördinaten. Voor elke pixel van het 90 m beeld werd een lokale lineaire regressie uitgevoerd waarbij de 9 pixels van het 3x3 grid rond de desbetreffende pixel werden in rekening genomen. De overeenkomstige regressie parameters (helling en intercept) werden vervolgens toegepast op het hoge (30 m) resolutie NDVI beeld. Merk op dat we voor de regressie parameters, die slechts bepaald zijn op het lage resolutie grid (90 m) een eenvoudige bilineaire interpolatie doen naar het hoge resolutie grid.

3.4.2. TOEPASSING EN ANALYSE DOWNSCALING

Gezien voor niet alle beelden een duidelijke match qua timing gevonden kan worden tussen de LandSAT en ASTER opnames hebben we ervoor gekozen om de voorkeur te geven aan het matchen op basis van seizoenen. Dit wordt aangegeven door onderstaande tabel.

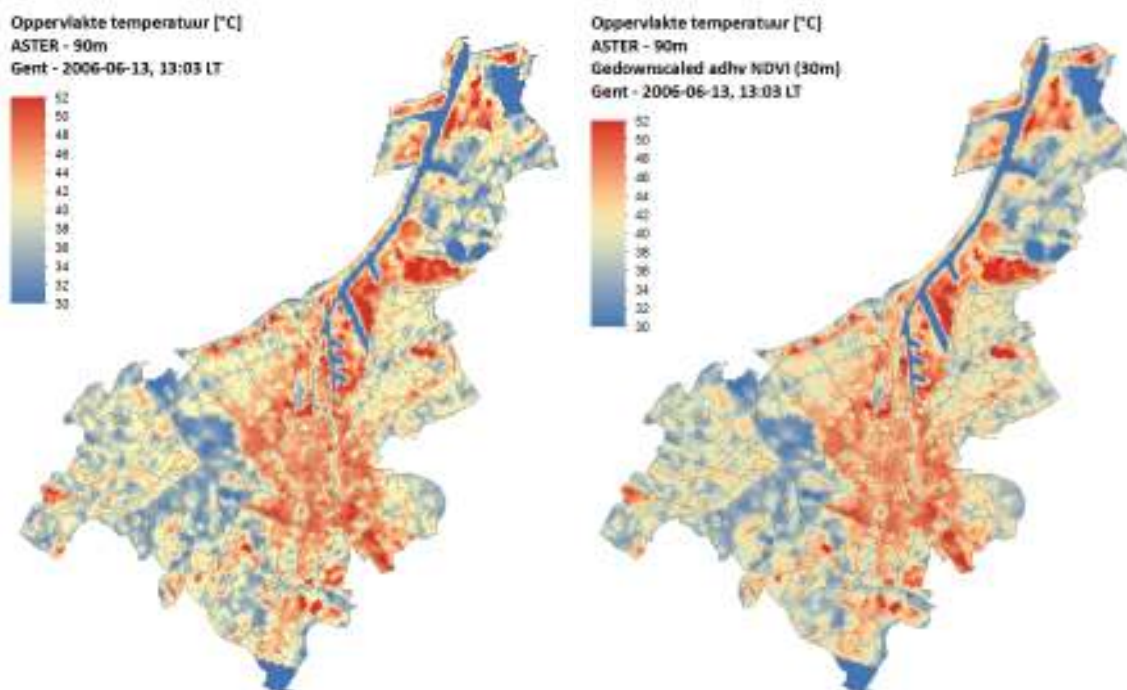
Tabel 11 : Pairing tussen de ASTER beelden en de gebruikte Landsat NDVI opnames voor de downscaling. De tijden zijn telkens voor het centrum van de scene weergegeven. De exacte opname tijd voor Gent kan dus afwijken.

ASTER IMAGE	Landsat scene ID (USGS)	Landsat scene datum
AST2B3 2002-04-08 10:58	LE71990242002098EDC00	2002-04-08 10:28

AST2B3 2002-09-24 10:52	LT51990242003285MTI01	2003-10-12 10:18
AST2B3 2003-01-12 11:04	LE71990242002098EDC00	2002-04-08 10:28
AST2B3 2003-04-18 11:04	LE71990242002098EDC00	2002-04-08 10:28
AST2B3 2003-05-29 10:58	LE71990242002098EDC00	2002-04-08 10:28
AST2B3 2003-07-16 10:57	LT51990242006197KIS00	2006-07-16 10:33
AST2B3 2005-09-23 10:56	LT51990242009269MOR00	2009-09-26 10:30
AST2B3 2006-06-13 11:03	LT51990242006181KIS00	2006-06-30 10:32
AST2B3 2011-03-25 10:51	LT51990242011099KIS00	2011-04-09 10:30
AST2B3 2011-04-10 10:51	LT51990242011099KIS00	2011-04-09 10:30

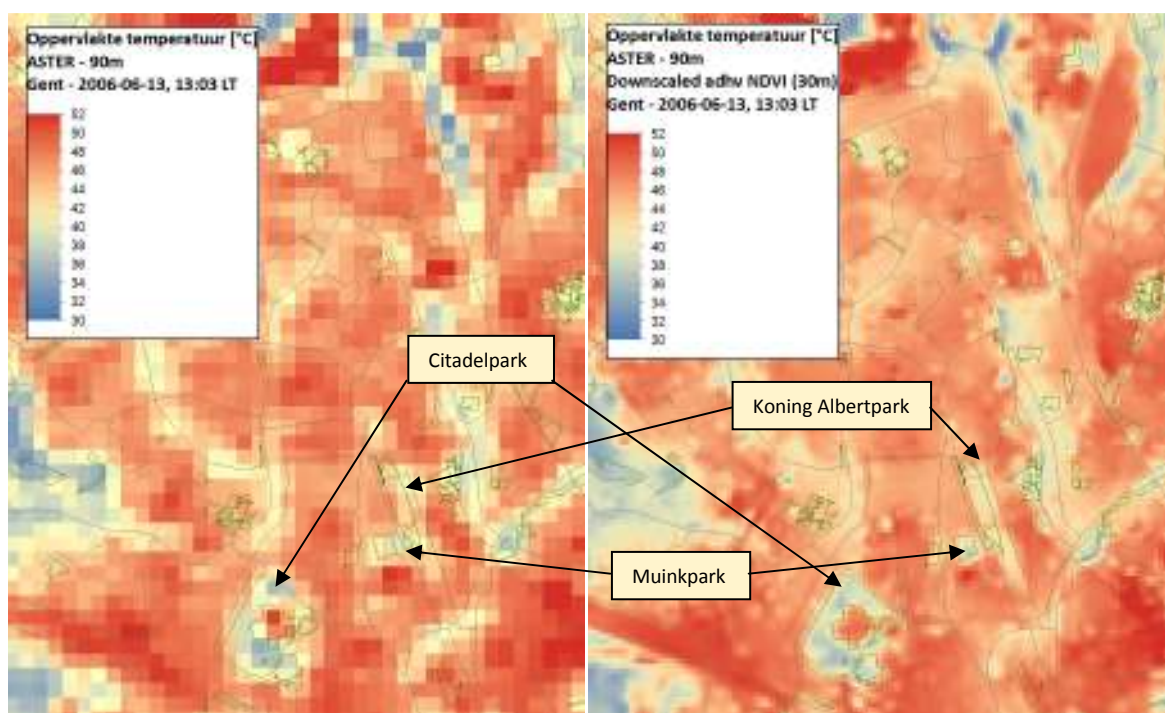
We merken dus dat we één ASTER beeld hebben waarvoor we op dezelfde dag een Landsat opname hebben (2002-04-08). De Landsat opnames zijn typisch om 10:30 UT genomen (dus in de zomer om 12:30 lokale tijd), wat ongeveer een half uurtje verschil is met de ASTER opnames. Voor de ASTER opnames in het voorjaar 2011 gebruiken we het Landsat beeld uit 2011 (9 april). De ASTER opname van 2006 komt relatief goed overeen met de landsat opname van 2006-06-30, dus namen we die. Voor de 3 beelden uit 2003 die in de winter en het voorjaar vielen namen we het Landsat beeld van het voorjaar 2002 (8 april) en omgekeerd nemen we voor het najaars ASTER beeld van 24 september het najaarsbeeld van Landsat van 12 oktober. Op die manier slagen we er toch relatief goed in de NDVI beelden te paren met de ASTER LST beelden op het juiste moment van het jaar en ook over de periode 2002 – 2011.

Een voorbeeld van de resulterende hoge resolutie 30-m LST beelden is hieronder opgenomen. We beperken ons in de rapportage tot het beeld van 2006-06-13 om 13:03 lokale tijd. Voor het beeld materiaal dat we verwerkten kende dit beeld de hoogste oppervlakte temperaturen.



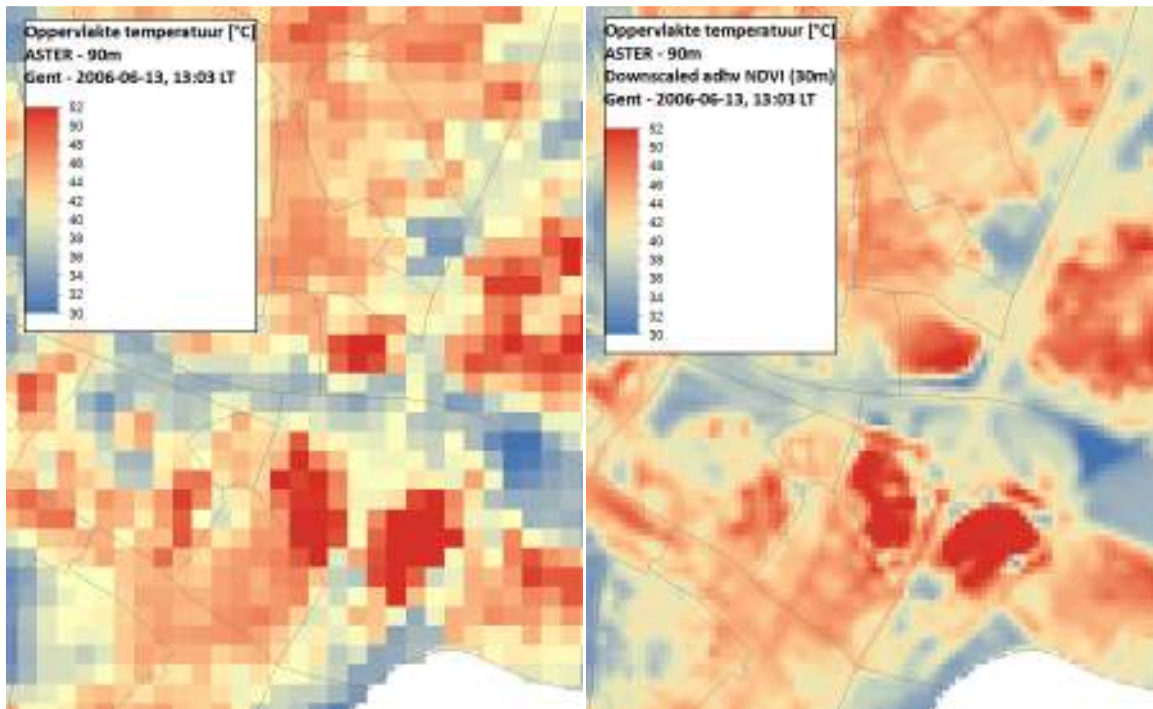
Tabel 12 : Vergelijking tussen het ruwe ASTER 90 m oppervlaktetemperatuursbeeld (links), en de gedownscalede versie op basis van Landsat NDVI. Het ASTER beeld is opgenomen op 2006-06-13 omstreeks 13:00 lokale tijd.

Laten we enkele verdere uitvergrotingen vergelijken. Hieronder in Figuur 90 zien we allereerst enkele gekende parken in centraal Gent. De originele ASTER LST opname is voor grotere parken zoals bvb het Citadelpark relatief duidelijk, maar we merken wel dat voor iets kleinere parken zoals het Muinkpark en het Koning Albertpark aan de afrit (B401) in de ruwe ASTER beelden iets minder duidelijk te onderscheiden zijn. In de gedownscalede versie van de oppervlakte temperatuurskaart zien we echter wel een duidelijk verlaagde oppervlakte temperatuur voor het Muikpark en het Koning Albertpark.

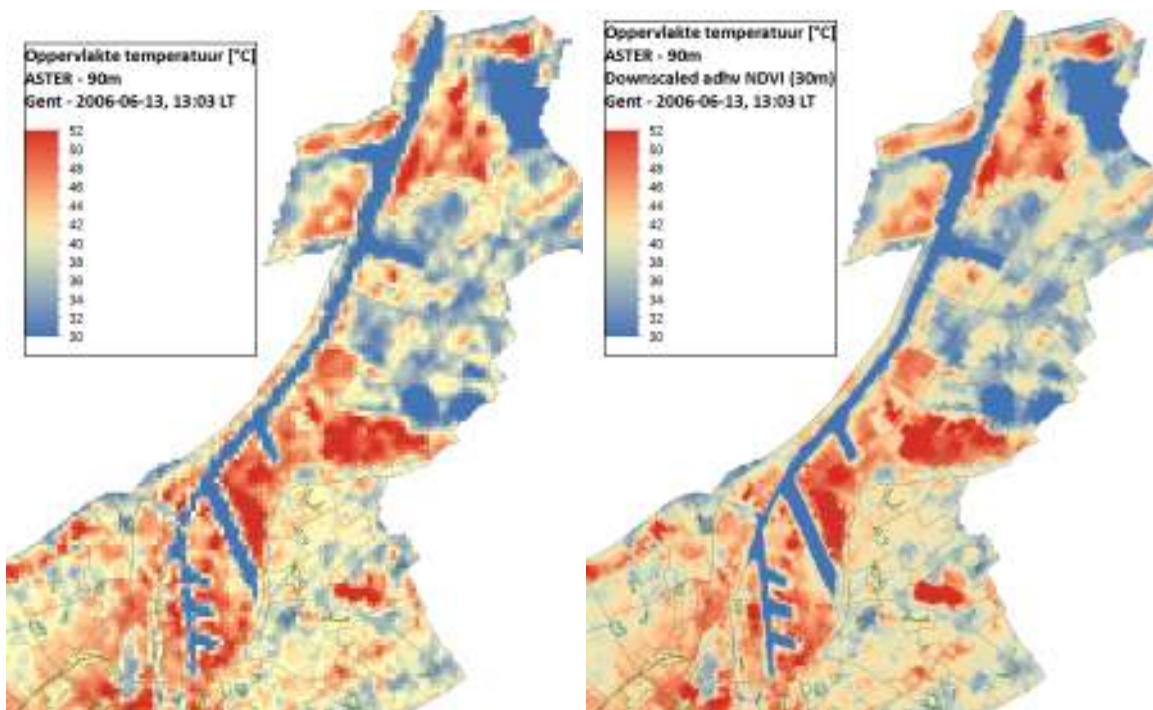


Figuur 90 : Uitvergroting van de (op basis van de NDVI) gedownscalede ASTER oppervlaktetemperatuur t.o.v. de originele data op 90m. Op de rasters zijn een aantal bekende parken in Gent met groene contouren aangeduid (opname 2006-06-13).

Verder zien we ook dat de autostrades en bvb. de verkeerswisselaar in Zwijnaarde duidelijk in de gedownscalede beelden te onderscheiden zijn.



Figuur 91 : Vergelijking tussen de originele ASTER en de adhv NDVI gedownscalede oppervlakte temperatuur rond de verkeerswisselaar tussen de E17 en de E40 in Zwijnaarde (opname 2006-06-13).

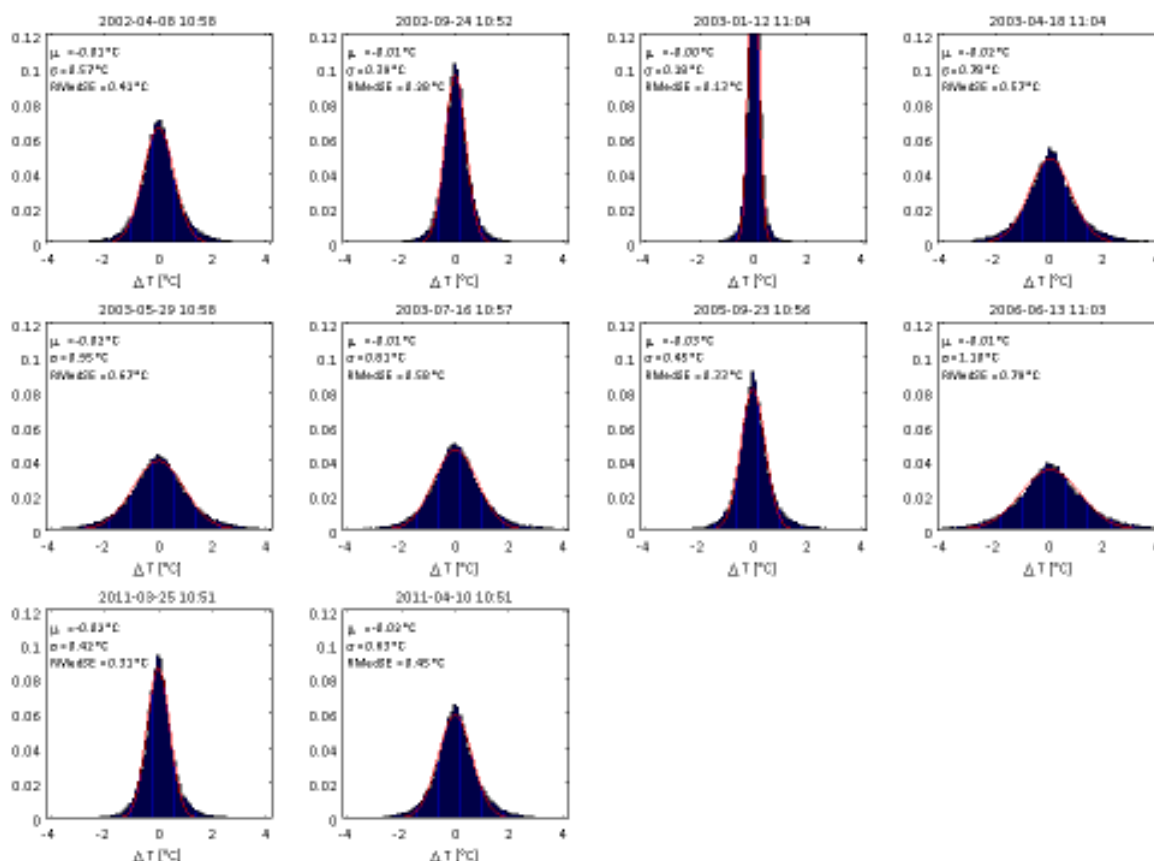


Figuur 92 : Vergelijking tussen de originele ASTER en de adhv NDVI gedownscalede oppervlakte temperatuur in het Gentse havengebied (opname: 2006-06-13).

3.4.3. VALIDATIE EN BESPREKING

RMA/N78H7/2012-0003

Uiteraard is het nu van belang na te gaan hoe kwalitatief deze downscaling is. Dit kan door de gedownscalede beelden opnieuw te gaan aggregeren naar de originele resolutie van 90 m en die waarden te vergelijken met de originele ASTER beelden.



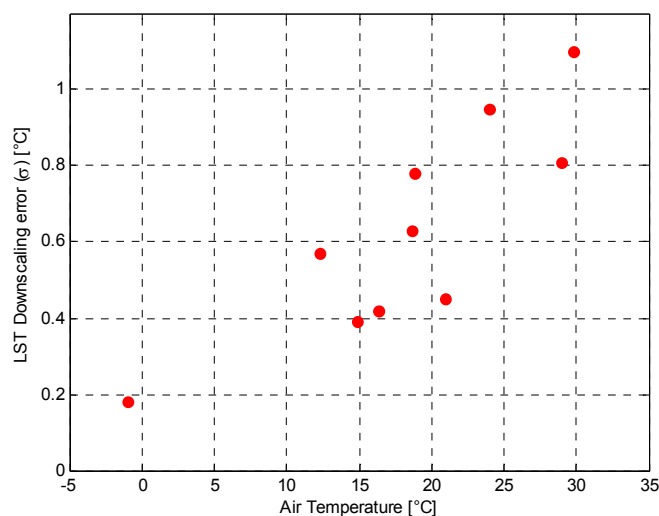
Figuur 93 : Controle van de downscaling : vergelijking tussen de originele LST waarden van ASTER en de geaggregeerde, gedownscalede LST waarden.

Het resultaat van deze analyse is afgebeeld in bovenstaande Figuur 93, waarbij we telkens per beeld een histogram hebben gemaakt van het verschil tussen de originele ASTER beelden en de geaggregeerde gedownscalede waarden. Alle histogrammen zijn op dezelfde horizontale as afgebeeld. De breedte geeft aan hoe trouw aan het originele beeld de gedownscalede versie is. Hoe smaller dergelijk histogram, hoe beter. Om deze breedte te kwantificeren hebben we een Gaussische (klok-) curve aan de histogrammen gefit. De σ parameter van deze Gaussische curve is een maat voor de breedte en is weergegeven onderaan in de tabel.

Tabel 13 : Globale fout geïntroduceerd als gevolg van de downscaling voor de 10 ASTER beelden. We geven voor de volledigheid in de tabel ook nog eens de luchttemperatuur en de mediaan oppervlakte temperatuur weer.

<i>Datum opname (Lokale tijd)</i>	<i>Mediaan LST</i>	<i>Lucht temperatuur</i>	<i>Breedte Histogram</i>
---------------------------------------	------------------------	------------------------------	------------------------------

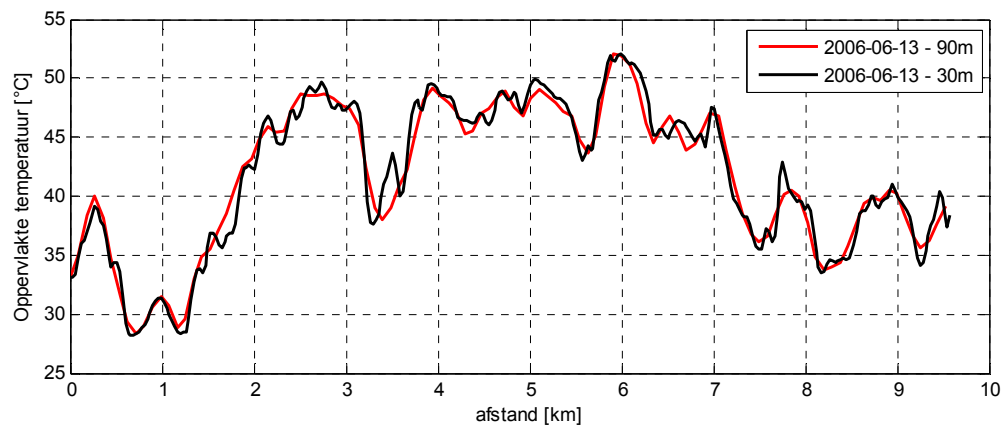
	[°C]	[°C]	σ [°C]
2002-04-08 12:58	20.2 °C	12.3 °C	0.57 °C
2002-09-24 12:52	18.5 °C	14.9 °C	0.39 °C
2003-01-12 13:04	0.5 °C	-1.0 °C	0.18 °C
2003-04-18 13:04	25.8 °C	18.8 °C	0.78 °C
2003-05-29 12:58	33.2 °C	24.0 °C	0.95 °C
2003-07-16 12:57	37.4 °C	29.0 °C	0.81 °C
2005-09-23 12:56	23.8 °C	20.9 °C	0.45 °C
2006-06-13 13:03	39.3 °C	29.8 °C	1.10 °C
2011-03-25 12:51	20.6 °C	16.3 °C	0.42 °C
2011-04-10 12:51	22.6 °C	18.6 °C	0.63 °C



Figuur 94 : Verband tussen de downscaling error en de luchttemperatuur op het moment van opname van het oppervlakte temperatuursbeeld.

We zien een duidelijk verband tussen de luchttemperatuur (of ook mediaan oppervlakte temperatuur van het beeld) en de fout t.g.v. de downscaling. Hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de fout en dus hoe minder nauwkeurig de techniek aan de hand van NDVI wordt. Op zich dienen we wel te stellen dat de additionele fout ten gevolge van deze downscaling relatief goed meevalt en gemiddeld gesproken voor de meeste beelden onder de 1 °C valt, wat waarschijnlijk beter is dan de nauwkeurigheid van de oppervlakte temperatuursbeelden zelf.

Tot slot kunnen we nu nog even de transecten vergelijken die we in 3.2.2 reeds bespraken. Onderstaande Figuur 95 geeft aan dat op zich de downscaling wel een zeker niveau van detail toevoegt, maar dat op zich de grootste variabiliteit toch nog uit de 90 m beelden volgt.



Figuur 95 : Vergelijking van de originele en gedownscalede LST waarden op 30 en 90 m voor transect 1 (zie § 3.2.2) en het ASTER beeld van 2006-06-13.

HOOFDSTUK 4. ANALYSE CANOPY LAYER URBAN HEAT ISLAND

Bino Maiheu - VITO

In dit hoofdstuk beschrijven we de analyse van het Canopy Layer Urban Heat Island (CLUHI), dit is het hitte-eiland verschijnsel voor wat betreft de luchttemperatuur. We zullen hier gebruik maken van modelberekeningen aangevuld met metingen. Uitgangspunt is een modelberekening op een grove resolutie van 250 m aan de hand van het URBCLIM model (De Ridder et al, 2013), waarna een downscaling wordt doorgevoerd naar het 90 m resolutie grid van de oppervlaktetemperatuursdata. In dit hoofdstuk zullen we beginnen met het beschrijven van de model berekeningen en de opzet van het luchttemperatuursmodel URBCLIM, waarna we de resultaten zullen bespreken voor Gent samen met een validatie van de modelberekeningen. In een finaal luik zullen we een verdere downscaling doorvoeren naar een hogere resolutie van 90 m.

4.1. MODELBEREKENINGEN AAN DE HAND VAN URBCLIM

4.1.1. WOORD VOORAF

Voor het in kaart brengen van het CLUHI is binnen dit project gekozen voor een deterministische modelmatige aanpak. Op het einde van hoofdstuk 2.2.4 is een luchttemperatuurskaart afgeleid op basis van de luchttemperatuur gemeten op een gereden transect in de avond van 18 augustus 2012 tussen 22:00 en 23:00 en een eenvoudige statistische regressie analyse. Hoewel dergelijke techniek er technisch wel in slaagt om een globaal beeld te schetsen van de luchttemperatuur in Gent, blijft deze kaart een momentopname, afhankelijk van de temperatuursmetingen van het transect. Het beeld dat zo gevormd wordt, is m.a.w. een statisch gegeven en draagt slechts beperkt bij tot het interpreteren van bijvoorbeeld de duidelijke dagcyclus van de UHI intensiteit die in de vaste metingen zichtbaar is, of het al dan niet voorkomen van het effect onder veranderende grootschalige meteorologische condities. Ook is het verder uitwerken van bijvoorbeeld toekomst scenario's via dergelijke methodiek niet altijd mogelijk. Een ander duidelijk voordeel van de aanpak die in dit hoofdstuk wordt besproken is de mogelijkheid tot het afleiden van secundaire parameters naast de luchttemperatuur die verband houden met de verhoogde luchttemperaturen in verstedelijkt gebied. Zoals bijvoorbeeld het gemiddeld CLUHI effect of een ruimtelijke expliciete percentielwaarde. Een mooi voorbeeld hiervan zijn de zgh. "*cooling degree hours*", of het totaal aantal graad-uren boven een bepaalde threshold³⁹ (typisch bvb 25 °C) en dat verband houdt met het gebruik van bvb. airconditioning. Deze afgeleide grootheid is bijvoorbeeld typisch veel directer gelinkt aan totale energieconsumptie dan de luchttemperatuur op zich, alleen zijn hiervoor wel degelijk *uurlijkse* luchttemperatuursvelden nodig om van te vertrekken.

In dit hoofdstuk zullen we dus een modellering bespreken die vertrekt vanaf fysische principes en die met andere woorden poogt de werkelijke processen die aan de basis liggen van het lucht-SHE

³⁹ Of omgekeerd "*heating degree-hours*", welke het totaal is beneden een bepaalde buitentemperatuur en waarvoor

zo goed mogelijk in rekening te brengen. Dergelijke aanpak heeft uiteraard z'n beperkingen waarvan we ons dienen bewust te zijn. Hier wordt in volgend stukje wat dieper op ingegaan.

4.1.2. BESCHRIJVING URBCLIM

→ Kadering van het modelconcept

De aanpak van het URBCLIM model is er één die een hoge⁴⁰ ruimtelijke resolutie probeert te combineren met een snelle maar toch accurate en omvattende berekening van de stedelijke luchttemperatuur. Op zich zijn reeds heel wat modellen en methoden beschikbaar die stedelijke luchttemperatuur kunnen berekenen. Elk model of manier van aanpakken voor het modelleren van stedelijke luchttemperatuur heeft echter zijn voor- en nadelen en die wensen we toch even kort op een rij te zetten om beter onze keuze voor het URBCLIM model te kunnen duiden.

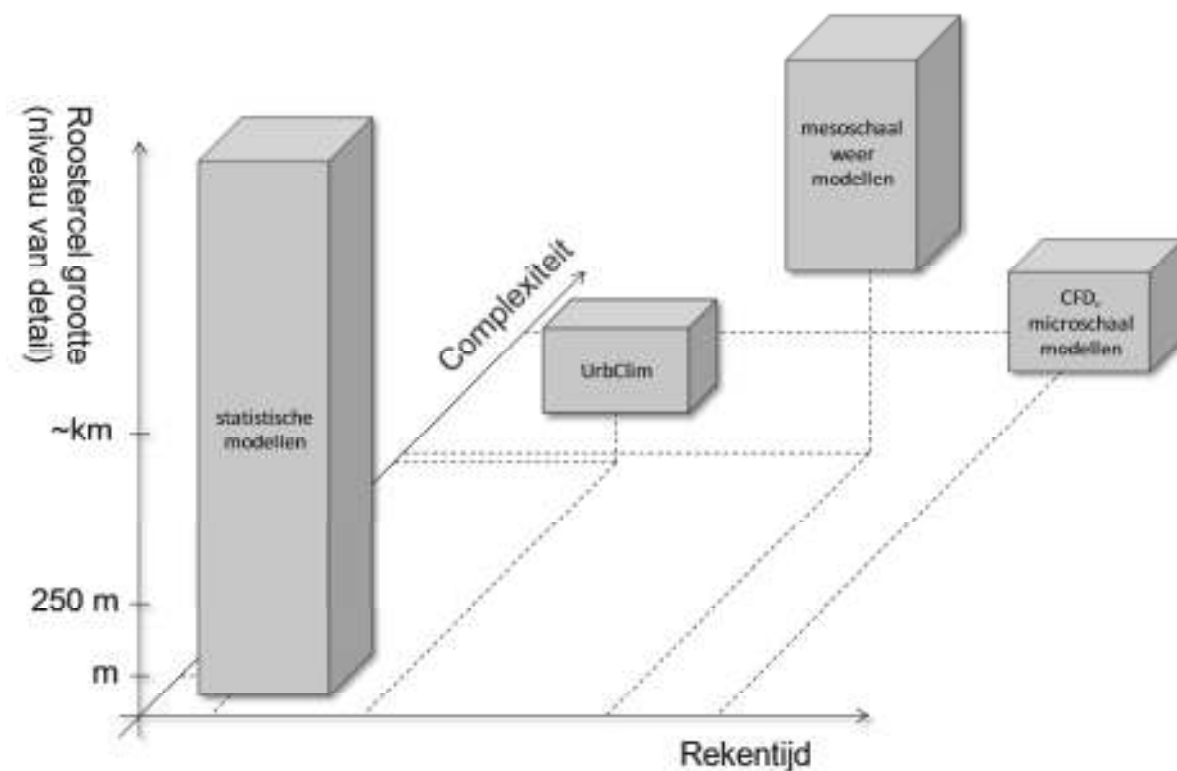
Allereerst dienen we een statistische aanpak te vermelden. In zo'n aanpak vertrekt men veelal van in-situ metingen of remote sensing beelden en gaat men aan de hand van een aantal GIS lagen een regressie model opstellen om zo tot een ruimtelijke expliciet beeld van de stedelijke luchttemperatuur te komen. Dergelijke aanpak, hoewel heel snel op vlak van rekentijd heeft zeker zijn beperkingen. Zo is het moeilijk om tot accurate luchttemperaturen te komen en veelal bekomt men slechts een statisch beeld (momentopname) van de luchttemperatuur, waardoor men weinig informatie kan afleiden over bijvoorbeeld de dagcyclus of de relatie van het UHI effect met grootschalige meteorologische condities. Wel is het mogelijk een breed interval van ruimtelijke resoluties af te dekken gezien die gegeven wordt door de ruimtelijke resolutie van de proxy-GIS lagen of de remote sensing beelden. Dit is hierboven reeds aangehaald.

Aan de andere kant van het spectrum vinden we microschaal modellen, veelal gebaseerd op een CFD (computational fluid dynamics) techniek. Het ENVI-met model (<http://www.envi-met.com>), ontwikkeld aan de universiteit van Mainz, is hier een goed voorbeeld van. Dergelijke modellen beschikken over een enorm niveau van detail en slagen erin om de luchtstromingen rond individuele gebouwen te berekenen. Microschaal modellen voor stedelijk klimaat houden ook typisch rekening met uitwisselingsprocessen aan gebouwen (eventueel rekening houdende met binnentemperatuur en wandisolatie), vegetatie en oppervlak door het expliciet te karakteriseren van hun kenmerken (albedo, emissiviteit, kruindichtheid etc...) op materiaal niveau. Hoewel dergelijke modellen een heel complex en gedetailleerd (met een ruimtelijke resolutie in de orde van een meter) beeld kunnen geven van het stedelijk klimaat is hun toepassing in die zin beperkt dat ze een enorme hoeveelheid van invoer data nodig hebben en extreem rekenintensief zijn. Het gevolg is dat men slechts een beperkte zone (wijk-niveau) kan doorrekenen en dat voor slechts een beperkt aantal randvoorwaarden (windrichting en snelheid, en algemene grootschalige meteorologische condities). Het is met de huidige computer-infrastructuur dus praktisch niet mogelijk om bijvoorbeeld het hitte-eiland effect voor ganse stad zoals Gent te gaan doorrekenen en dergelijke modellering wordt dan ook meestal gebruikt voor detail simulaties van het effect van mitigerende maatregelen, bvb. het veranderen van de coatings van gebouwen, het aanplanten van individuele vegetatie elementen etc... Vergelijking met observaties is voor dergelijke modellen ook veelal een probleem gezien het niveau van detail en de representativiteit van de metingen. Merk op dat (Ashie and Kono, 2011) er recent wel in slaagden om een CFD simulatie van stedelijk klimaat door te rekenen voor een zone van 33x33 km² in Tokyo, Japan op 5 m resolutie. Daarvoor maakten

⁴⁰ Relatief gezien t.o.v. mesoschaal meteomodellen die typisch niet gedetailleerder dan 1 km kunnen rekenen wegens te rekenintensief.

ze echter wel gebruik van een van de meest krachtige supercomputers ter wereld, de Earth Simulator⁴¹.

Een derde mogelijkheid is het gebruik van typische mesoschaal meteomodellen zoals WRF⁴² (Skamarock et al., 2008), ALADIN⁴³, of COSMO-CLM⁴⁴ enzovoort. Dergelijke modellen zijn relatief gedetailleerd in hun beschrijving van grootschalige meteorologische processen. Het grote verschil met CFD modellen is echter dat men in de parametrisaties van het oppervlak geen gebouwen of 3D structuren expliciet gaat modelleren. Men gaat eerder aan de hand van parametrisaties bepaalde eigenschappen toekennen aan een verstedelijkt oppervlak en bestudeert m.a.w. eerder het geaggregeerde effect van een “stuk” stad op de atmosfeer (en omgekeerd). Het is verder ook zo dat dergelijke modellen ook relatief veeleisend zijn voor de rekeninfrastructuur, niet in dezelfde mate als CFD modellen, maar wel in die mate dat een ruimtelijke resolutie van 1 km voor dergelijke modellen ongeveer de hoogst haalbare is, wat ze op hun beurt dan ook weer niet zo heel geschikt maakt voor het berekenen van de stedelijke luchttemperatuur voor een stad als Gent. Onderstaande Figuur 96 probeert deze verschillende aanpakken uit te zetten in een 3D grafiek en het URBCLIM model daartussen te positioneren inzake rekentijd, complexiteit en niveau van detail.



Figuur 96 : Schematische voorstelling en trade off inzake complexiteit, rekentijd en roostercel grootte van stedelijke klimaatsmodellen.

Uit Figuur 96 blijkt het URBCLIM model tussen bovenstaande kwaliteiten een compromis te vinden, en het model is effectief ook met dit idee in het achterhoofd geconcipteerd. Met het URBCLIM model is geprobeerd een compromis te vinden tussen rekentijd, ruimtelijk detail en complexiteit

⁴¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Earth_Simulator, <http://www.jamstec.go.jp/es/en/system/index.html>

⁴² <http://www.wrf-model.org/>

⁴³ <http://www.cnrm.meteo.fr/aladin/>

⁴⁴ <http://www.clm-community.eu/>

van de beschrijving van de fysische processen die verantwoordelijk zijn voor de afwijkende stedelijk luchttemperaturen in vergelijking met het omringende rurale gebied. Het model heeft een ruimtelijke resolutie van 250 m en is in staat de stedelijke luchttemperatuur te berekenen voor een volledige zomerperiode van 5 maanden in ongeveer een dag rekentijd op een huidige CPU. Op die manier komen uurlijkse luchttemperatuursvelden beschikbaar en kan dus de dynamica van het UHI bestudeerd worden, maar kunnen ook bepaalde statistieken berekend worden zoals gemiddelden en extremale temperatuurswaarden. De rekentijd is minstens een ordegrrootte sneller dan typische hogere resolutie (1 km) klimaatmodellen. Tezelfdertijd is het ook mogelijk door de resolutie van 250 m in zeker detail het binnenstedelijk UHI effect te bestuderen.

→ Modelbeschrijving

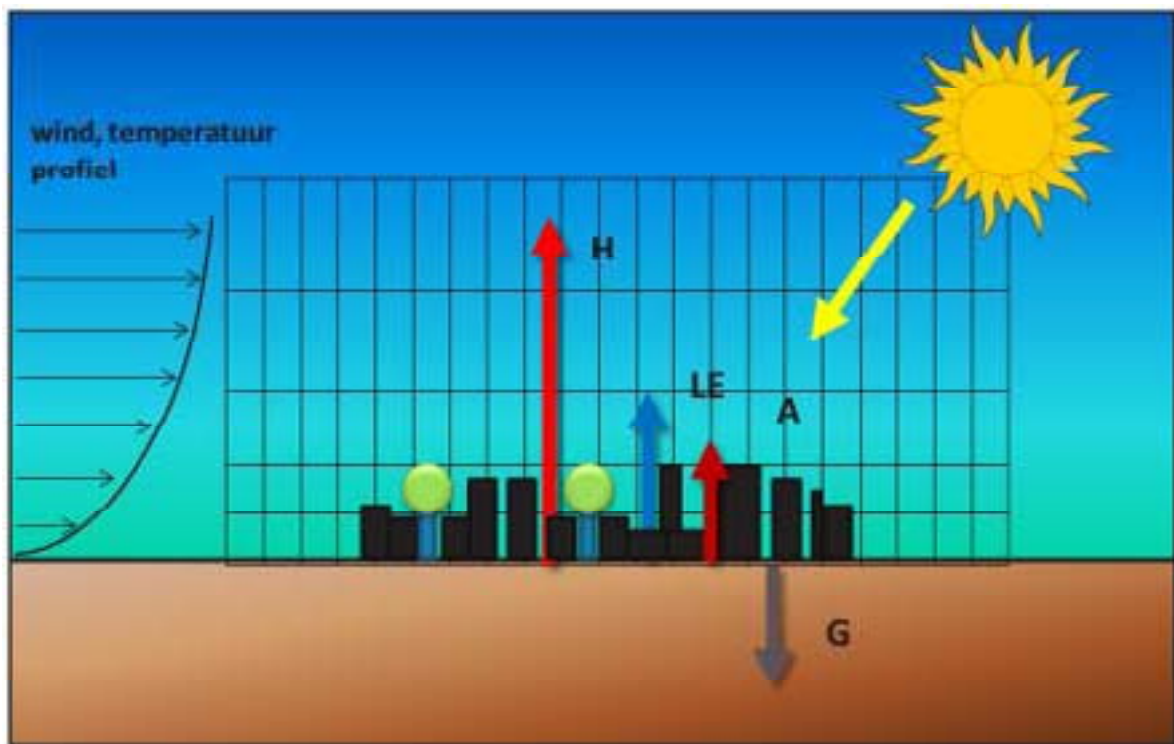
Het URBCLIM model bestaat allereerst uit een “bodem module”, genaamd LAICa (Land Atmosphere Interaction Calculation), origineel ontwikkeld door (Koen De Ridder and Schayes, 1997), die in recente jaren een uitbreiding kende om verstedelijkte oppervlakken in rekening te brengen (Koen De Ridder, 2006; Demuzere et al., 2008; Sarkar and Koen De Ridder, 2010). Deze module berekent de warmtefluxen aan het oppervlak, met andere woorden hoeveel warmte door het stedelijk weefsel aan de atmosfeer wordt afgegeven, maar ook hoeveel warmte die in het stedelijk weefsel wordt opgeslagen. We onderscheiden hier in de energiebalans aan het oppervlak :

- *Sensible heat flux (H)*, of voelbare warmte. Door de zon zal het oppervlak (en gebouwen wanden) opwarmen. Door de extra kinetische energie die de moleculen in het oppervlak hebben zal de luchtlaag erboven door botsingen met de moleculen uit het oppervlak eveneens opwarmen. Er ontstaat vervolgens door turbulente menging een netto warmte transport van het warme oppervlak naar de atmosfeer, waardoor de luchttemperatuur toeneemt. Deze voelbare warmte flux kan makkelijk geobserveerd worden in de turbulente wervels die zichtbaar zijn bvb. boven heet asfalt. Het is juist deze voelbare warmte flux die in stedelijke omgeving hoger is dan in rurale omgeving zodat deze significant zal bijdragen tot het ontstaan van het UHI.
- *Latent heat flux (LE)*. Wanneer de bodem (en vegetatie) een bepaald vochtgehalte heeft zal een deel van van de beschikbare energie uit de stralingsbalans op het oppervlak niet gebruikt worden voor het effectief verhogen van de temperatuur, maar voor een faseovergang die vloeibaar water omzet in gasvormig water. Gezien dit niet gepaard gaat met een verhoging van de temperatuur, maar wel energie vergt spreekt men van een latente warmteflux. Deze warmte flux draagt dus niet bij tot de opwarming van de atmosfeer en is voornamelijk aanwezig wanneer er veel water in de bodem wordt vastgehouden (of typisch na een regenbui).
- *Antropogenic heat flux (A)*, naast voelbare en latente warmte zal de mens door z’n activiteit ook warmte afgeven aan de omgeving. Naast het dierlijk metabolisme kunnen bijvoorbeeld de uitstoot van hete uitlaatgassen en warme lucht afkomstig van airco installaties significant bijdragen tot de totale energiebalans. In het URBCLIM model wordt deze antropogene warmte flux geparametriseerd aan de hand van een CO₂ profiel gemeten in Marseille (Demuzere et al., 2008). Hier werd op basis van CO₂ fluxmetingen een inschatting gedaan van de antropogene warmte. Het profiel werd herschaald voor Gent op basis van de Defense Meteorological Satellite Program – Operational Line Scanner (Elvidge et al, 1999) night lights dataset⁴⁵. Die brengt de intensiteit van de artificiële verlichting ’s nachts in kaart, wat als proxy kan genomen worden voor de graad van menselijke activiteit in een bepaald gebied.

⁴⁵ <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html>

- *Storage heat flux (G)*. Om de energie balans aan het oppervlak te sluiten dienen we ook rekening te houden met het feit dat een deel van de beschikbare energie in de bodem en de gebouwen zal doordringen en daar de temperatuur verhogen. Ook deze component is significant groter in stedelijke omgeving : er wordt meer energie gestockeerd in het stedelijk weefsel (muren, grond) waardoor die 's nachts er ook langer over doet om terug te worden afgegeven aan de atmosfeer.

Deze componenten worden stuk voor stuk voorgesteld in onderstaande schets (Figuur 97).

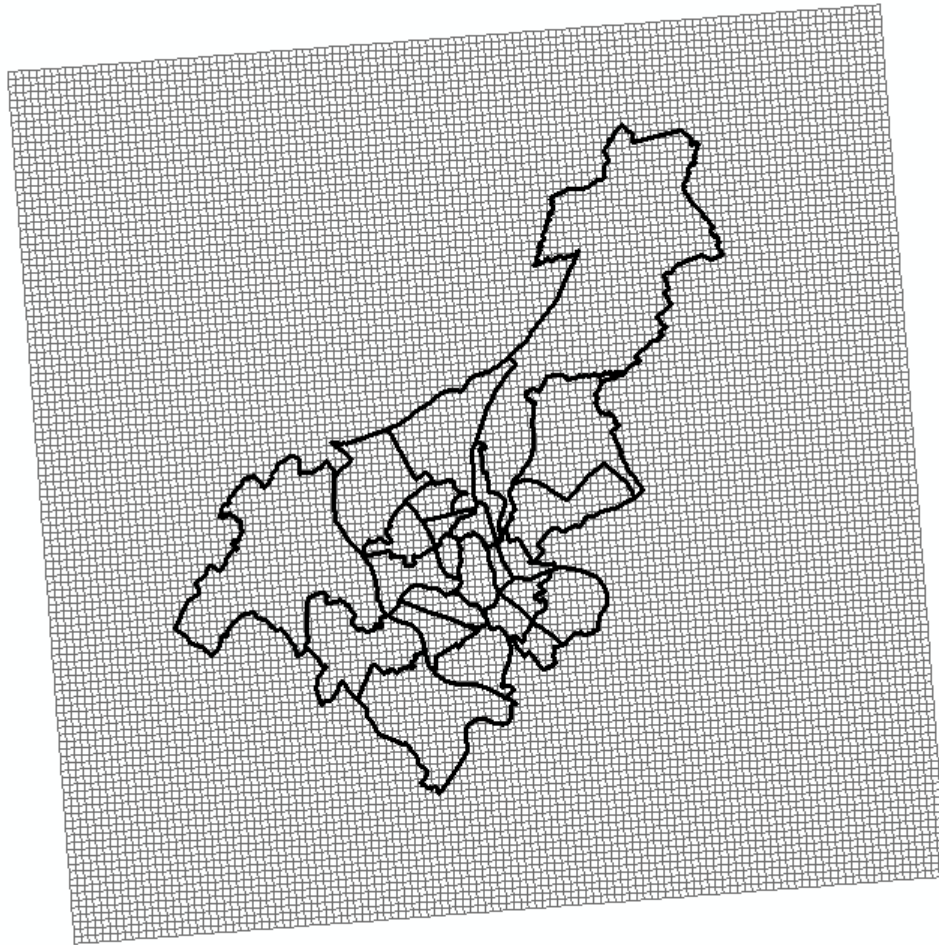


Figuur 97 : Schets van de deterministische modellering van stedelijke luchttemperatuur aan de hand van URBCLIM. We zien de sensible heat flux (H), de latente warmteflux (LE), de antropogene (A) en de zgh. storage heat flux (G).

Zoals in hogerstaande Figuur 97 is afgebeeld, wordt de stedelijke atmosfeer opgedeeld in een aantal roosterzellen, waarvoor telkens de temperatuur en vochtigheid berekend wordt. Voor Gent hebben we 121 x 121 roosterzellen van 250 m in beide horizontale richtingen. Voor de verticale richting hebben we 20 telescopische roosterzellen gaande van 10 m tot 3 km. Het horizontale grid is hieronder in Figuur 98 afgebeeld. Het atmosferische modelgedeelte zal dus in de onderste laag de voelbare warmte opnemen. Aan de rand van het model domein worden de grootschalige meteorologische condities opgelegd. Dit zijn concreet verticale profielen van windsnelheid en temperatuur. Deze grofmazige randvoorwaarden zijn afkomstig van het globale ECMWF model (www.ecmwf.int) van het Europees weersvoorspellingscentrum te Reading, UK.

Gezien het onderste niveau van het URBCLIM model reeds op 10 m hoogte ligt, is een correctie naar de 2-m temperatuur in de streetcanyons nodig. De verticale extrapolatie van 10 m naar street canyon luchttemperaturen gebeurde op basis van profiel functies die rekening houden met de atmosferische stabiliteit. Het correctie schema gaat ervan uit dat de atmosfeer in de urban canopy

layer relatief goed en homogeen gemengd is. Deze aanname is op zich niet oninteressant om even te vermelden en wordt door verschillende studies onderbouwd. (Nakamura and T Oke, 1988) observeerden slechts heel kleine luchttemperatuurgradiënten in de canopy layer zolang de meetlocatie niet té dicht bij het oppervlak was. In street canyon metingen in Basel, Zwitserland werd aangetoond dat de luchttemperatuur aan de top van de canyon redelijk representatief is voor de waarden in de street canyon (Rotach et al., 2005). En uit meer gedetailleerde CFD model berekeningen in een geïdealiseerde street canyon vonden (Solazzo and Britter, 2007) dat de luchttemperatuur nagenoeg uniform was, behalve een dunne laag direct aan de gebouwenwand.



Figuur 98 : Afbeelding van het model grid gebruikt voor de modellering in Gent. Het grid telt 121x 121 roostercellen van 250m. Het model bevat voorts ook 20 verticale niveaus gaande van 10 m tot 3 km hoogte. Omwille van het feit dat het URBCLIM model generiek is geconcipieerd en bedoeld is om te werken met generieke, vrij beschikbare datasets zoals CORINE, werkt het model in de INSPIRE projectie (EPSG3035) en dient het model grid bijgevolg te worden geherprojecteerd naar Belgische Lambert 72 coördinaten. Vandaar de wat vreemde oriëntatie van de gridcellen t.o.v. de contouren van de Gentse wijken.

→ Databronnen

De bodem-module heeft uiteraard een aantal databronnen nodig, die lijsten we hieronder even op:

Landgebruiksinformatie

Allereerst heeft de bodem module informatie nodig over het landgebruik. LAICa werkt met een aantal vaste landgebruiksklassen:

- Urban : de echte stadskern (vgl. continuous urban uit CORINE)
- Sub-urban : eerder discontinue bebouwing, voorstedelijk gebied (vgl. discontinuous urban uit CORINE)
- Industrial zones
- Snow/Ice
- Water
- Bare Soil
- Grass
- Crop
- Shrub
- Woodland
- Broadleaf
- Needleleaf

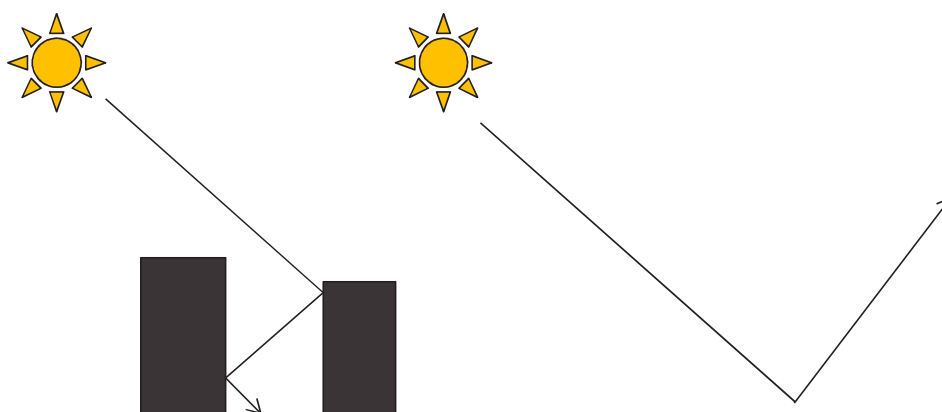
Aan elk van deze klassen worden eigenschappen toegekend die gebruikt worden in het opstellen van de stralingsbalans : dit zijn albedo (fractie gereflecteerde zonnestraling), de emissiviteit (verhouding van de intensiteit van uitgestraalde langgolvlige straling t.o.v. een ideale zwarte straler) en de ruwheidslengte.

Tabel 14 : Tabel met gebruikte waarden in de URBCLIM modellering voor albedo, emissiviteit en ruwheidslengte (voor momentum). Voor albedo en emissiviteit wordt telkens een waarde opgegeven voor vegetatie en voor afwezigheid van vegetatie. Deze waarden zijn representatief voor gridcellen van de desbetreffende LAICa klasse in de veronderstelling dat die volledig door vegetatie bedekt is, of anderzijds er geen vegetatie aanwezig is. De in het model gebruikte waarde zal dan het aan de hand van de voorkomende fractie vegetatie gewogen gemiddelde tussen beide zijn.

LAICa klasse	Albedo		Emissiviteit		Ruwheids- lengte
	Vegetatie	Geen vegetatie	Vegetatie	Geen Vegetatie	z _{0,m} [m]
Urban	0.15	0.12	0.98	0.95	1.5
Sub-urban	0.15	0.15	0.98	0.95	0.5
Industrial	0.15	0.15	0.98	0.95	0.3
Snow/Ice	0.00	0.70	0.00	0.98	0.001
Water	0.00	0.05	0.00	0.99	0.0001
Bare soil	0.20	0.15	0.98	0.98	0.01
Grass	0.20	0.15	0.98	0.98	0.05
Crop	0.20	0.15	0.98	0.98	0.1

Shrub	0.15	0.15	0.98	0.98	0.1
Woodland	0.15	0.15	0.98	0.98	0.5
Broadleaf	0.15	0.15	0.98	0.98	1.2
Needleleaf	0.12	0.15	0.98	0.98	1.2

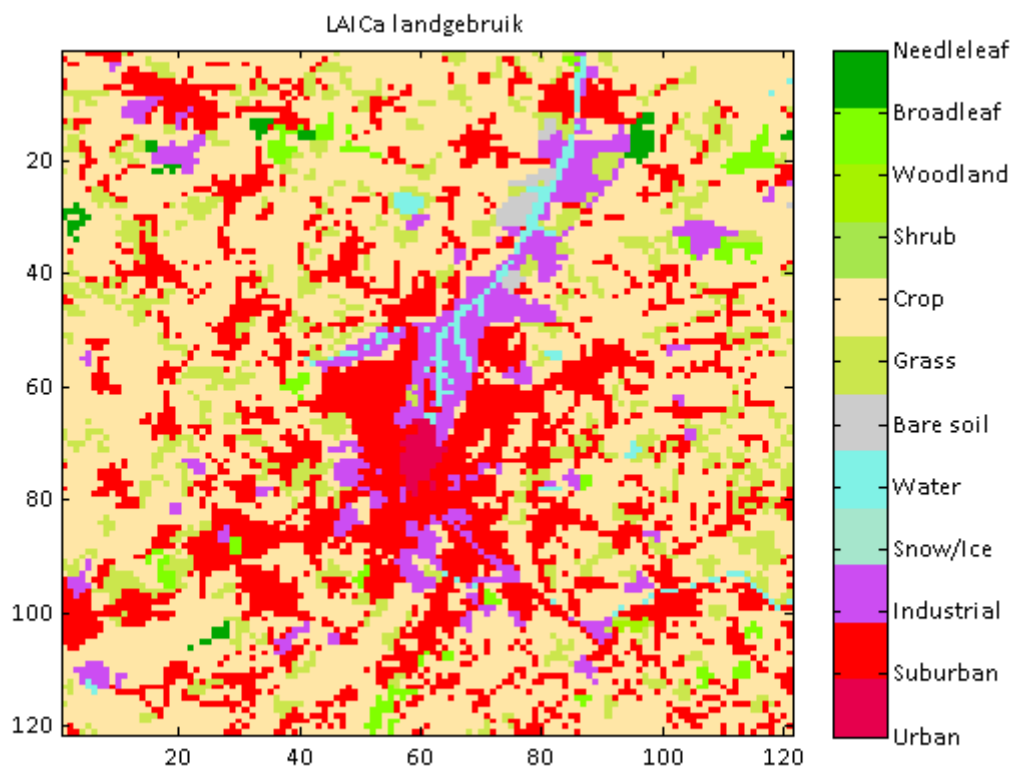
Het is belangrijk op te merken dat we hier een duidelijk onderscheid maken tussen de karakteristieken voor de vegetatie in de klassen en voor de niet-gevegeteerde oppervlakken. De toegewezen albedo wordt per gridcel op basis van de fractie vegetatie in de rooster cel herberekend. Op deze manier kan rekening gehouden worden met de veranderende vegetatie fractie in de loop van een zomerseizoen en de impact hiervan op bijvoorbeeld de albedo van het oppervlak. De fractie vegetatie wordt door satelliet data bepaald zoals hieronder is aangegeven. Ook is het belangrijk op te merken dat dit geaggregeerde grootheden zijn. De albedo waarden zijn karakteristieke waarden voor algemeen stedelijk gebied. Gezien we in de URBCLIM modellering geen expliciete gebouwen of materialen specificeren, dienen we de albedo als eigenschap van het stedelijk oppervlak op 250 m resolutie toe te kennen. Derhalve dienen we dus effectieve waarden op te geven die dus ook rekening houden met geometrische effecten. Het is namelijk zo dat de smalle straten en streetcanyons in stedelijke omgeving ervoor zorgen dat er minder kortegolf straling gereflecteerd wordt dan men puur op basis van de gebruikte materialen (bvb beton) zou verwachten. De *effectieve* albedo van een stad is bijgevolg lager, onderstaande Figuur 99 probeert dit iets grafischer uit te drukken.



Figuur 99 : Schematische voorstelling van de verlaagde effectieve albedo in stedelijke omgeving.

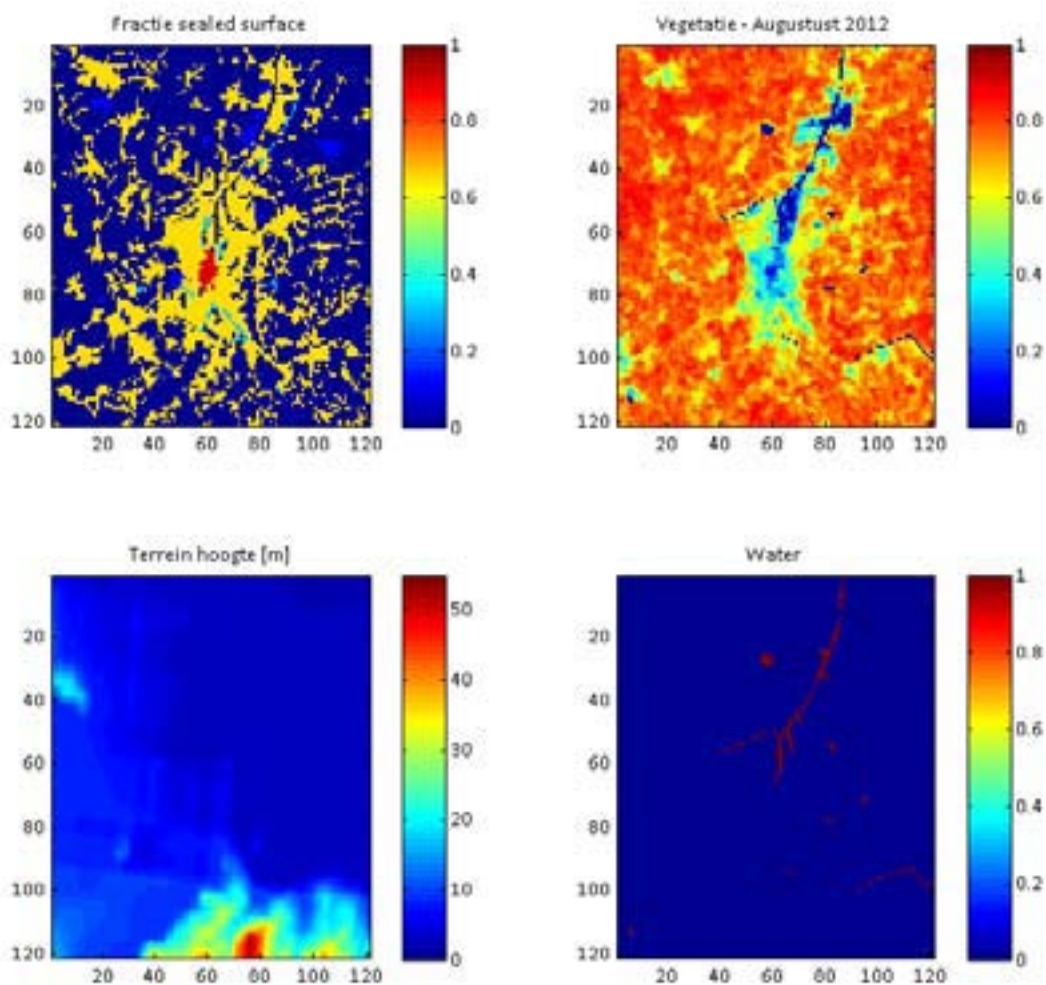
De ruwheidslengte is tenslotte een maat voor hoe “ruw” het oppervlak is. Deze wordt in de modellering gebruikt om het afremmen van het windveld boven de stad te simuleren.

Standaard worden in het URBCLIM model de landgebruiks klassen gedefinieerd op basis van de EEA CORINE dataset, die geaggregeerd worden naar bovenstaande klassen. Hieronder geven we de LAICa landgebruikskaart weer die we gebruikten voor de modellering voor Gent.



Figuur 100 : Afbeelding van de LAI Ca landgebruiksklassen in de urbclim modellering voor Gent.

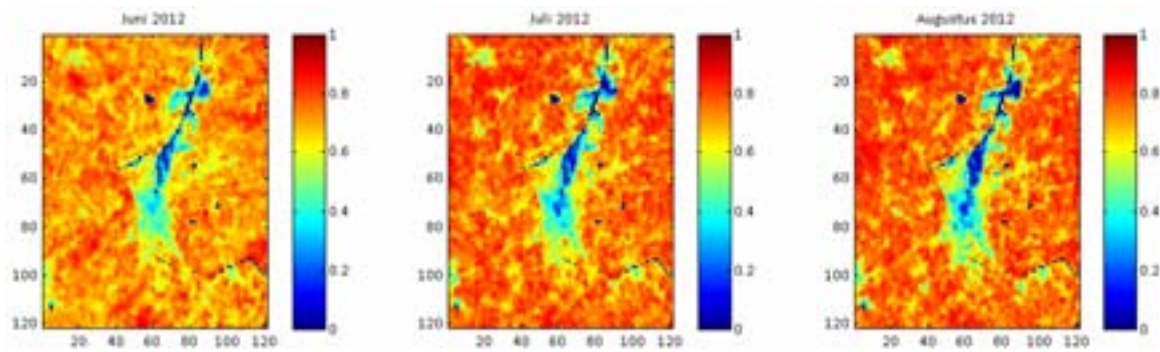
Naast deze landgebruiksklassen die dus gebruikt worden voor het afleiden van de albedo, emissiviteit en ruwheid wordt in de modellering verder ook nog gebruik gemaakt van de fractie sealed surface, gebaseerd op de karakteristieke waarden die in de CORINE (EEA) dataset gegeven worden. De terrein hoogte voor Gent is geïnterpoleerd uit de GTOPO30 dataset (<http://www1.gsi.go.jp/geowww/globalmap-gsi/gtopo30/gtopo30.html>). Ook de vegetatie fractie is afgebeeld in onderstaande Figuur 101. Deze is afgeleid op basis van MODIS NDVI beelden die beschikbaar zijn op 250 m resolutie (<http://glcf.umd.edu/data/ndvi/>).



Figuur 101 : Karakterisatie van het oppervlak voor de URBCLIM modellering. Links bovenaan is de fractie verstedelijkt gebied (EEA-CORINE) afgebeeld, rechtsbovenaan de fractie vegetatie cover afgeleid van MODIS satelliet data. Linksonder de terrehoogte (GTOPO30) en rechts de aanwezigheid van oppervlakte water in de rooster cel.

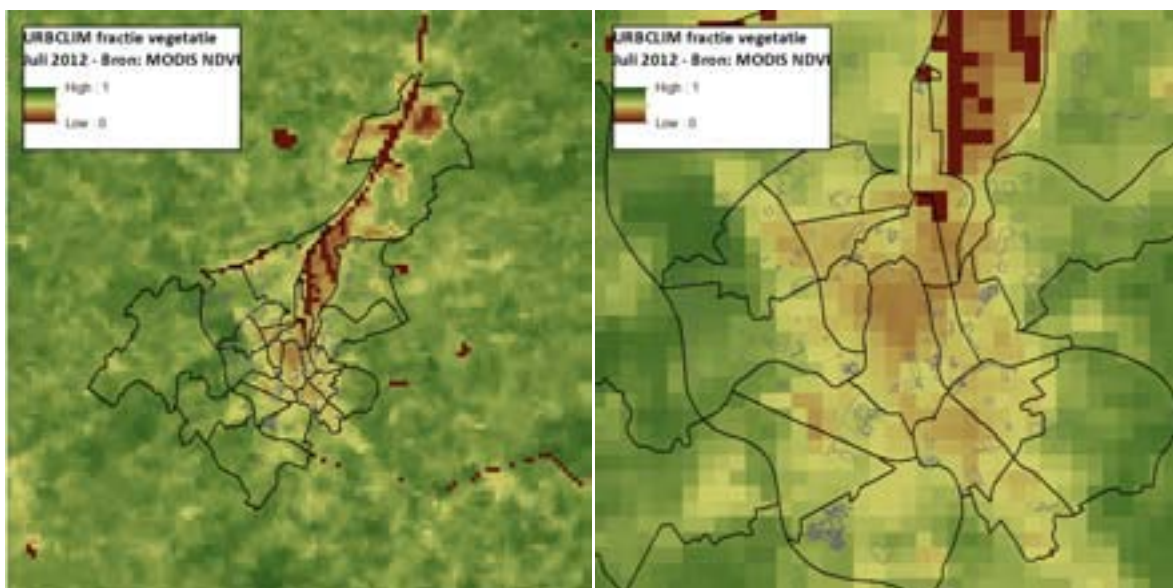
Vegetatie index

Zoals reeds gemeld is een belangrijke parameter in de URBCLIM modellering de fractie vegetatie. Deze wordt afgeleid op basis van onafhankelijke satelliet gegevens afkomstig van het MODIS instrument (<http://glcf.umd.edu/data/ndvi/>). Een vegetatie fractie van 1 houdt in dat een gridcel volledig door vegetatie bedekt is, 0 houdt in dat er geen vegetatie of groen aanwezig is in die gridcel. Gezien de fractie vegetatie in de loop van een seizoen significant kan veranderen is het niet onbelangrijk deze parameter dynamisch in het model mee te nemen. In URBCLIM gebeurt dit op maandelijkse basis en in onderstaande Figuur 102 zijn de satelliet gegevens voor de vegetatie fractie voor Juni, Juli en Augustus 2012 opgenomen.



Figuur 102 : Fractie vegetatie voor Gent op basis van de 250 m resolutie MODIS NDVI data.

We zien duidelijk de verlaagde vegetatie fractie in het centrum en de havenzone. Ook zien we een duidelijke toename van de vegetatie-index in Juli/Augustus t.o.v. de maand Juni in het rurale gebied rond Gent. In onderstaande figuur is de vegetatie fractie afgeleid van satelliet gegevens in iets meer detail weergegeven voor de maand juli 2012.



Figuur 103 : Vegetatie fractie op basis van satelliet

We zien bijvoorbeeld duidelijk (zoals aangegeven met de grijze contouren) de lokatie van enkele meer groene zones (Citadelpark) in Gent, net zoals de meer verstedelijkte en bebouwde gebieden zoals het centrum en Ledeberg.

Grootschalige meteorologische informatie

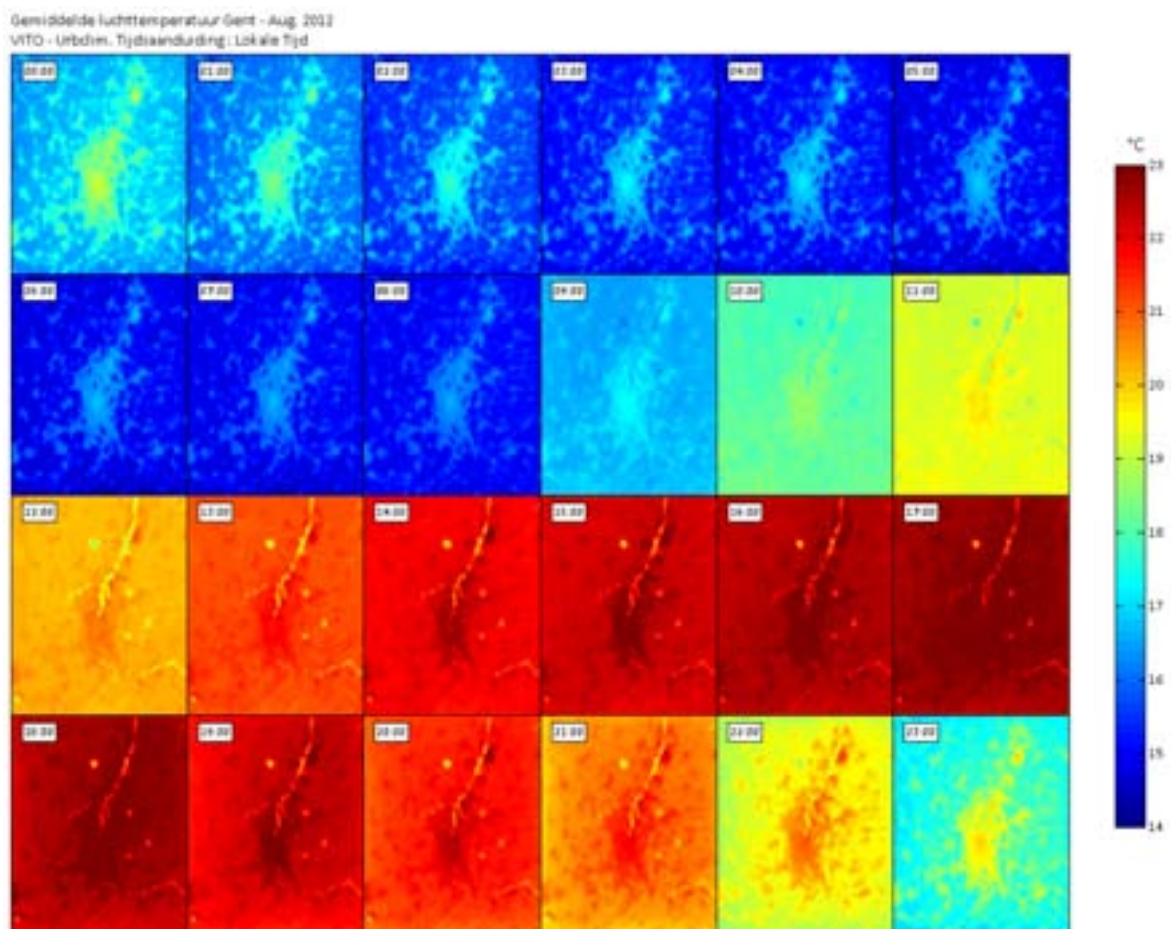
Zoals reeds vermeld worden aan de instroomrand van het model domein (cfr. Figuur 97) profielen van windsnelheid en temperatuur uit het ECMWF model (www.ecmwf.int) opgelegd om de grootschalige meteorologische condities in het model in te brengen. Op die manier wordt in de modellering voor Gent rekening gehouden met de veranderende windsnelheid en windrichting, maar ook grootschalige temperatuursvariaties en passage van bvb. koude of warmte fronten

gedurende de periode van de simulatie. Het is belangrijk hier te vermelden dat het URBCLIM model omwille van de vereenvoudigingen die zijn gehanteerd, niet in staat is om het effect van een stad op de lokale circulatie mee te nemen (bvb. urban-breeze). De redenen hiervoor zijn nogal technisch van aard. Uiteraard is het wel zo dat processen zoals het transport van warme lucht windafwaarts van de stad en de mengingen van warme lucht met de hogere luchtlagen wel in rekening gebracht worden in de modellering.

Het is tot slot belangrijk om op te merken dat het URBCLIM model generiek is en werkt met vrij beschikbare databronnen. Hierdoor is het makkelijk inzetbaar voor verschillende steden. Een volledige, gedetailleerde beschrijving van het URBCLIM model is beschikbaar in De Ridder et al, (2013).

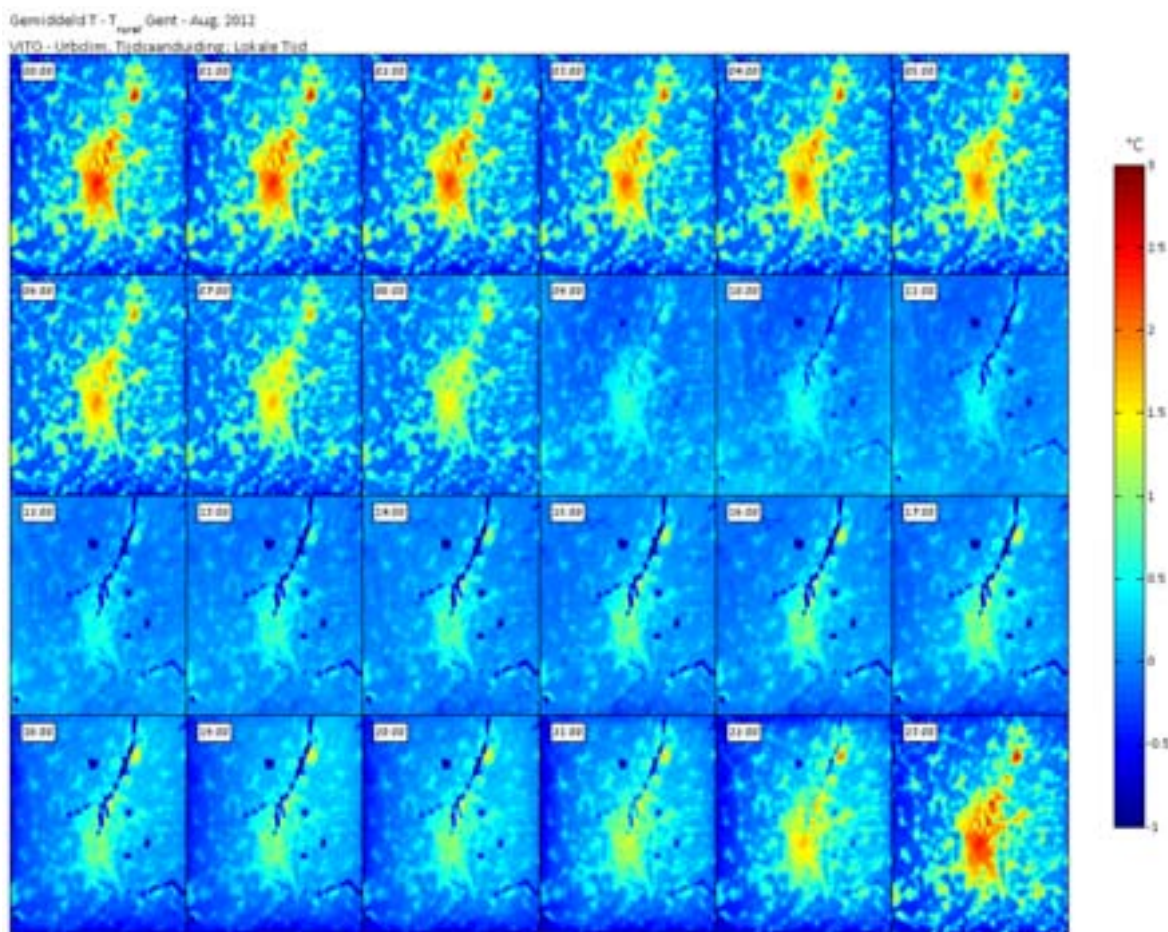
4.1.3. RESULTATEN VAN DE LUCHTTEMPERATUURSMODELLERING

In deze sectie beschrijven we de resultaten van de modellering voor Gent. We beperken ons eerst tot de grofmazige resultaten op het 250 m grid dat we hoger beschreven en zullen verder in § 4.3 de verfijning van de ruimtelijke resolutie behandelen. Als eerste resultaat beelden we in onderstaande Figuur 104 de gemiddelde luchttemperatuur per uur van de dag voor de maand augustus af in Gent. Dit wil zeggen dat we (analoog zoals voor Figuur 22) per uur de luchttemperatuur uitmiddelen over alle dagen van de maand, maar wel telkens op het beschouwde uur.



Figuur 104 : Gemiddelde luchttemperatuur per uur van de dag over gans de maand Augustus in Gent.

We zien eerst en vooral duidelijk de dagcyclus met een gemiddelde nachtelijke temperatuur rond de 15 °C en een gemiddelde dagtemperatuur rond de 23 °C in Augustus 2012. We zien ook relatief duidelijk het feit dat, vooral 's nachts het centrum van de stad iets warmer is, een effect dat bijvoorbeeld in de gemiddelde temperatuur rond 09:00h verdwijnt en de stad niet langer duidelijk afgetekend is t.o.v. de rurale omgeving inzake luchttemperatuur. Dit wordt nog duidelijker geïllustreerd wanneer we de effectieve CLUHI intensiteit gaan weergeven hieronder in Figuur 105.



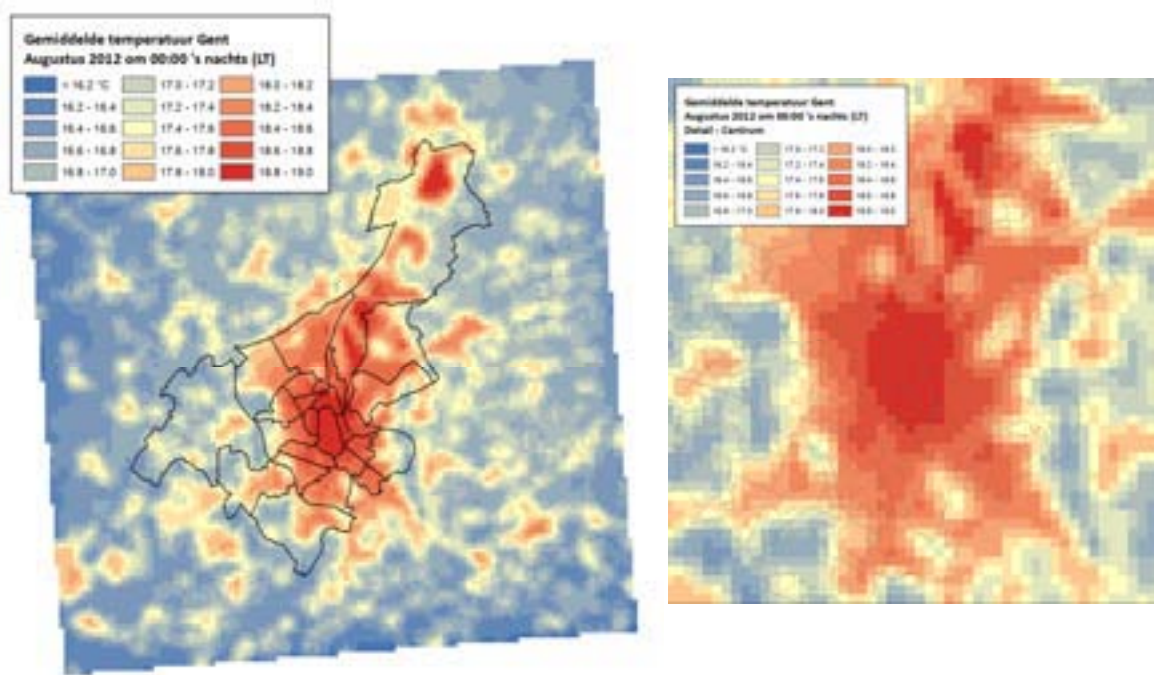
Figuur 105 : Gemiddeld CLUHI als temperatuursverschil tussen de stad en het platteland. De rurale temperatuur werd gedefinieerd als de mediaan van alle rurale pixels (% stedelijk landgebruik = 0). De tijdsaanduiding is in lokale tijd. Per uur wordt het gemiddelde over gans de maand Augustus weergegeven.

In deze figuur hebben we dezelfde uitmiddeling gedaan als erboven, maar we hebben wel telkens de rurale referentie temperatuur afgetrokken en dus enkel weergegeven hoeveel warmer de lucht is in de stedelijke omgeving t.o.v. de rurale omgeving. Daar waar we in HOOFDSTUK 2 als rurale referentie temperatuur de metingen van het KMI station te Melle namen, zullen we hier de mediaan temperatuur nemen van alle puur rurale roostercellen in het model. De rurale

roosterzellen definiëren we als alle cellen waarvoor de fractie verstedelijking gelijk is aan 0 (zie Figuur 101 linksboven).

We merken dus duidelijk dat ook uit de modellering volgt dat het UHI effect het meest uitgesproken is rond middernacht met een intensiteit in het centrum van Gent van gemiddeld zo'n 2.5 °C, misschien net iets kleiner, maar toch heel vergelijkbaar met wat gemeten is aan de Vrijdagmarkt (zie Figuur 22 en Tabel 5). Overdag zien we terug een zeer klein tot verwaarloosbaar effect dat gradueel, maar licht toeneemt naar mate de namiddag vordert en rond 21:00h lokale tijd terug naar z'n volledige intensiteit opbouwt.

Op onderstaande Figuur 106 is de kaart met de gemiddelde intensiteit om middernacht, wanneer het CLUHI effect het meest uitgesproken is nogmaals afgebeeld.



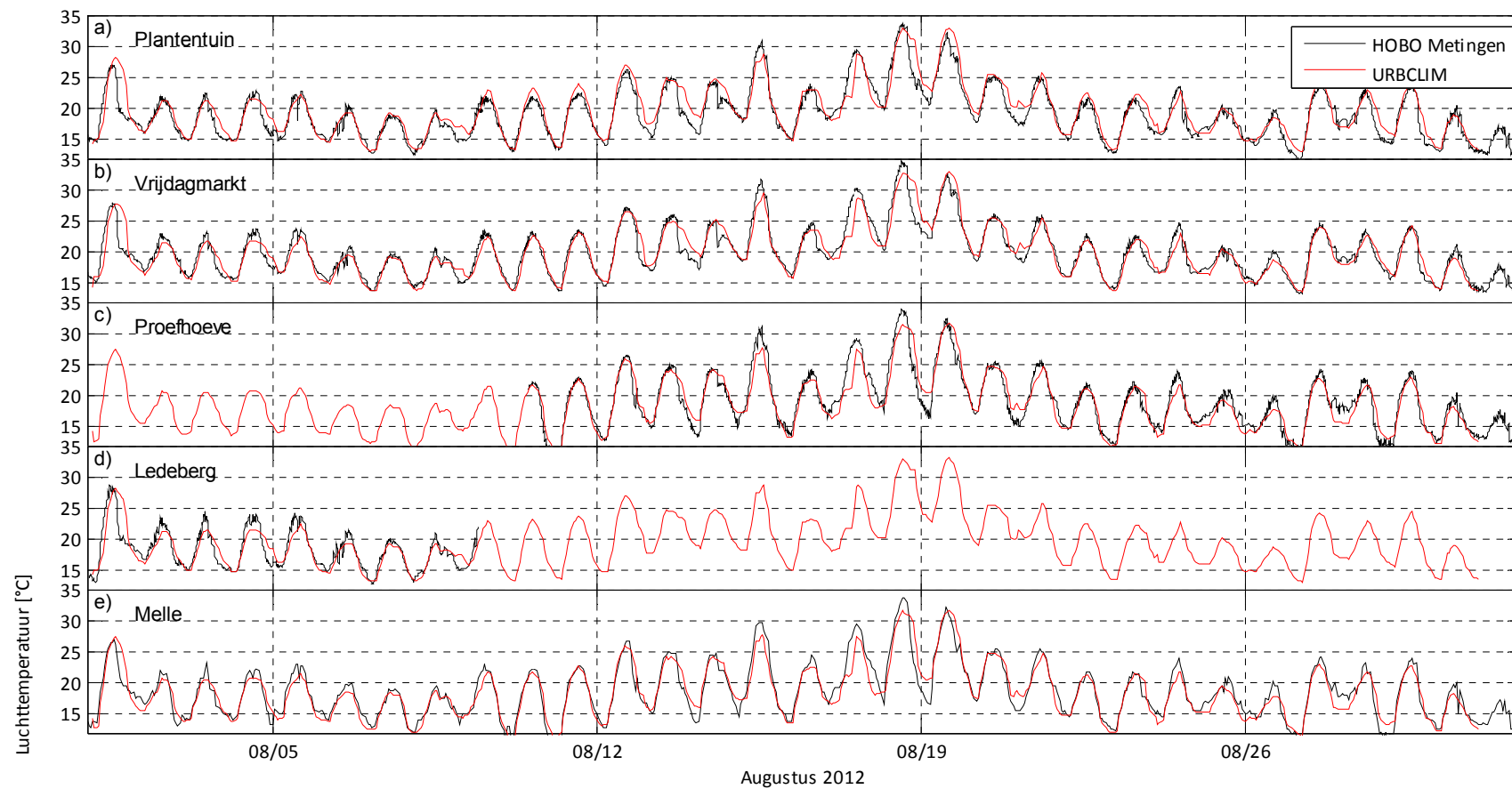
Figuur 106 : Uitvergroting van de gemiddelde CLUHI intensiteit voor Gent (en een detail van het Centrum rechts) voor de maand augustus 2012 om 00:00h lokale tijd op basis van de URBCLIM modellering op 250 m.

4.2. VALIDATIE VAN DE MODELBEREKENINGEN

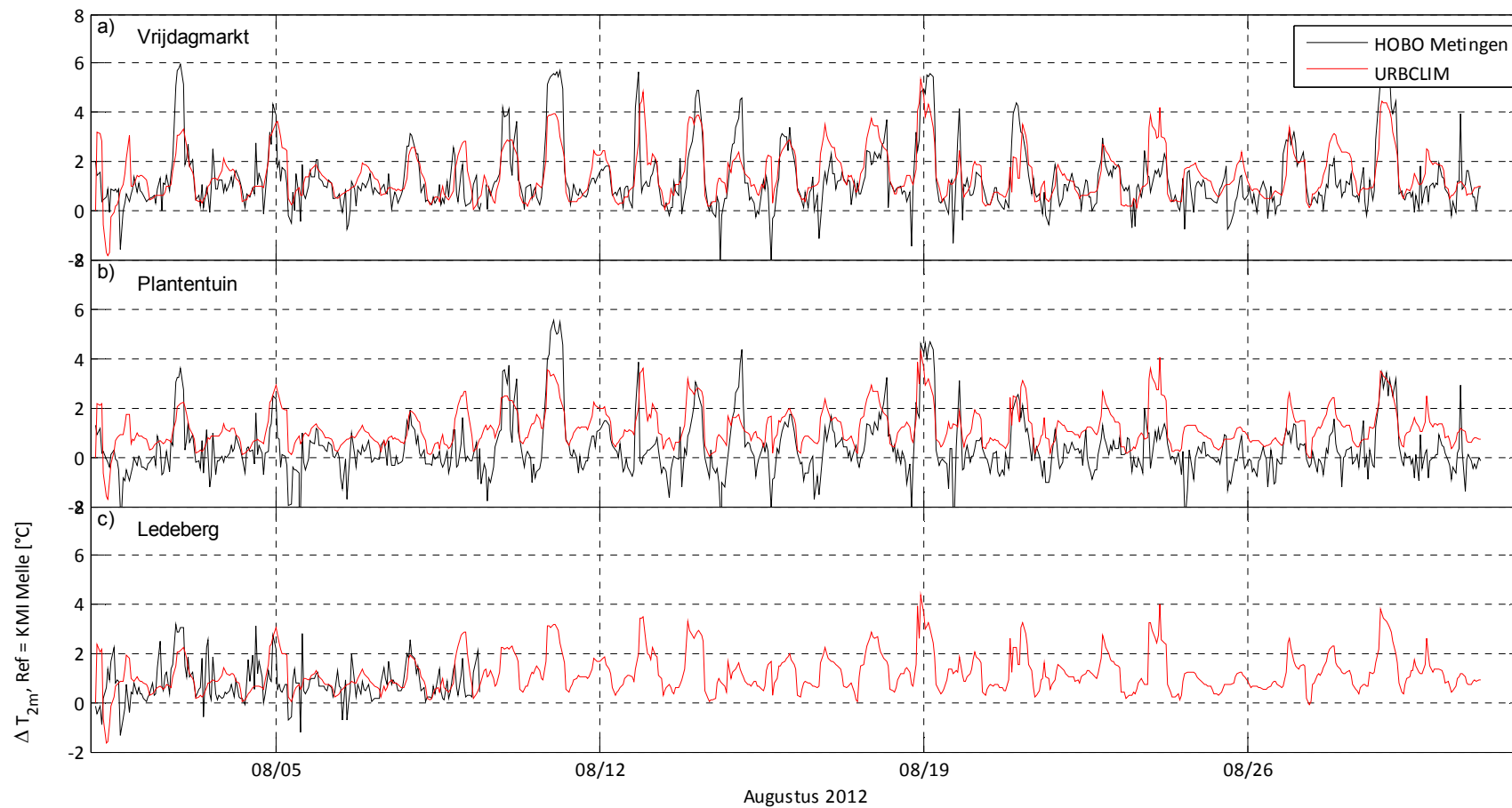
Vooraleer verder te gaan met de afgeleide modelresultaten die we op basis van deze dataset met stedelijke luchttemperatuur kunnen berekenen, zullen we eerst even stilstaan bij de validatie van deze modelresultaten. Uiteraard heeft deze modelmatige aanpak z'n beperkingen en is het cruciaal om de kwaliteit van deze modelberekeningen te analyseren. We doen dit op basis van de in-situ metingen uit de in HOOFDSTUK 2 besproken meetcampagne.

4.2.1. TEMPORELE VALIDATIE LUCHTTEMPERATUUR EN CLUHI EFFECT

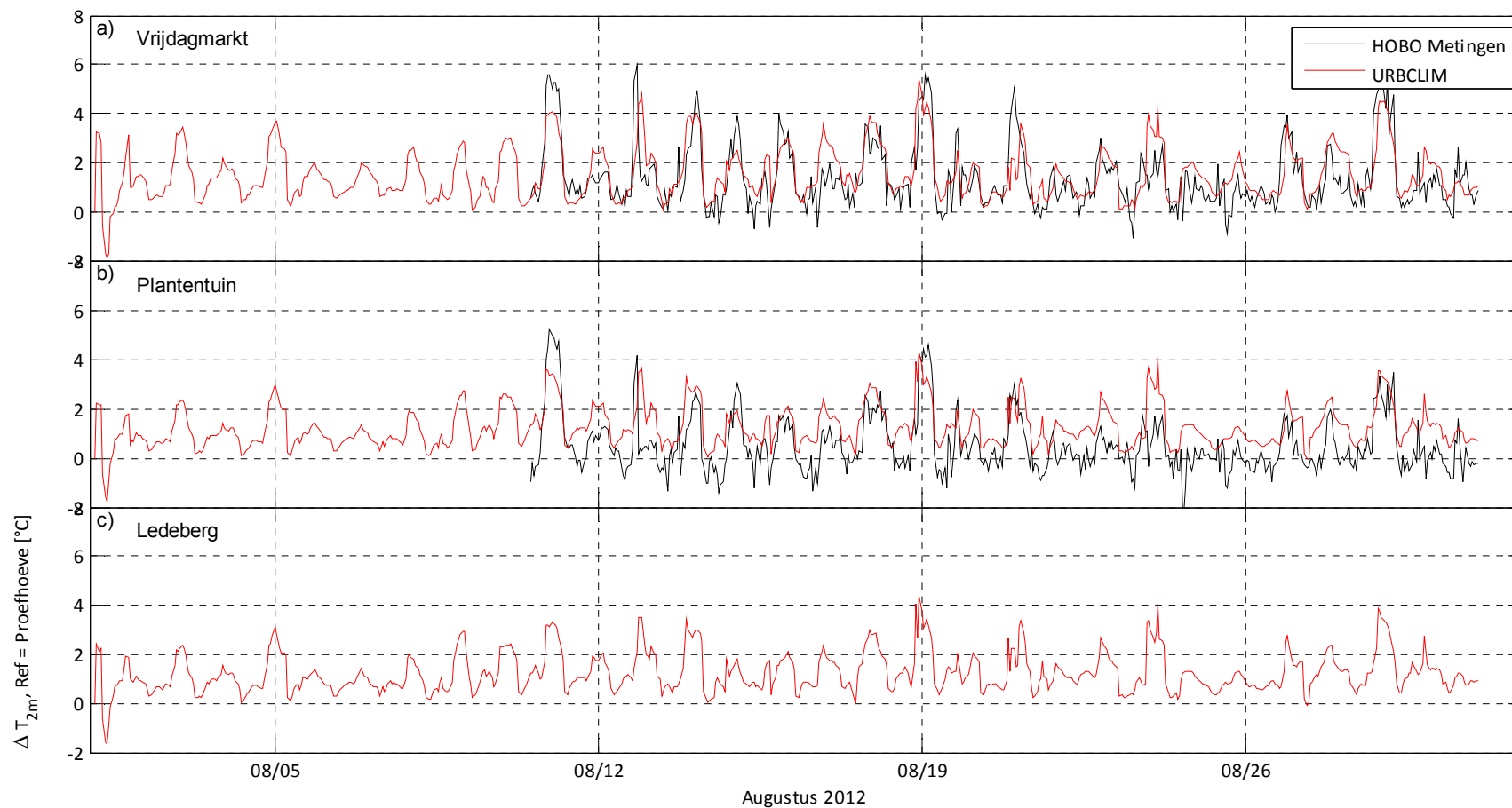
Eerst en vooral vergelijken we de tijdsreeksen van de gemeten luchttemperaturen en het UHI effect. Dit is in volgende figuren afgebeeld.



Figuur 107 : Vergelijking van de tijdsreeksen van de gemeten en gemodelleerde luchttemperatuur voor augustus 2012. We vergelijken telkens de eigen, actief geventileerde HOBO metingen (Plantentuin, Vrijdagmarkt, Proefhoeve en Ledeberg) en onderaan met de KMI metingen te Melle.



Figuur 108 : Analoge figuur als hierboven, maar ditmaal vergelijken we de tijdsreeksen van de temperatuursverschillen (UHI effect) van de HOBO metingen t.o.v. de referentie meting van het KMI station te Melle.



Figuur 109 : Analoge figuur als hierboven, maar ditmaal vergelijken we de tijdsreeksen van de temperatuursverschillen (UHI effect) van de HOBO metingen t.o.v. de eigen metingen aan de Proefhoeve te Melle. Uiteraard kunnen we de vergelijking dan niet doen voor Ledeberg.

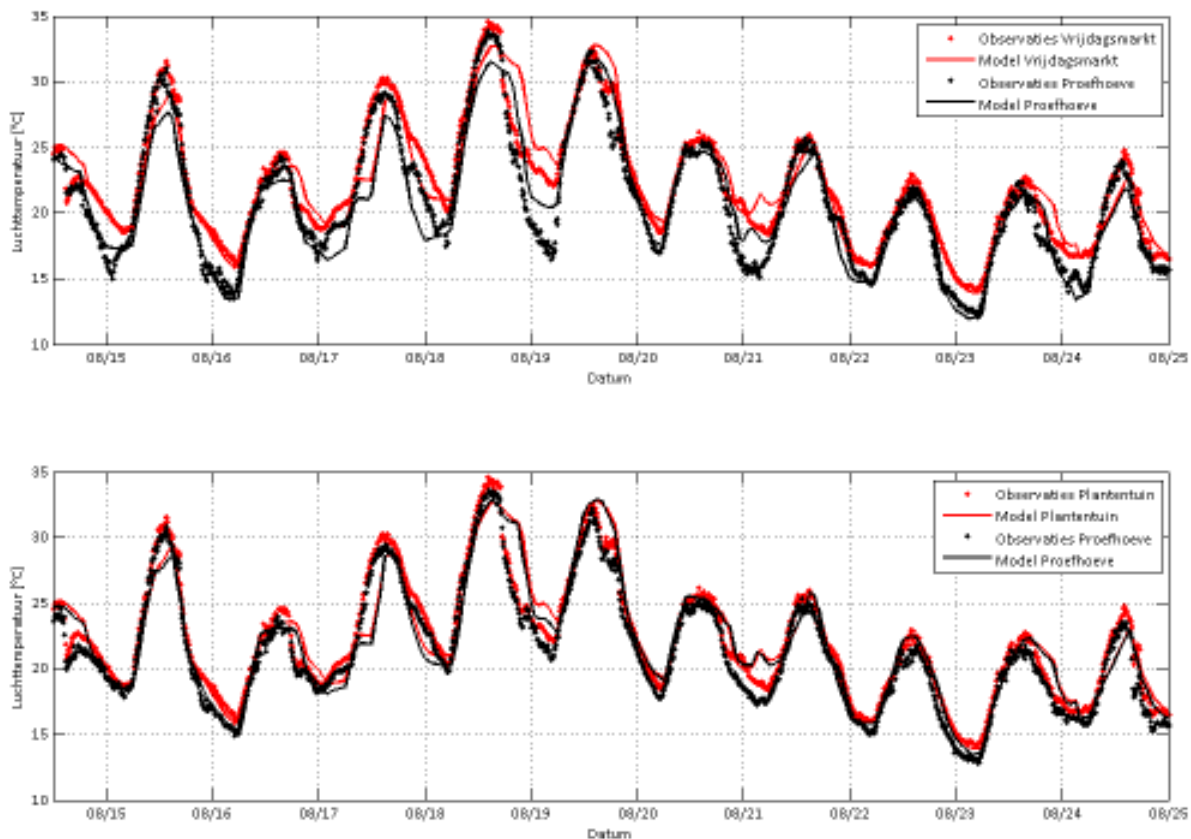
Onderstaande tabel vat enkele statistieken samen voor deze validatie van de tijdsreeks van temperatuursverschillen.

Tabel 15 : Validatie statistieken voor het CLUHI effect als functie van de tijd voor de metingen aan de Vrijdagmarkt en de Plantentuin.

	Vrijdagmarkt	Plantentuin	Ledeberg
Validatie UHI tijdsreeks t.o.v. referentie meting KMI			
RMSE	0.99 °C	1.25 °C	0.98 °C
BIAS	0.19 °C	0.81 °C	0.15 °C
R ²	0.46	0.36	0.04
Validatie UHI tijdsreeks t.o.v. eigen meting Proefhoeve			
RMSE	0.95 °C	1.19 °C	-
BIAS	0.23 °C	0.84 °C	-
R ²	0.53	0.47	-

We zien eerst en vooral in Figuur 107 dat de luchttemperatuur op de verschillende meetlokaties goed wordt weergegeven in het URBCLIM model. Dit is echter in hoofdzaak een verdienste van het grootschalig meteorologisch model (ECMWF) dat we gebruikten om als randvoorwaarden aan de instroom van ons URBCLIM model op te leggen. De echte verdienste van het URBCLIM model ligt er natuurlijk in om het temperatuursverschil tussen een rurale en stedelijke lokatie goed weer te geven. Dit is in Figuur 108 en Figuur 109 weergegeven voor de maand augustus in 2012. In Tabel 15 zijn enkele validatie statistieken opgenomen. We zien dat de gemiddelde fout in het temperatuursverschil tussen rurale en stedelijke meting (BIAS) voor de Vrijdagmarkt en Ledeberg relatief laag is (~ 0.2 °C), wat zeker positief is. Ook de correlatie coëfficiënt R^2 is voor dit type modellering niet slecht te noemen. Het URBCLIM model slaagt er in om 50 % van de temporele variabiliteit van het UHI effect in Gent te verklaren. De RMSE bedraagt voor de Vrijdagmarkt net geen 1 °C. Voor de lokatie aan de Plantentuin merken we wel dat de gemiddelde fout groter is. Het URBCLIM model overschat het UHI effect in de Plantentuin met gemiddeld 0.8 °C, wat zich dan ook uit in een wat lagere R^2 en hogere RMSE. Voor de meetlokatie te Ledeberg zien we dat het URBCLIM model er niet echt goed in slaagt om de temporele variabiliteit te verklaren. Dit kan echter duidelijk toegeschreven worden aan de microschaal effecten die duidelijk zichtbaar zijn voor deze meetlokatie (zie Figuur 22 en bijhorende bespreking). Doordat de tijdsyclus van het gemeten UHI effect in Ledeberg sterk afwijkt van het normaal verwachte patroon slaagt het model er niet in om de variabiliteit te verklaren. Dit onderstreept nogmaals het belang en de moeilijkheid van kwalitatieve metingen in stedelijk gebied.

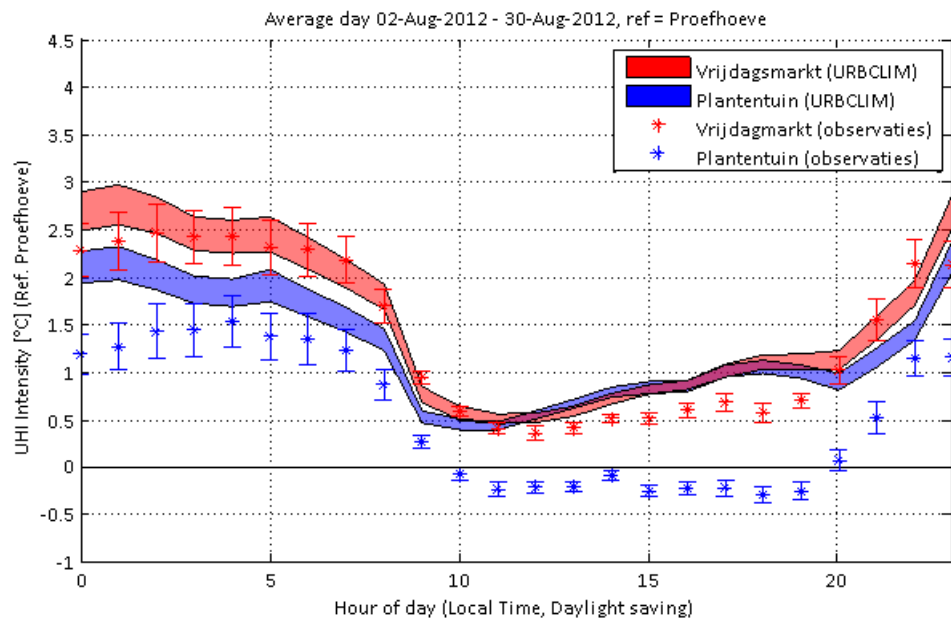
Het valt verder ook op dat de temporele correlatie coëfficiënt duidelijk toeneemt wanneer we als referentiemeting de eigen metingen aan de proefhoeve nemen t.o.v. wanneer we de KMI metingen nemen. Voor de Vrijdagmarkt neemt de verklaarde variantie met 7 % toe en voor de Plantentuin zelfs met 11 %. Het is duidelijk dat een consistente meetmethode belangrijk is en dat kleine afwijkingen in sensor respons door bvb. een grotere effectieve warmtecapaciteit van de sensor of een andere manier van ventilatie direct zichtbaar worden wanneer men het temperatuursverschil beschouwt.



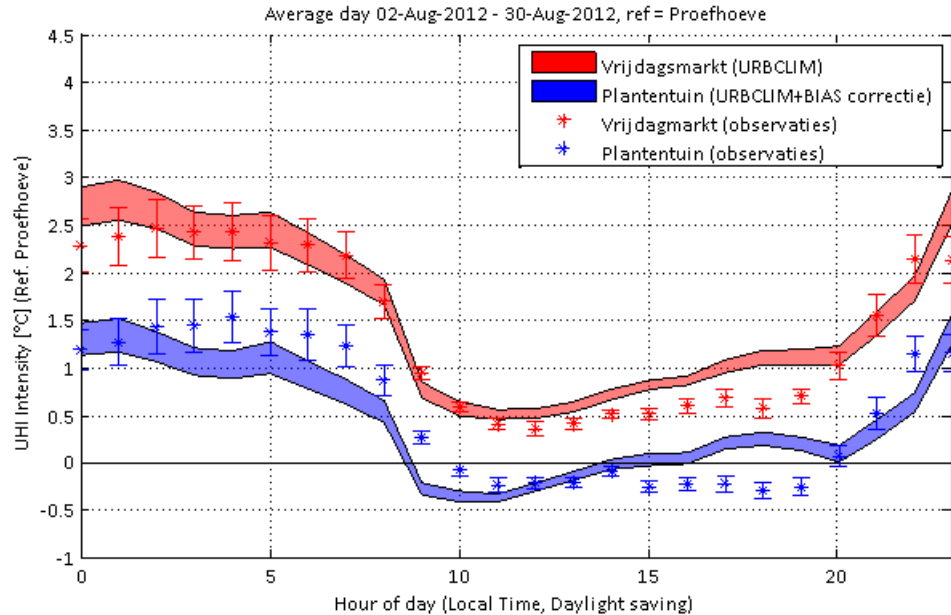
Figuur 110 : Detail van de tijdsreeksen voor model en observaties. Bovenaan worden de waarden aan de vrijdagmarkt en de Proefhoeve vergeleken voor telkens model en observaties. Onderaan voor de Plantentuin en de Proefhoeve.

Bovenstaande Figuur 110 geeft nog een detail vergelijking van de tijdsreeksen weer van observaties en modelberekeningen afgebeeld op dezelfde figuur voor de stedelijke meetstations en het rurale (Plantentuin & Vrijdagmarkt, telkens t.o.v. de Proefhoeve). Het is nu verder ook interessant om even naar de dagcyclus van het UHI effect in de URBCLIM modellering te kijken en die te vergelijken met de gemeten dagcyclus om te zien of het model de afkoeling en opwarming van de stad t.o.v. het platteland goed kan weergegeven in functie van het uur van de dag. Om de beste en meest consistente vergelijking te kunnen maken hebben we onze eigen HOBO metingen aan de Proefhoeve als referentie temperatuur genomen in de observaties.

In onderstaande Figuur 111 is deze vergelijking weergegeven. We merken dat de resultaten voor de Vrijdagmarkt in het centrum van Gent heel goed overeenkomen, zowel wat betreft de fase van de gemiddelde UHI dagcyclus als wat betreft de amplitude (tot zo'n 2.5 – 3 °C gemiddeld 's nachts). We zien dat in de loop van de namiddag de temperatuur in het URBCLIM model misschien iets vlugger stijgt terug t.o.v. de rurale lokatie. Voor de Plantentuin is het resultaat iets minder en we zien duidelijk de systematische afwijking waarbij het URBCLIM model het UHI effect in de Plantentuin iets te hoog inschat. We zien wel dat de fase van de dagcyclus daar ook heel goed overeenkomt. Dit is nog iets duidelijker in Figuur 112, waar we gecorrigeerde voor de positieve BIAS in het model t.o.v. de metingen (0.8 °C, zie Tabel 15 hoger).



Figuur 111 : Vergelijking tussen de gemeten en gemodelleerde gemiddelde dagcyclus van het UHI effect aan de Vrijdagsmarkt en aan de Plantentuin. De foutenvlaggen zijn enkel statistisch van aard (niet systematisch) en zijn niet meer dan de ongecorrleerde standaard-errors op het gemiddelde per uur.

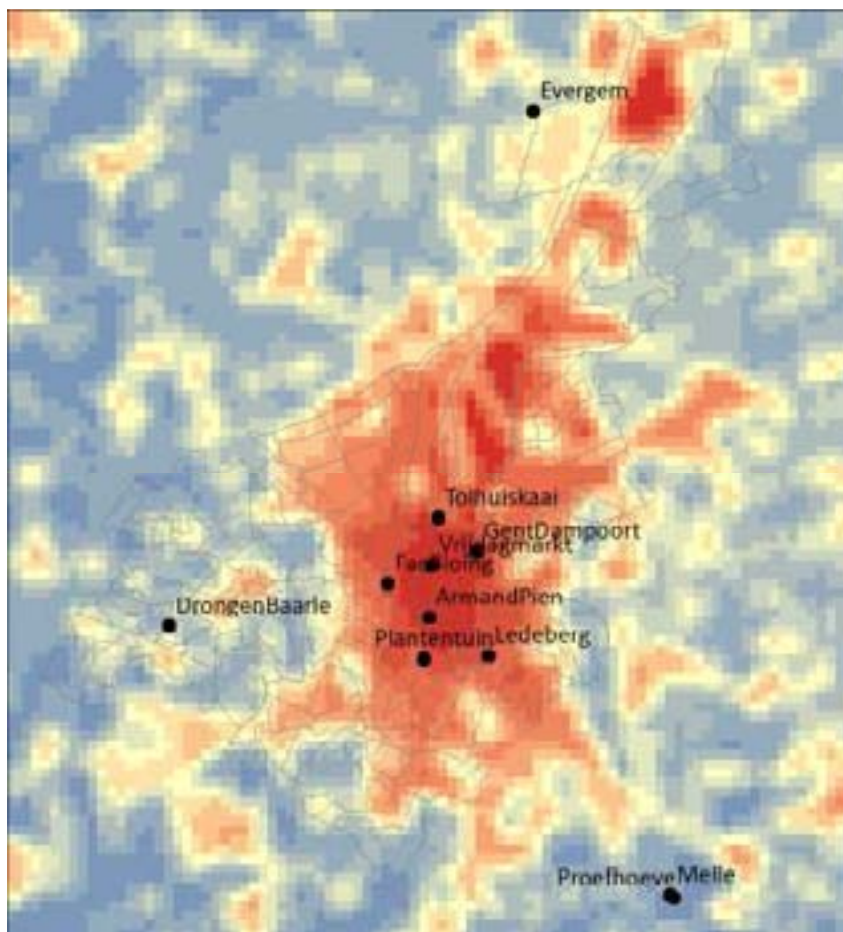


Figuur 112 : Analooq als hierboven , maar ditmaal met een bias correctie (0.8 °C) voor de model resultaten aan de Plantentuin.

4.2.2. RUIMTELIJKE VALIDATIE LUCHTTEMPERATUUR EN CLUHI EFFECT

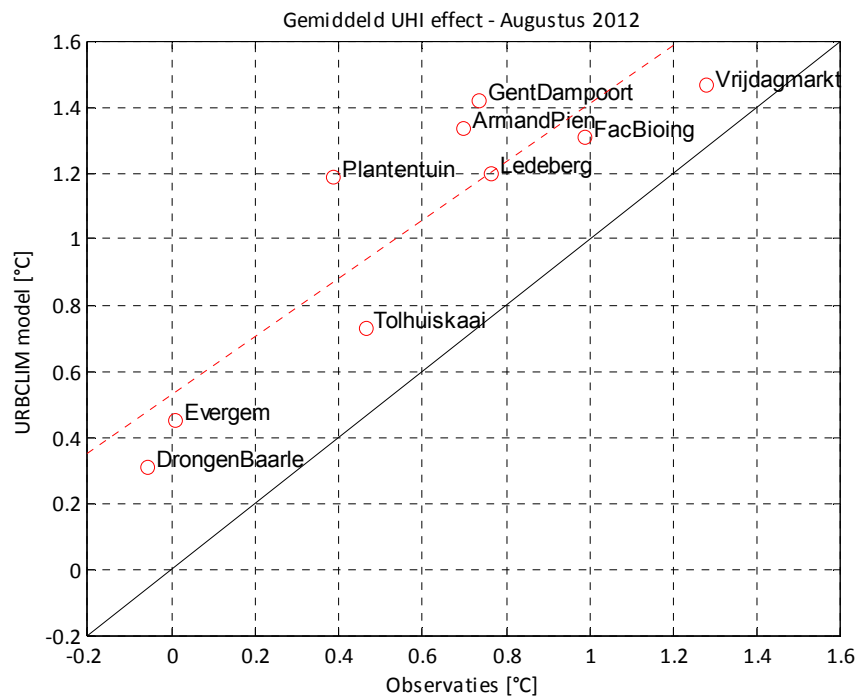
Naast een temporele validatie is uiteraard een ruimtelijke validatie ook een belangrijk onderdeel van de model evaluatie. We willen namelijk weten hoe goed het URBCLIM model het ruimtelijk patroon van de gemeten luchttemperatuur in Gent kan verklaren. Het feit dat we slechts over een 3-tal echt vergelijkbare (qua meetmethode) meetlokaties beschikken, bemoeilijkt de zaak.

Onderstaande figuren tonen een ruimtelijke validatie van het ruimtelijk patroon, voor de eenvoud herhalen we even een kaart die de lokatie van de verschillende metingen aangeeft.

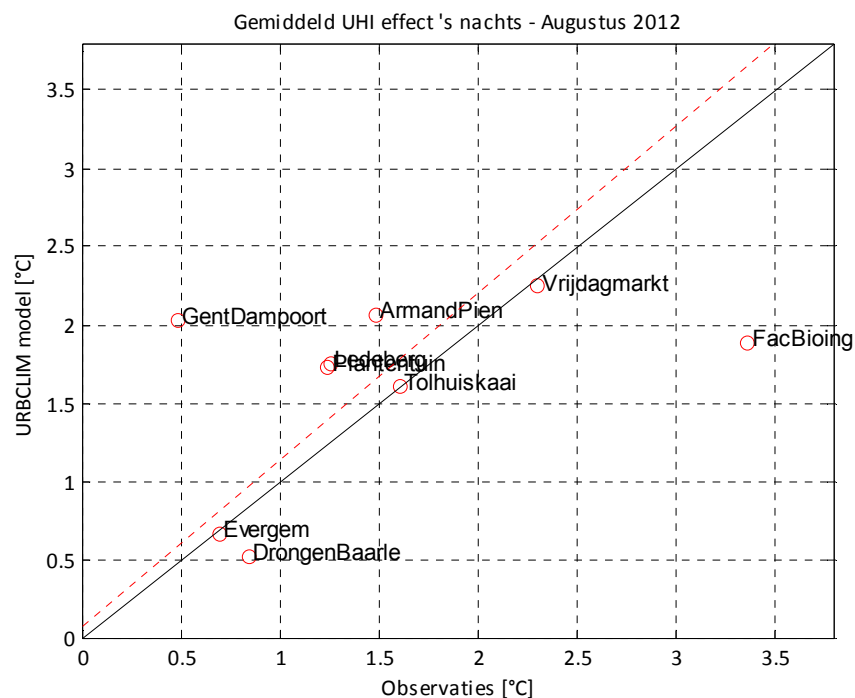


Figuur 113 : Illustratie van de lokatie van alle meetlokaties.

Onderstaande Figuur 114 en Figuur 115 geven een XY diagram weer die de gemiddelde gemodelleerde CLUHI intensiteit voor de maand augustus uitzet t.o.v. de geobserveerde waarden. In de tweede figuur is dit enkele voor de nachtelijke uren weergegeven, in de eerste figuur onafhankelijk van het uur van de dag. In Tabel 16 zijn enkele validatie statistieken opgenomen die kwantificeren in hoeverre het model erin slaagt de ruimtelijke verdeling van het gemeten CLUHI effect in Gent in kaart te brengen.



Figuur 114 : Vergelijking van het gemiddelde CLUHI effect gedurende de maand Augustus 2012, onafhankelijk van het moment van de dag. De symbolen stellen telkens per meetlokatie de gemiddelde UHI intensiteit voor : modelberekening t.o.v. observatie.



Figuur 115 : Analoog als hierboven, maar ditmaal beperken we ons tot het nachtelijk UHI effect alleen, waarbij we analoog als in Tabel 5 de waarden tussen 22:00 en 04:00 lokale tijd namen.

Tabel 16 : Validatie statistieken voor de ruimtelijke validatie van het CL-UHI.

Ruimtelijke Validatie URBCLIM	Ruimtelijke Correlatie (R^2)	RMSE	BIAS
Gemiddeld CLUHI	0.79	0.50 °C	0.46 °C
CLUHI s' nachts	0.21	0.78 °C	0.13 °C
CLUHI s' nachts (zonder Gent Dampoort & FacBioIng)	0.73	0.36 °C	0.16 °C

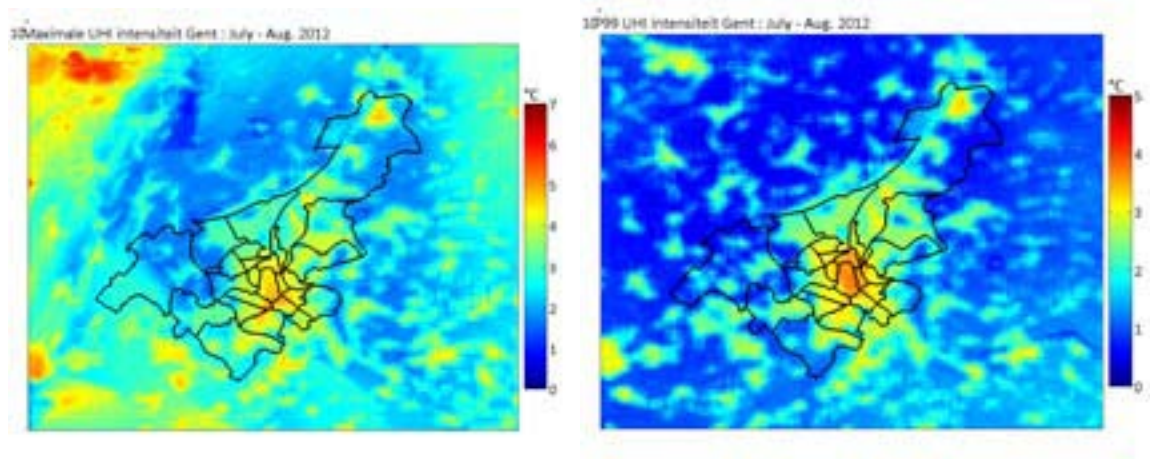
We merken uit de grafieken en uit de tabel eerst en vooral dat de ruimtelijke correlatie coëfficiënt (R^2) bevredigend hoog is. Voor het gemiddeld CLUHI effect wordt bijna 80 % van de ruimtelijke variabiliteit door het model verklaart. Indien we ons beperken tot de nacht, dan zien we dat deze verklaarde variantie terugvalt tot 21 %, maar dit is echter in hoofdzaak te wijten aan de afwijkende metingen van het station aan de faculteit bioingenieurswetenschappen en Gent Dampoort. Dit is ook duidelijk te zien op Figuur 115. Indien we beide metingen weglaten zien we dat het model terug 73 % van het ruimtelijk patroon verklaart. Voor de gemiddelde CLUHI intensiteit zien we verder een duidelijke positieve BIAS van een kleine 0.50 °C. Het model overschat m.a.w. de gemiddelde CLUHI intensiteit, maar dan vooral overdag zoals blijkt uit Figuur 115 waar we enkel de nachtelijke resultaten weergegeven en de BIAS slechts 0.16 °C bedraagt. We dienen hier uiteraard ook bij te vermelden dat de onzekerheid op onze referentie meting (KMI) ongeveer een kleine 0.5 °C bedraagt, zodat we deze resultaten toch als bevredigend kunnen bestempelen.

Uiteraard is met deze validatie studie niet alles gezegd over de kwaliteit van de modellering. Het zou bijvoorbeeld nu ook uiterst interessant zijn om de model output te vergelijken met de resultaten van de mobiele metingen, of na te gaan of de directionaliteit die we tijdens de meetcampagne bestudeerden getrouw wordt weergegeven door de modelresultaten. Hiervoor was er binnen het kader van deze rapportage echter geen ruimte meer.

4.3. BESPREKING AFGELEIDE GROOTHEDEN

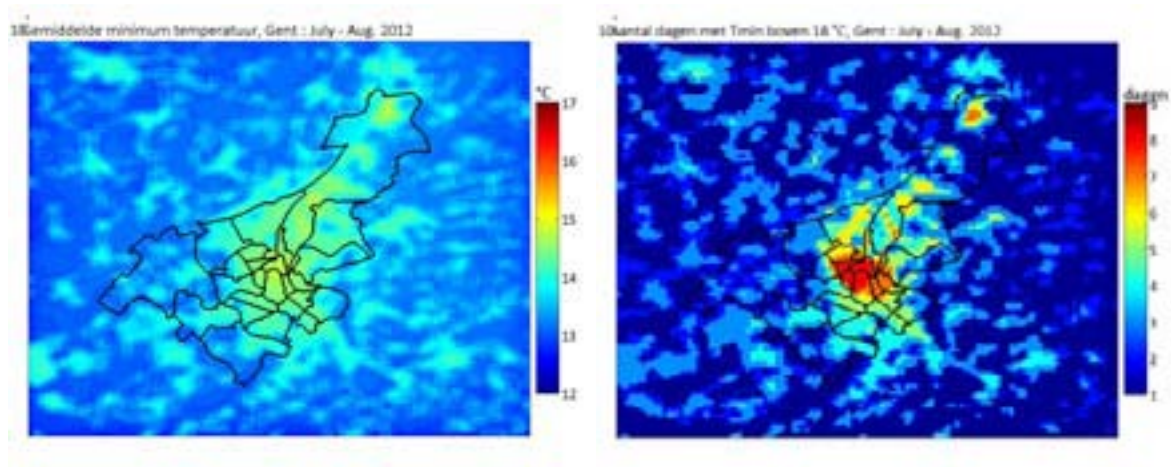
Nu we een goed idee hebben van de kwaliteit van onze URBCLIM model resultaten is het tijd om de meerwaarde van dergelijke deterministische modellering met uurlijkse luchttemperatuursvelden ten volle uit te buiten. Die meerwaarde zit naast scenario analyses en toekomstprojecties uiteraard in het feit dat we over een volledige tijdsreeks beschikken waar we allerlei afgeleide grootheden kunnen van afleiden.

We beginnen in Figuur 116 met de gemodelleerde maximale en 99^{ste} percentiel van de UHI intensiteit gedurende de volledige zomer (Juli-Augustus) van 2012. We merken een maximale intensiteit van een 5-6 °C en een 99^{ste} percentiel van een kleine 4 °C in het centrum van Gent. Het dient gezegd dat dergelijke statistieken heel gevoelig zijn en het moeilijk is om deze correct te modelleren. Hoewel deze waarden waarschijnlijk iets onderschat zijn t.o.v. de werkelijke situatie (voor de Vrijdagmarkt maten we een P95 van een goeie 5°C en pieken tot 8 °C temperatuursverschil), toch kunnen we stellen dat uit de modellering volgt dat de meest extreme UHI intensiteit zich duidelijk in het centrum van de stad zal voordoen. Voor het CLUHI effect op zich konden we namelijk stellen dat de intensiteit op sommige lokaties in de haven (vooral rond de terreinen van ArcelorMittal) vergelijkbaar was met die in het centrum.



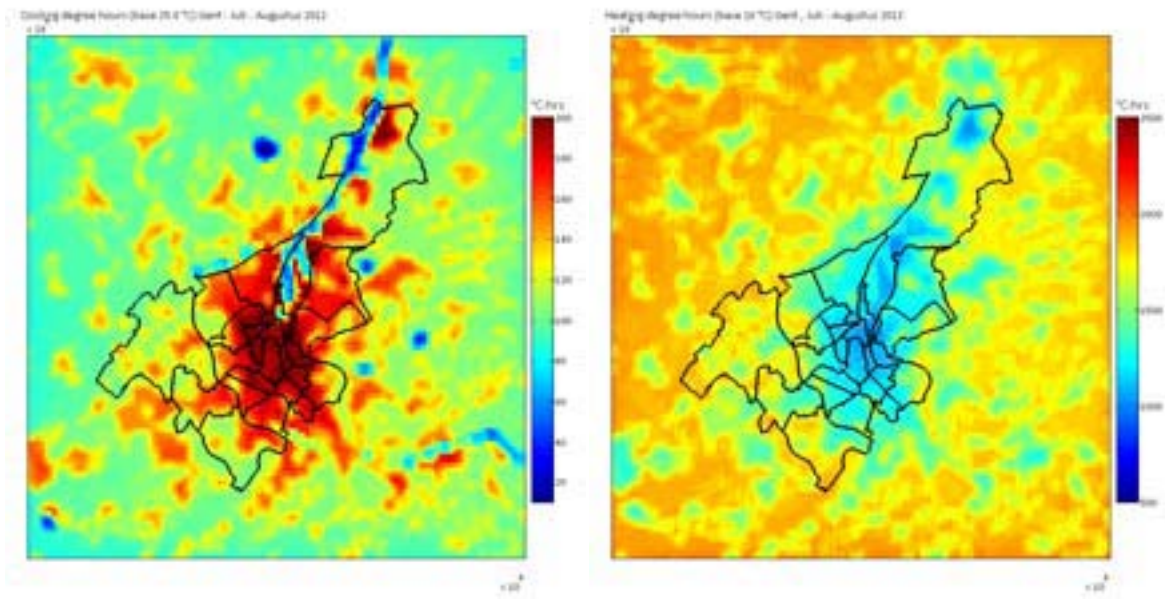
Figuur 116 : Maximale (links) en 99^{ste} percentiel (rechts) van de UHI intensiteit voor Gent gedurende de zomer 2012 (Juli - Augustus).

Een tweede interessante berekening is die van de nachtelijke minimum temperatuur. In Figuur 117 hieronder is enerzijds de gemiddelde nachtelijke minimum temperatuur gedurende de zomer afgebeeld voor Gent, en anderzijds het aantal dagen dat de minimum temperatuur niet onder de 18 °C zakte, het aantal dagen met terrasjesweer gedurende gans de nacht met andere woorden.



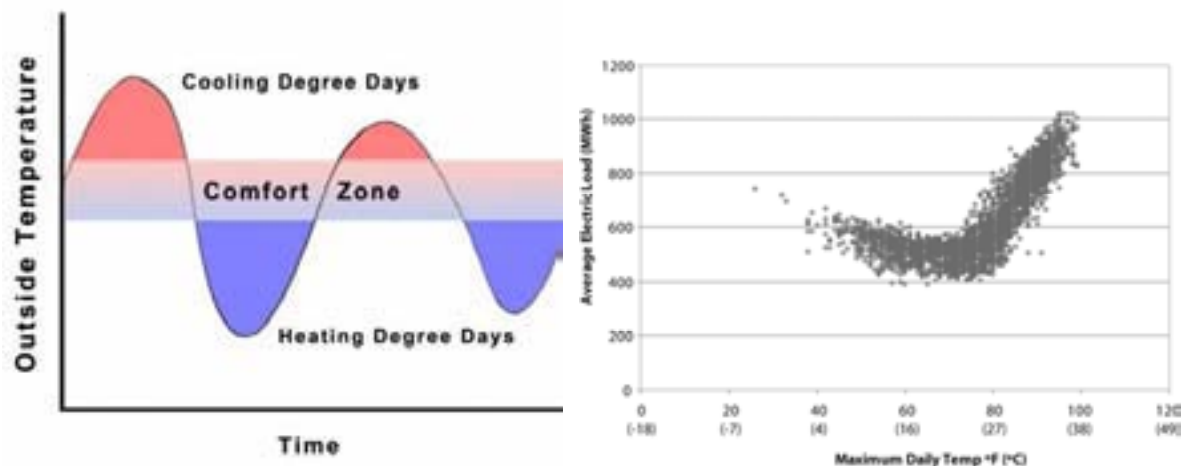
Figuur 117 : Berekeningen omtrent de nachtelijke minimum temperatuur gedurende de zomermaanden van 2012.

We zien uit de modellering dat de gemiddelde minimum temperatuur voor gans Gent in de zomer van 2012 tussen de 14 – 15 graden is, met een licht hoger gemiddelde in het centrum, er is echter niet zo'n heel afgetekend patroon waar te nemen. Voor het aantal dagen met een nachtelijk minimum boven de 18 °C is dat patroon veel duidelijker. Daar zien we in het centrum tot meer dan een week langer “terrasjesweer” in de zomer dan in het platteland errond. Vooral in de centrale wijken is dit een leuke insteek naar de toeristische sector. We dienen er wel bij te vermelden dat dergelijke overschrijdingsindicatoren relatief gevoelig zijn en dat dit resultaat met enige voorzichtigheid dient benaderd te worden. Desalniettemin is dit duidelijk één van de positieve punten van het stedelijk warmte-eiland effect.



Figuur 118 : Cooling degree hours en heating degree hours : Het totaal aantal graad-uren boven de 25 °C , gelinkt aan energieverbruik voor koeling (airco) is links afgebeeld, rechts het aantal graad-uren onder de 16 °C, gelinkt aan energieverbruik voor verwarming.

In bovenstaande Figuur 118 zijn de zogeheten cooling en heating degree hours afgebeeld, respectievelijk CDH en HDH. Dit zijn de seizoenale equivalenten van de misschien beter gekende “graad-dagen”. Het aantal CDH is het totaal aantal graad-uren boven een bepaalde drempel, die we als 25 °C nemen, waarboven mensen typisch airco installaties gaan gebruiken en dus energie verbruiken voor koeling. Het aantal HDH is dan weer het aantal graad-uren onder een bepaalde drempel, we namen 16 °C hier, wanneer mensen dan weer typisch verwarmingsinstallaties aanzetten en dus energie verbruiken om de huizen op te warmen. Meer wiskundig uitgedrukt is bvb. het aantal CDH de totale oppervlakte van de luchttemperatuurs-curve boven de 25°C, daar komt het op neer. Onderstaande Figuur 119 geeft dit grafisch weer. De link met energie consumptie wordt wel meestal bestudeerd als functie van het aantal graaddagen op jaarbasis (waarbij meestal enkel met minimum en maximum temperatuur gewekt wordt voor de berekeningen) en gezien er geen gedetailleerde en ruimtelijk expliciete data hiervoor beschikbaar was, kunnen we in het kader van dit project deze link moeilijk verder in detail exploiteren. De eenvoudige analyse echter toont al onmiddellijk aan dat er hoewel de temperatuursverschillen tussen stad en platteland al bij al nog redelijk beperkt zijn (in de orde van een 3-tal graden gemiddeld ‘s nachts), zien we toch in het aantal graad-uren een heel uitgesproken verschil tussen de stad en het omringende platteland. Ook naar de HDH, hoewel misschien minder relevant in het zomer seizoen, merken we een heel uitgesproken verschil.



Figuur 119 : Links: Grafische voorstelling van cooling en heating degree days. Bron: <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/temperature>, rechts: energie verbruik als functie van de dagelijkse maximum temperatuur in New Orleans (Sailor and Muñoz, 1997).

De hoogste waarden voor de CDH lijken ook eerder rond het stadscentrum te liggen ipv echt in het midden. Deze observatie dient echter nog verder bestudeerd en getoetst te worden om uitsluitsel te geven in hoeverre dit ook daadwerkelijk met de realiteit overeenstemt.

4.4. DOWNSCALING NAAR 90 M GRID

Tot nog toe hebben we ons in de modellering beperkt tot een ruimtelijke resolutie van 250m voor de resultaten van de luchttemperatuursmodellering. Hoewel dit reeds een aantal interessante observaties aan het licht bracht, kunnen we toch stellen dat 250 m relatief grof is, zeker visueel, om de zaken op schaal van een stad als Gent voor te stellen.

4.4.1. ENKELE BESCHOUWINGEN VOORAF

Men mag niet vergeten dat het verhogen van de ruimtelijke resolutie niet noodzakelijk gelijkstaat aan een verbetering van de kwaliteit van de model resultaten. De luchttemperatuur in stedelijke omgeving kent sowieso een veel minder uitgesproken ruimtelijke variabiliteit en dat is in dit project reeds kwantitatief aangetoond in de validatie van de modelresultaten, waar we zien dat de modellering op 250m reeds 80 % van de ruimtelijke variabiliteit van het geobserveerde CLUHI effect kan verklaren (Tabel 16). We verwachten niet dat een downscaling naar hogere resolutie hier veel toegevoegde waarde kan aan verschaffen.

Momenteel beschikt het URBCLIM model niet over een dynamische downscaling module die in de deterministische modellering kan worden ingekoppeld. We dienen ons dus te beroepen op statistische methodes, waarbij een correlatie gezocht wordt tussen een aantal verklarende variabelen en de gemodelleerde luchttemperatuur. Gezien de dynamiek van de luchttemperatuur toch net iets anders is dan die van de oppervlakte temperatuur dienen we hier ook een aantal additionele variabelen mee te nemen ten einde een succesvolle downscaling te kunnen doen. Deze proxy variabelen zijn typisch verklarende factoren voor het CLUHI, we dienen dus voorzichtig te zijn wanneer we achteraf de gedownscalede CLUHI-resultaten zullen interpreteren in de taak rond het

detecteren van de oorzaken van het CLUHI effect. Dit zal daar echter in meer detail besproken worden.

Voor de downscaling hebben we dus een aantal GIS lagen nodig die als proxy zullen dienen. We wensen de zaken zo eenvoudig mogelijk te houden en daarom nemen we enkel de belangrijkste bepalende factoren mee voor het CLUHI, dit zijn

- De **sky view factor** (SVF), gemiddeld in de model gridcel
- De fractie **verhard oppervlak** aanwezig in de model gridcel
- De fractie **water** aanwezig in de model gridcel
- De fractie **vegetatie** aanwezig in de model gridcel

In de bespreking van de mobiele metingen bleek reeds uit de regressie analyse dat deze factoren de meest relevante zijn. Gezien de fractie asfalt daar niet echt significant was voor het verklaren van de variabiliteit van luchttemperatuur op het bestudeerde transect, zullen we die hier voor de eenvoud weglaten.

In een volgende eerste paragraaf zullen we kort toelichten hoe we elke proxy parameter hebben afgeleid, gezien dit voor de SVF niet echt triviaal is. Daarna bespreken we de effectieve downscaling.

4.4.2. AFLEIDEN PROXY DATA

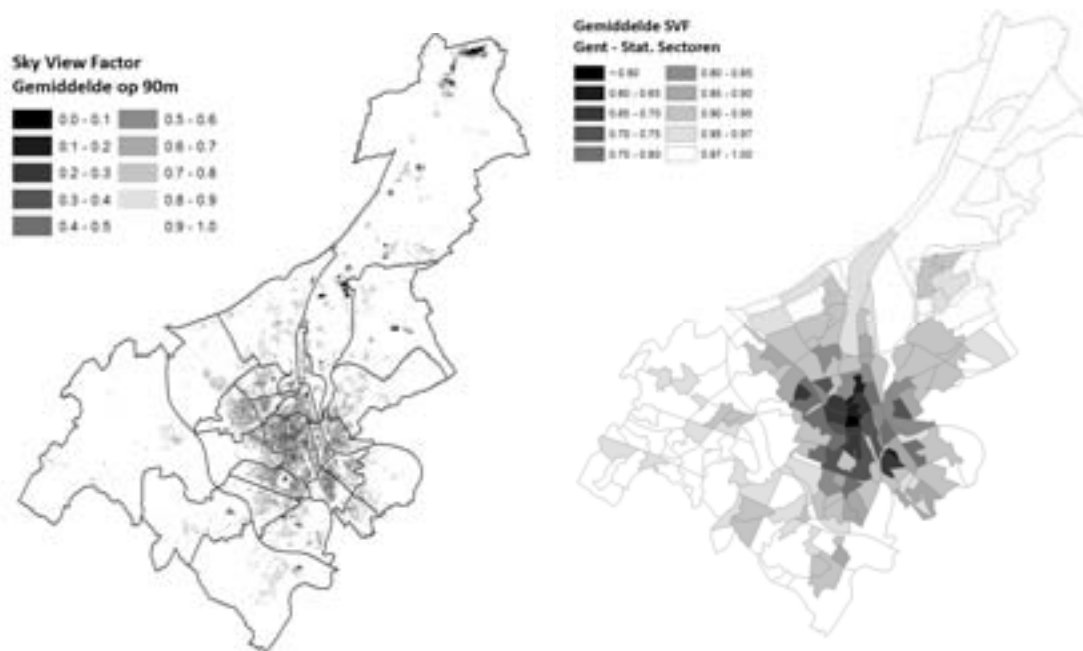
→ Sky View Factor

We verwijzen naar § 3.3.2. De relatie tussen de SVF en het stedelijk warmte eiland is goed gekend in de vorm van een empirische relatie, opgesteld door Tim Oke (1988) , waarbij de maximale UHI ($T_{urb} - T_{rur}$) intensiteit voor een stad gegeven wordt als functie van de sky view factor :

$$\Delta T_{u-r(max)} \approx 15.27 - 13.88 \cdot \psi_{sky}$$

Een belangrijke achterliggende oorzaak voor deze relatie is het feit dat er in open lokaties de uitstraling van thermische energie (IR straling) niet verhinderd wordt, waardoor het aan de grond ook sterker kan afkoelen. Dit effect is typisch sterk aanwezig gedurende heldere nachten. In diepe straat canyons wordt een groot stuk van de uitgestraalde thermische energie terug gere-absorbeerd door de gebouwen die de hemel afdekken waardoor de afkoeling niet zo efficiënt gebeurt.

De resulterende SVF voor gans het grondgebied Gent is hieronder afgebeeld in Figuur 120.



Figuur 120 : SVF op 90m resolutie grid (links), gemiddelde SVF per statistische sector in Gent. Merk op dat de schaal dezelfde is.

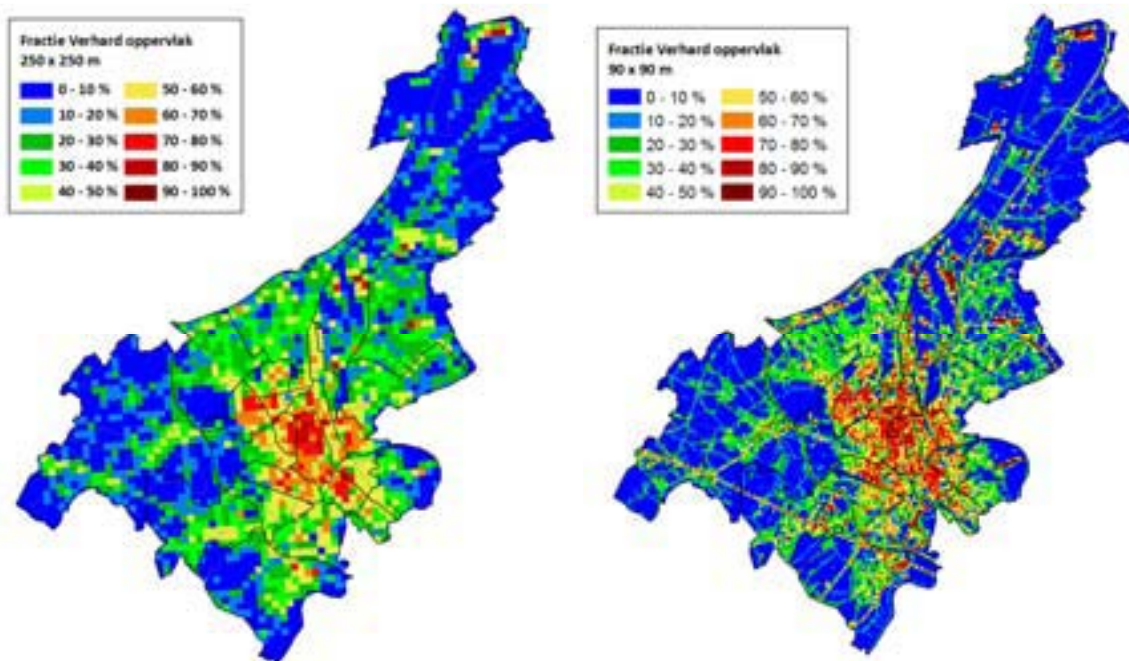
We zien duidelijk de lagere SVF in de centrale wijken in Gent, ook Ledeberg valt op door zijn verlaagde SVF t.o.v. de omringende wijken. Op de kaart met 90 m resolutie, zien we ook duidelijk de verlaagde SVF in het noorden van de haven op de terreinen van ArcelorMittal. We zien in de centrale delen van Gent een SVF met waarden rond de 0.65 ongeveer, op basis van de bovenstaande formule komt dit neer op een maximale UHI intensiteit van een goeie 6 °C, wat redelijk consistent is met de observaties en de modellering.

→ Fractie verhard oppervlak

Voor de fractie verhard oppervlak maken we gebruik van de aangeleverde GIS lagen, zoals reeds in 2.2.4 aangegeven van de shapefiles met de kadastrale gebouwen en de rijbaan oppervlakken. Onderstaande Figuur 121 geeft een idee hiervan samen met het 90 m grid waarop we de finale downscaling zullen presenteren. In elke 90 x 90 m gridcel (en dus ook 250 m x 250 m gridcel) werd de fractie verhard oppervlak bepaald. Onderstaande Figuur 122 geeft dit weer.

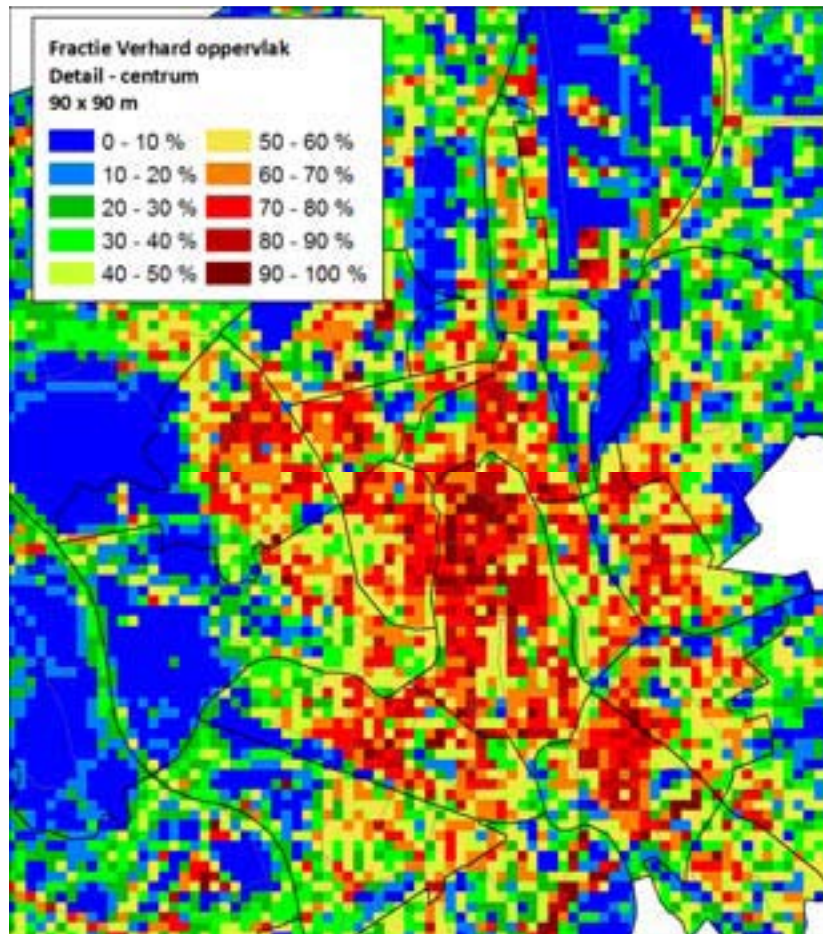


Figuur 121 : Berekening fractie verhard oppervlak.



Figuur 122 : Fractie verhard oppervlak in Gent, links op 250 x 250 m, rechts op het 90 m grid.

Het is misschien niet oninteressant om eens een detailbeeld van het centrum van dichter te bekijken, waar we duidelijk en logischerwijs de meest verharde delen van Gent zien. Merk op dat ook in het havengebied de grote industriële sites uiteraard duidelijk naar voor komen.

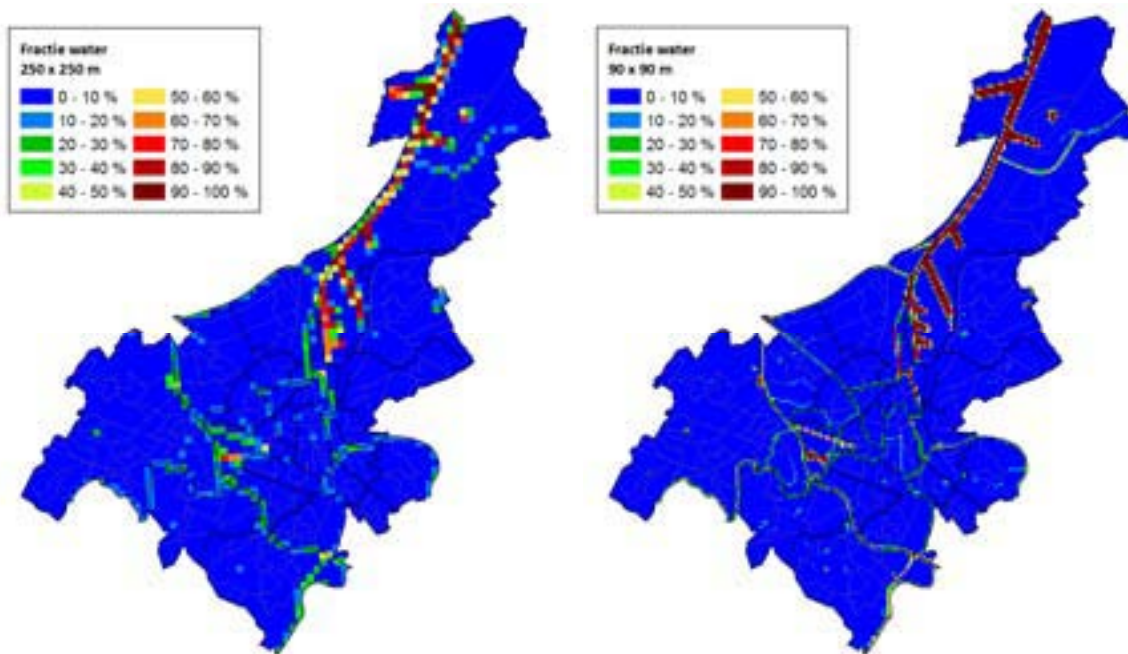


Figuur 123 : Detailbeeld van de fractie verhard oppervlak op 90 x 90 m voor Gent - centrum.

We zien toch een aantal zones met volledige verharding tussen de 90 – 100 %, vooral (logischerwijze) in het historisch centrum van Gent. Het overgrote deel van centraal Gent kent een verharding van 70-80 %.

→ **Fractie water**

Voor de fractie water gebruiken we de desbetreffende aangeleverde shapefile. De resultaten zijn heironder afgebeeld :



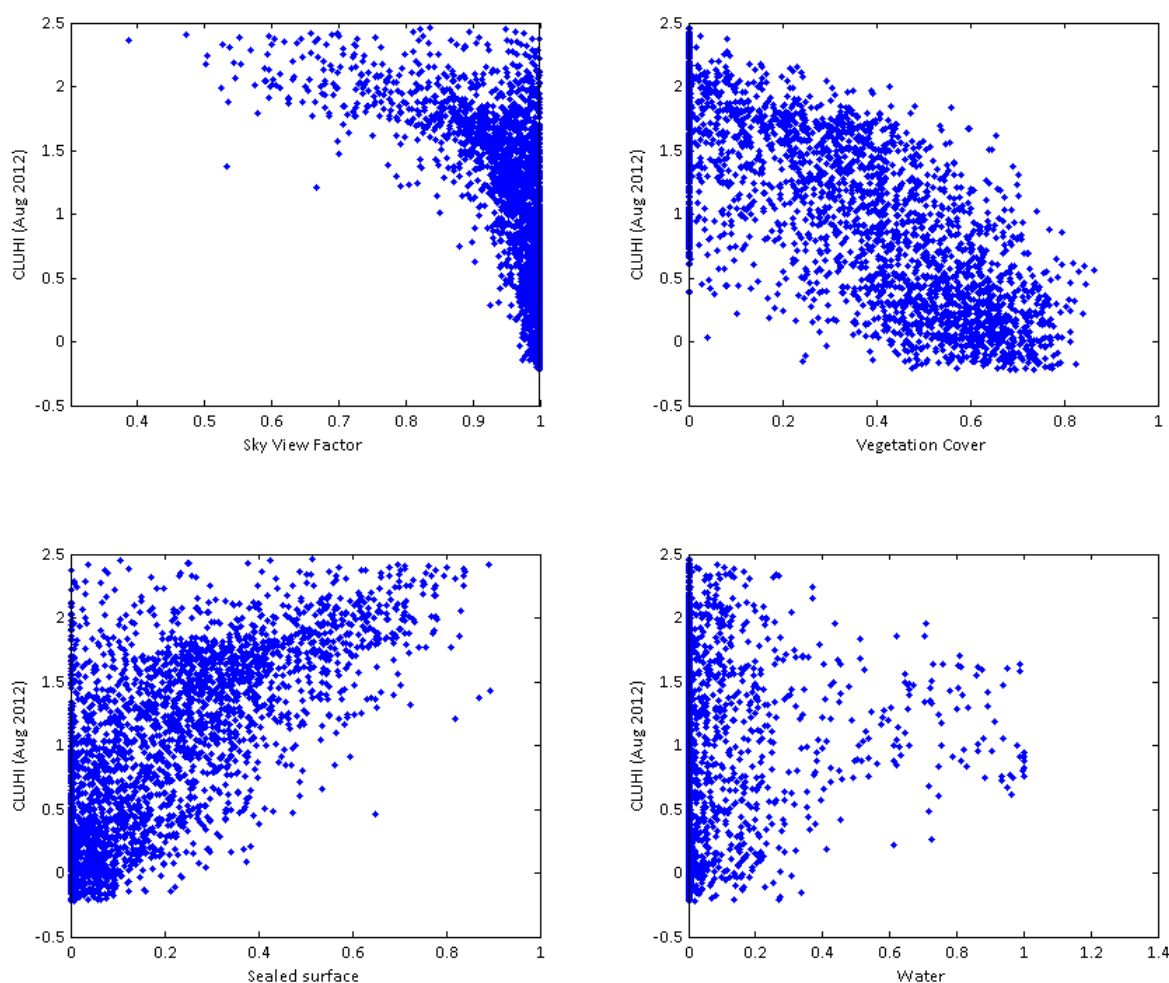
Figuur 124 : Fractie water in Gent, links op een 250 m x 250 m grid, rechts op een 90 x 90 m grid.

→ Fractie vegetatie

Voor de fractie vegetatie maken we gebruik, niet van de aangeleverde shapefiles, maar eerder van de vegetatie fractie afgeleid van de NDVI beelden, meer bepaald van het zomerbeeld van 2006-07-16. De NDVI beelden hebben we reeds in eerdere hoofdstukken besproken (zie § 3.4.1).

4.4.3. BESPREKING DOWNSCALING NAAR 90 M

We vertrekken voor de downscaling van het gemiddelde CLUHI effect om 00:00 lokale tijd gedurende de maand augustus. Binnen de administratieve grenzen van Gent voeren we een correlatie analyse uit, waarbij we voor elke model gridcel van 250 x 250 m de CLUHI intensiteit uitzetten t.o.v. de vermeldde parameters. Dit is hieronder in Figuur 125 afgebeeld. We zien duidelijk terug de verbanden die we reeds konden opmerken bij de analyse van de mobiele metingen. De CLUHI intensiteit is duidelijk negatief gecorreleerd met de sky view factor en de fractie vegetatie, en duidelijk positief gecorreleerd met de fractie verhard oppervlak.



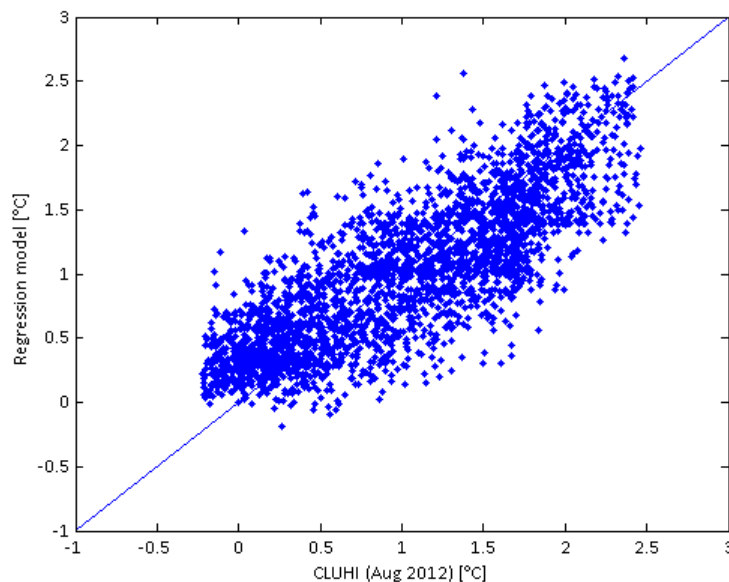
Figuur 125 : Correlatie plots tussen de gemiddelde CLUHI intensiteit om 00:00 lokale tijd gedurende de maand augustus 2012. Elk punt stelt een 250 x 250 m rooster cel voor binnen de administratieve grenzen van Gent.

De volgende stap is nu een regressie model opstellen voor de gemiddelde CLUHI intensiteit aan de hand van deze verklarende variabelen. We hebben de downscaling uitgevoerd voor twee CLUHI kaarten, de gemiddelde kaart van het CLUHI effect om 00:00 's nachts gedurende de maand augustus 2012 en de kaart van 19 augustus om 00:00 lokale tijd, net na de warmste dag van 2012.

Tabel 17 : Resultaten van de regressie analyse op de gemiddelde CLUHI model resultaten van de maand augustus om 00:00 en voor de momentopname van 19 augustus, na de warmste dag van 2012.

	Constante (a_0)	Fractie verhard opp. (a_1)	Fractie vegetatie (a_2)	Fractie water (a_3)	SVF (a_4)
CLUHI – gemiddeld augustus 00:00 LT : regressie coëfficiënten	2.34	0.83	-1.72	-0.70	-0.95
Onzekerheid	± 0.17	± 0.07	± 0.04	± 0.06	± 0.17
CLUHI – 19 augustus 2012 om 00:00	4.02	2.51	-1.95	-0.83	-2.24

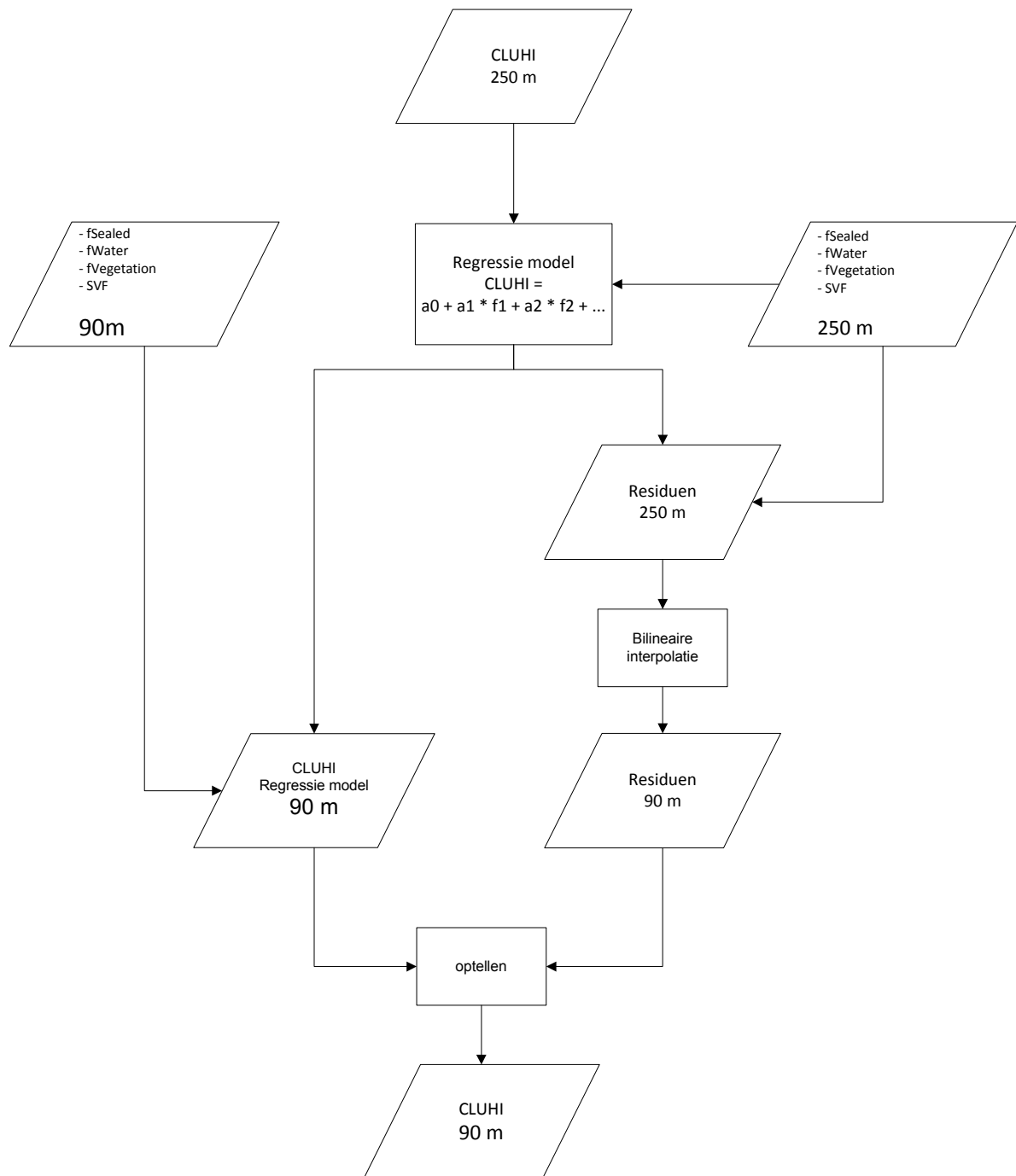
LT : regressie coëfficiënten Onzekerheid	± 0.35	± 0.15	± 0.09	± 0.12	± 0.35
---	------------	------------	------------	------------	------------



Figuur 126 : Toepassing van het regressiemodel uit bovenstaande Tabel 17 voor de gemodelleerde gemiddelde CLUHI intensiteit gedurende augustus 2012 om 00:00 lokale tijd. De figuur toont op de horizontale as de werkelijk gemodelleerde CLUHI waarden, op de verticale as de waarden die door het regressiemodel worden gereconstrueerd en dit voor alle 250 x 250 m roostercellen binnen de administratieve grenzen van Gent.

De regressiemodellen uit Tabel 17 kunnen voor het gemiddelde CLUHI effect om 00:00 tijdens augustus 66.5 % van de ruimtelijke variabiliteit verklaren met een RMSE van 0.40 °C, voor de CLUHI kaart van 19 augustus om 00:00 is dat 56.3 % met een RMSE van 0.87 °C. Merk op dat in dit laatste geval de intensiteit van het effect ook is toegenomen, waardoor ook de onzekerheid (RMSE) op het regressiemodel toeneemt.

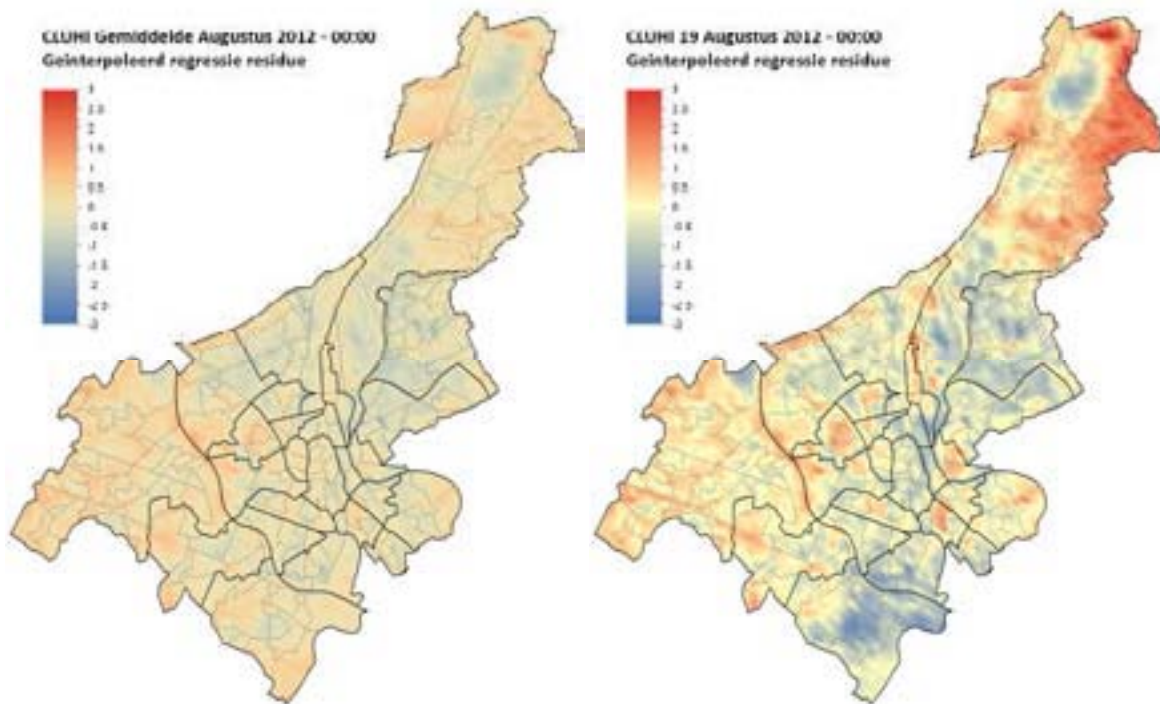
Dit regressie model ligt nu verder aan de kern van de downscaling naar 90 m resolutie. Schematisch is dit afgebeeld in onderstaande Figuur 127.



Figuur 127 : Algoritme voor het downscalen van de CLUHI kaarten op 250m naar 90 m aan de hand van de proxy data met verhard oppervlak, water, fractie vegetatie en SVF.

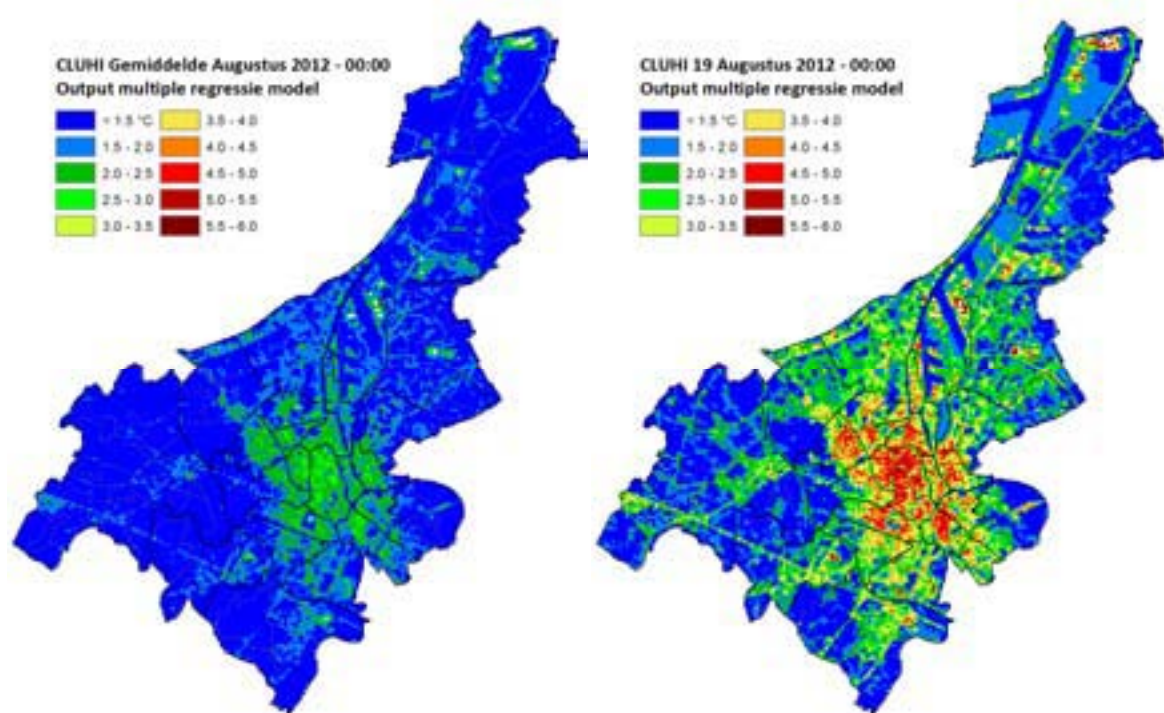
We kunnen nu in elke rooster cel van het 250m grid de originele waarde van de CLUHI kaarten vergelijken met die van het regressiemodel. We interpoleren eenvoudigweg dit residu via bilineaire interpolatie. Dit is afgebeeld in onderstaande Figuur 128. We merken dat de verschillen (in de lijn van de hoger vermeldde RMSE waarden) relatief beperkt blijven, meestal onder 0.5 °C voor het gemiddelde en onder 1 °C voor 19/08. Wel merken we dat in de kaart van 19/08 een opvallend verschil aanwezig is in het noordoosten van de havenzone. Dit verschil is te wijten aan de randvoorwaarden in de modellering, met name de instroom van koelere lucht vanaf het oosten op

dat moment. Dergelijk dynamisch fenomeen kan uiteraard niet worden gecaptureerd door deze statische en statistische downscaling, waardoor het regressie model de temperaturen overschat in die zones t.o.v. de originele modellering op 250 m.

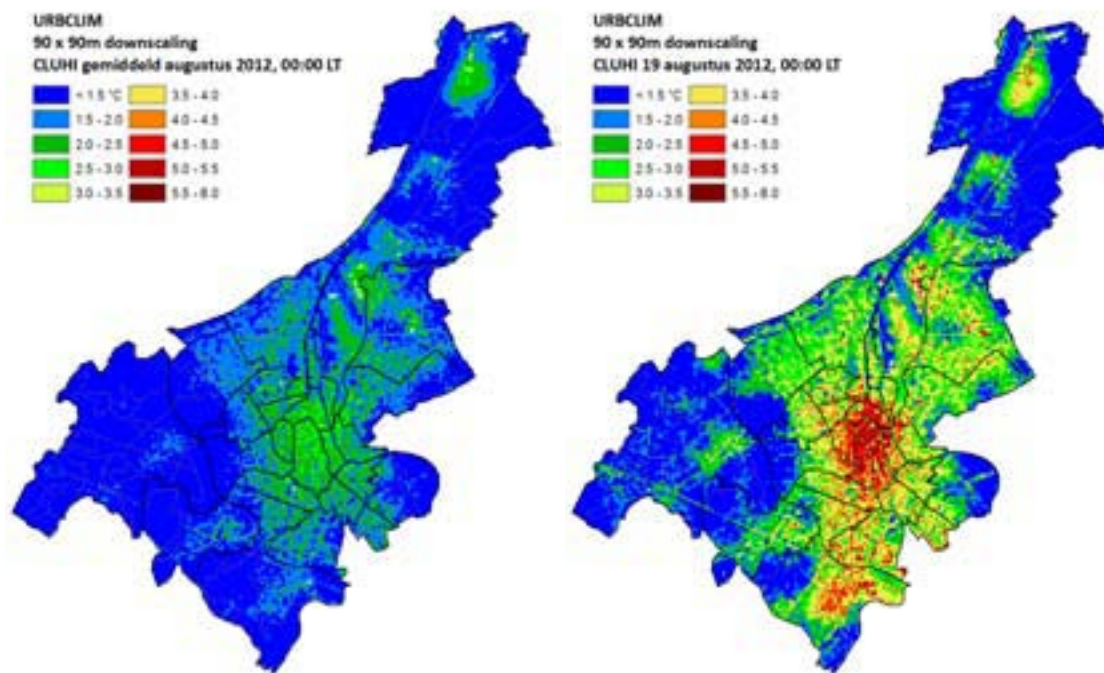


Figuur 128 : Ruimtelijke verschillen tussen de toepassing van het regressie modellen uit Tabel 17 en de originele (geïnterpoleerde) kaart op 250 m.

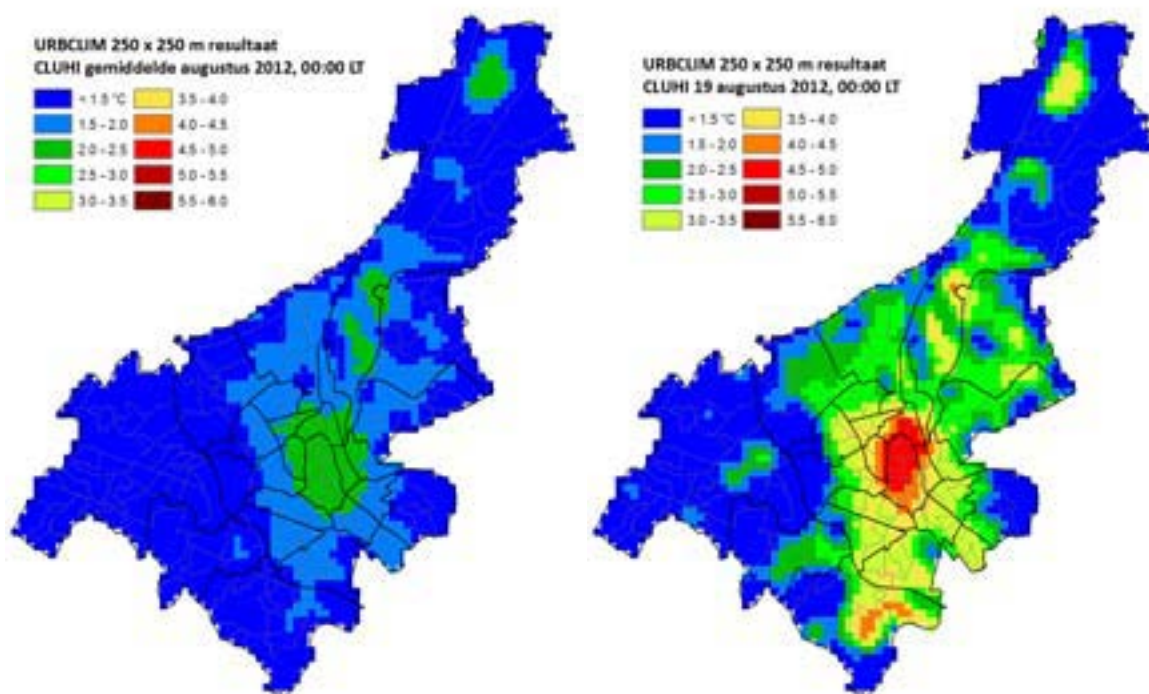
Bij dit regressie residu op het 90m grid kunnen we vervolgens de resultaten van de toepassing van het regressie model op 90 m bijtellen. Deze laatste kaarten zijn in Figuur 129 afgebeeld en zijn dus in feit de directe vertaling van de relaties uit Tabel 17 naar CLUHI effect op 90 m, m.a.w. dus enkel gebaseerd op het landgebruik. De som van beiden, of de finale gedownscalede kaarten zijn daaronder in Figuur 130 afgebeeld.



Figuur 129 : Toepassing van het multiple regressie model uit Tabel 17 op de 90 m proxy data. Links geven we het gemiddelde CLUHI om middernacht gedurende de maand augustus 2012, rechts de kaart van middernacht op 19 augustus 2012, na de warmste dag van 2012. Beide kaarten zijn op dezelfde schaal afgebeeld.

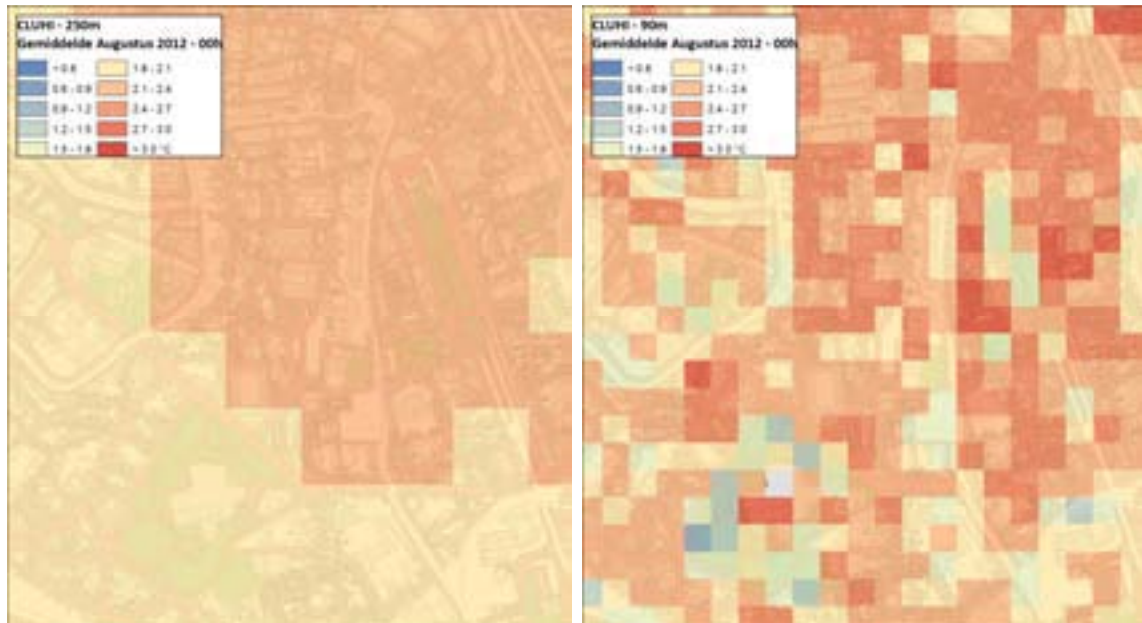


Figuur 130 : Finale gedownscalede kaarten op 90 x 90 m. Opnieuw links gemiddeld voor augustus en rechts voor 19 augustus om 00:00.



Figuur 131 : Originele CLUHI resultaten uit het URBCLIM model op 250 x 250 m resolutie. Links het gemiddelde effect voor de maand augustus, rechts, het effect op 19 augustus 2012 om 00:00 LT.

Uiteraard is het de bedoeling dat de gedownscalede kaarten trouw blijven aan de originele 250 x 250 m kaarten. Deze laatste zijn op dezelfde kleurschaal weergegeven in Figuur 131. We zien inderdaad dat de patronen in grote lijnen bewaard blijven. Hieronder is een detail van het centrum vergeleken met de originele 250 m kaart. We zien effectief meer detail ontstaan.



Figuur 132 : Detail van de gedownscalede kaarten van het gemiddelde CLUHI effect voor de buurt van het Citadelpark.

We zien (bovenstaande figuur) duidelijk dat door deze downscaling meer detail zichtbaar wordt en enkele zones nadrukkelijker als hotspots of coolspots naar voor geschoven worden, zoals duidelijk zichtbaar voor het Citadelpark of het Albertpark. We zien ook dat de downscaling beter de metingen aan het Citadelpark kan verklaren, waar we een effect van ~ 1.5 °C hebben in de gedownscalede CLUHI kaart, overeenkomstig met wat gemeten was.

Het is duidelijk dat nu een verdere studie van deze downscaling opportuun is. Biedt de verhoging van de ruimtelijke resolutie en de inbreng van additionele geografische databronnen een meerwaarde voor validatie, rekening houdende met het feit dat de originele CLUHI kaart op 250 m toch reeds 80 % van de ruimtelijke variabiliteit verklaart ? Dit kan duidelijk het onderwerp zijn van verdere studie.

HOOFDSTUK 5. DETECTIE VAN DE OORZAKEN

Karel Van den Berghe, Luuk Boelens – UGent/AMRP

In dit hoofdstuk zullen we de oorzaken van het stedelijk warmte eiland in Gent in meer detail bespreken. We trachten met name de oorzaken te achterhalen waarom het UHI speelt in stad Gent. De verschillende eigenschappen van het stedelijk weefsel worden daarom in relatie gebracht met de optredende oppervlakte- en luchttemperaturen. De te verklaren variabelen zijn deze temperaturen. Via een multivariabele regressie kan nagegaan worden wat de invloed is van de verschillende onafhankelijke variabelen op de verschillende temperatuurwaarden. Deze techniek wordt meestal gebruikt om het onderzoek naar UHI te voeren (Arnfield, 2003). De gevonden gewichten (β) zeggen ons hoeveel een daling of stijging van een bepaalde variabele, indien de overige gewichten constant blijven, zich vertaalt naar een verandering in luchttemperatuur. Indien een bepaalde stijging of daling van een variabele x een grote verandering meebrengt in de SUHI of CLUHI waarde, betekent dit dat deze variabele x een grote invloed heeft. In de formule zou deze variabele dan ook een groot positief of negatief gewicht krijgen, rekening houdend met de gebruikte eenheid. Een multivariabele regressie formule is:

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

waarbij Y de verschillende afhankelijke SUHI of CLUHI datasets zijn op een bepaald moment en x_i de verschillende onafhankelijke variabelen zijn.

De beschikbare SUHI kaarten zijn opgemaakt op 90m op 90m resolutie, de geproduceerde CLUHI kaarten werden opgemaakt op een grid-resolutie van 250m op 250m. De verschillende regressies zullen uitgevoerd worden op zowel de SUHI kaarten als op de CLUHI kaarten, telkens de variabelen aangepast aan hetzelfde grid (zowel resolutie als positie) van de afhankelijke variabele.

Het opstellen van de verschillende variabelen gebeurde via ESRI ArcGIS v10. De statistische analyses met IBM SPSS Statistics 21. Samenvattend zijn deze onafhankelijke variabelen gebruikt:

Tabel 18 : Onafhankelijke variabelen van het regressiemodel.

<i>Variabele</i>	<i>Gebruikte data</i>	<i>Datum</i>
Sky View Factor (%)	Vito	2012
Fractie vegetatie (%)	NDVI-beeld	16/07/2006
Afstand tot water (m)	Wateroppervlaktes Gent	2011
Fractie water (%)	Wateroppervlaktes Gent	2011
Fractie verharding (%)	GRB; Wegsegmenten	2011; 2011
Materialiteit openbare ruimte (% asfalt, beton)	Wegsegmenten, materialiteit	2011

In dit hoofdstuk worden eerst alle verschillende variabelen besproken. Daarna volgen de regressies uitgevoerd voor het grondgebied van Gent en wat deze, in de mogelijkheid die dit onderzoek biedt, ons leren. Dit deel wordt afgesloten met een conclusie waarin getoond wordt welke variabelen er nu welke invloed hebben. Na dit deel wordt er in detail even ingezoomd op enkele casegebieden in Gent. Hiermee wordt enerzijds gekeken of de resultaten over het gehele grondgebied ook op een kleiner schaalniveau gelden en anderzijds deels ook om de variabelen meer vatbaar en meer verklaarbaar te maken.

5.1. DE ONAFHANKELIJKE VARIABLEN

Er is geen duidelijke set van variabelen die gebruikt moeten worden om urbane morfologie en klimatologie te bestuderen (Giridharan, Lau, Ganesan, & Givoni, 2007). Echter sinds Oke (1982) als eerste het UHI trachtte te bestuderen, maken onderzoekers meestal gebruik van een gelijkaardige selectie van onafhankelijke variabelen om de temperatuurvariaties te verklaren. Doordat het UHI voornamelijk optreedt in stedelijke omgevingen, worden deze variabelen gebruikt om de verschillende stedelijke weefsels binnen een stad te beschrijven (Arnfield, 2003).

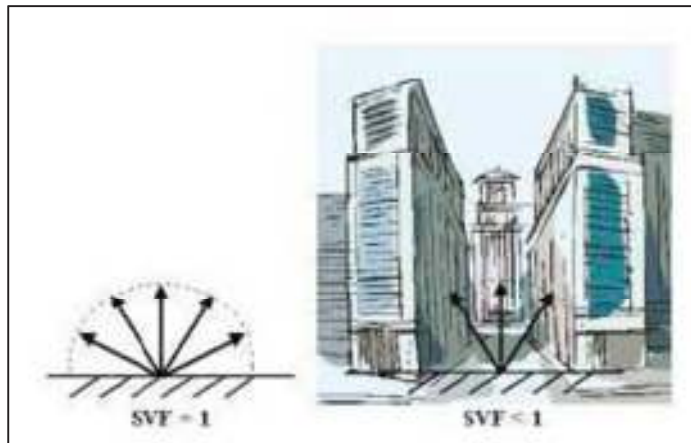
Gent bestaat uit verschillende stadswijken elk met een voor de inwoners gekende naam. Dit onderzoek bestudeert deze delen en gebruikt ook regelmatig de verschillende benamingen



Figuur 133 : De wijken van Gent (Bron: AMRP, UGent)

5.1.1. DE SKY VIEW FACTOR

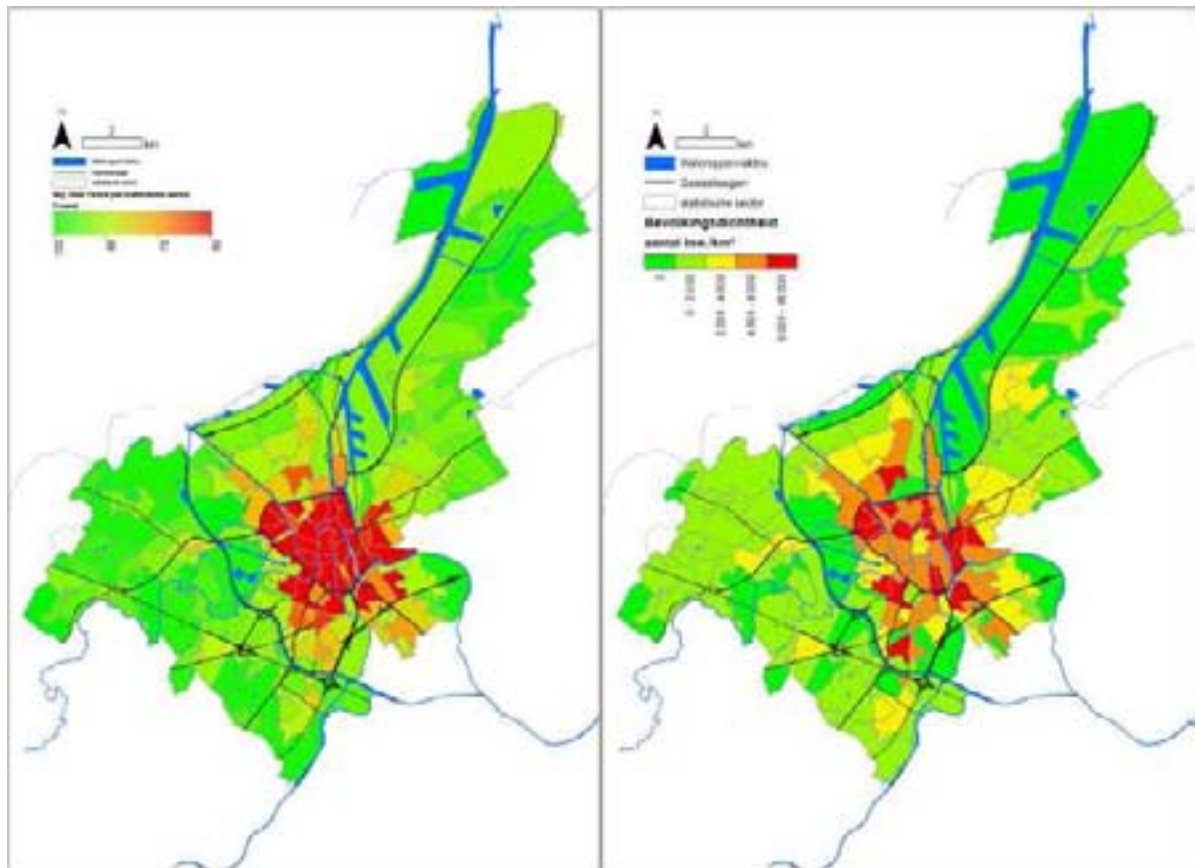
Volgens Oke (1982) is een belangrijke parameter die het SHE beïnvloedt de openheid van het stedelijk weefsel, aangeduid als de Sky View Factor (SVF) (waarden tussen 0 en 1, verschaald naar 0-100% in het regressiemodel) (Oke, 1982). De SVF-waarde hangt af van hoe goed op een bepaalde plaats de hemel zichtbaar is. Hoe lager de SVF-waarde, hoe minder de hemel dus kan gezien worden. Smalle straten met hoge gebouwen hebben dan ook lage SVF-waarden (zie Figuur 134)



Figuur 134 :De sky view factor (Bron: Oke, 1982)

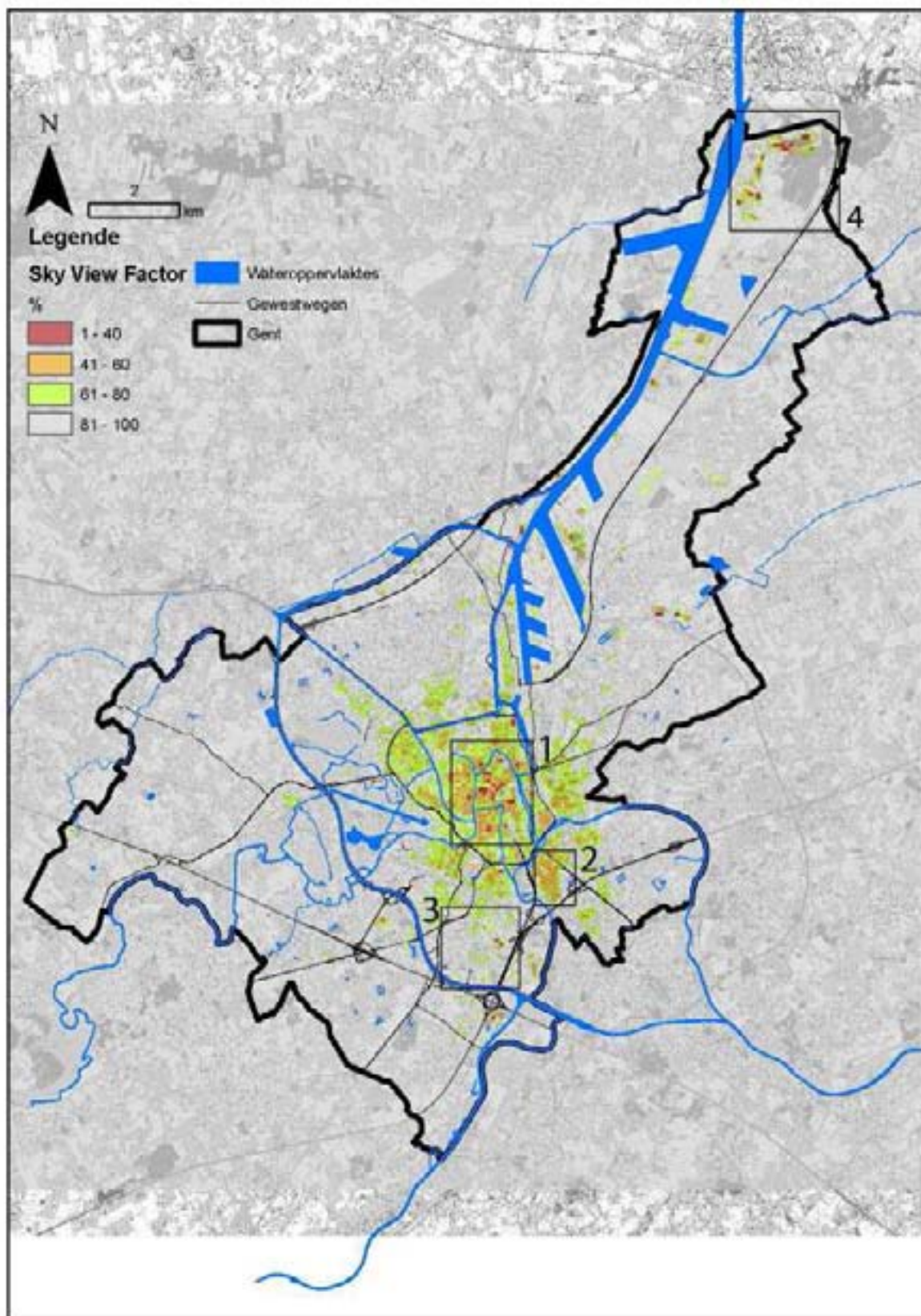
In de verdere analyse werd niet gekozen om de antropogene warmte mee te nemen als verklarende variabele omdat dit te weinig duidelijke resultaten opleverde. De SVF in stedelijke omgevingen is echter volgens Giridharan, Ganesan, and Lau (2004) een relatief goede proxy voor de bewoningsdichtheid waardoor deze SVF-waarden ook een deel van deze antropogene warmte verklaren. Hoe hoger en dichter woningen bij elkaar staan, hoe meer mensen er wonen. Deze aanname is niet altijd volledig juist, maar wel tot op een aanvaardbaar niveau. Een vergelijking tussen het aantal personen per statistische sector en de wijken met een relatief hogere SVF, bevestigden grotendeels de onderlinge relatie voor Gent (Figuur 135).

Waar men het minst de hemel kan zien, dit is rondom het centrum van de stad en de dichte stadswijken, liggen ook de hoogste inwonersaantallen per km². De gebieden die van deze relatie iets afwijken zijn de gebieden in het geel gekleurd in het centrum van de stad (rechts op Figuur 135). Dit zijn de gebieden rondom onder andere het Belfort. De aanwezigheid van winkels en overige functies drukt deels de aanwezigheid van inwoners. Waar de relatie wel sterk is, zijn de wijken Brugse Poort-Rooigem en Ledeborg.



Figuur 135 : De overeenkomst tussen de Sky View Factor (links, vergelijk met Figuur 120) en het aantal inwoners per km² per statistische sector voor Gent (rechts) .

Op onderstaande figuur is de SVF te zien voor het grondgebied Gent per gridcel van 90m resolutie (Figuur 136). Hoe meer men zich richting stad verplaatst, hoe minder dit wordt, wat duidelijk te zien is op de kaart (gebied 1). In het stadscentrum is het minimum te vinden in de Biezekapelstraat. Op die plaats is de hemel slecht voor 28 procent (0,28) zichtbaar. Van de dense stadswijken, valt vooral Ledeberg op (gebied 2). Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld een stadswijk als Nieuw Gent (gebied 3). De typologie daar bestaat voornamelijk uit hoge woonblokken met veel ruimte tussenin. Lage SVF-waarden zijn daar afwezig. De laagste SVF in Gent is echter niet in de stad zelf te vinden, maar helemaal in het noorden. Op het ArcelorMittal-terrein is er een bepaalde plaats waar men slecht voor 20 procent de hemel kan zien (gebied 4).



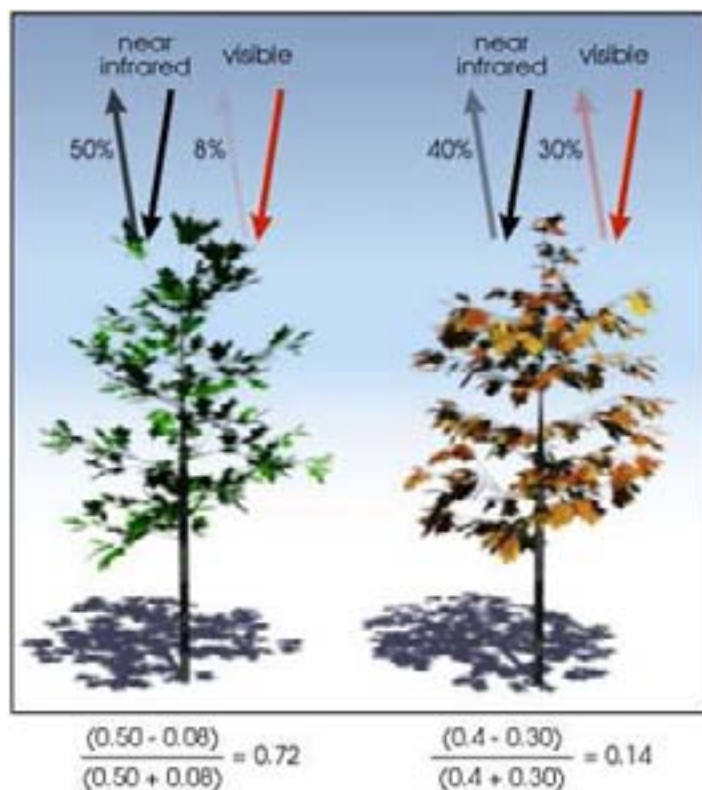
Figuur 136 : Sky View Factor voor stad Gent op 90m grid-resolutie. Idem als Figuur 120.

5.1.2. DE FRACTIE VEGETATIE

Volgens Yuan and Bauer (2007) is de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) als basis om de fractie vegetatie mee te nemen een goede benadering om de relatie tussen groengebieden en het UHI te onderzoeken. De NDVI is een maat voor het aandeel biomassa in een pixel en is een objectieve satellietwaarneming. Deze wordt berekend volgens deze formule:

$$NDVI = (NIR - VIS)/(NIR + VIS)$$

waarbij NIR staat voor Near InfraRed (nabij infrarood) en VIS voor Visible red (zichtbare rood) (Bron: NASA (2013)). De meting gaat als volgt:

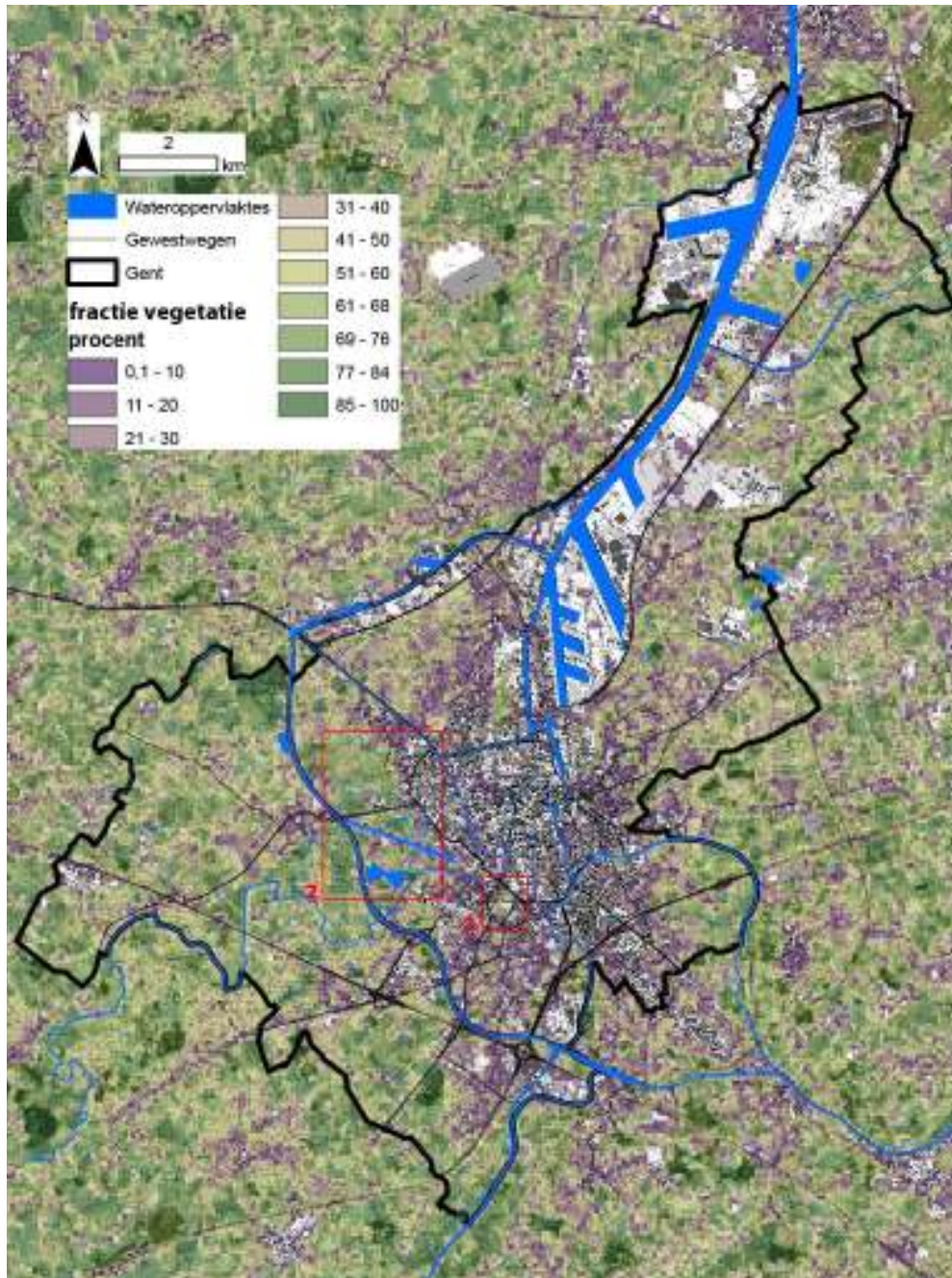


Figuur 137 : De meting van NDVI aan de hand van het nabije infrarood (near infrared) en het zichtbare rood (visible) op een boom tijdens de lente en herfst (Bron: (NASA, 2013)).

NDVI waarden kunnen theoretisch een waarde aannemen tussen -1 en 1. Water heeft een negatieve waarde. Lage positieve waarden tussen 0 tot ongeveer 0,1 verwijzen naar een kale, zoals rotsachtige of zandachtige, bodembedekking. De waarden vanaf 0,1 zijn waarden waar er vegetatie voorkomt. De eerste vegetatietypes zijn grastypes. Hoe hoger de waarden daarna worden, hoe dener de vegetatie wordt. De hoogste waarden bevinden zich rond 0,8 en zijn typische bosgebieden (Yuan & Bauer, 2007).

In vorige hoofdstukken werd reeds de gebruikte NDVI data beschreven, hier maken we gebruik van een zomerbeeld verkregen voor 16 juli 2006. Om alleen vegetatie mee te nemen, werd het NDVI

beeld beperkt tot waarden tussen 0,15 (aanwezigheid van aanzienlijk wat vegetatie zoals gras) en 0,8 (de maximum waarden op het beeld). Deze werden vervolgens verschaald tussen 0 en 100 procent, waardoor een kaart verkregen werd die per pixel aantoonde wat de fractie vegetatie is (Figuur 138).

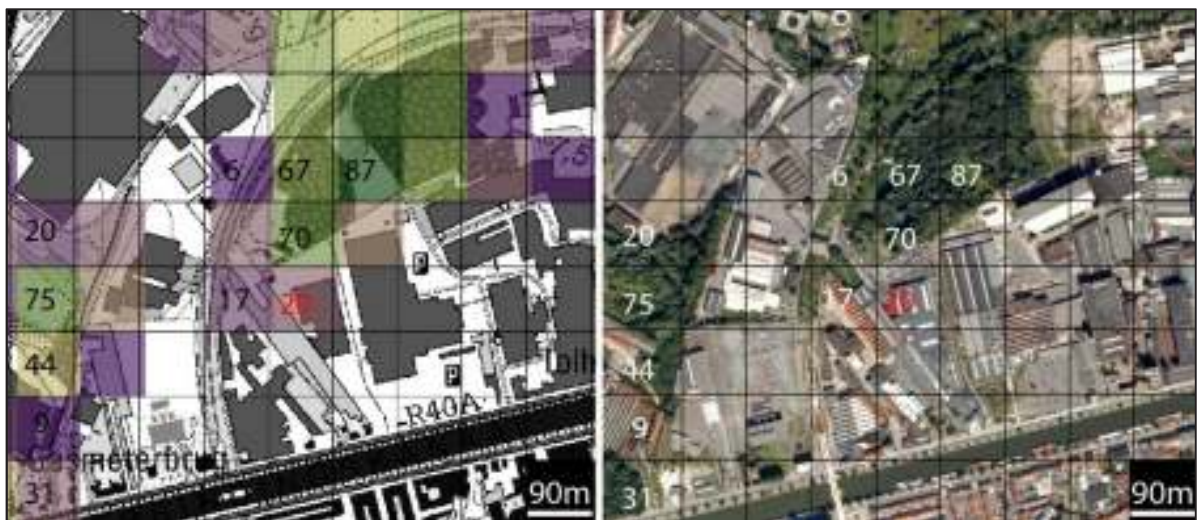


Figuur 138 : De fractie vegetatie per gridcel van 90m voor Gent. Zichtbaar zijn de haven en het centrum van Gent met zijn dense stadswijken die niet ingekleurd zijn. Hier is dus geen voldoende vegetatie terug te vinden, merkbaar op deze resolutie.

Omdat in dit onderzoek gewerkt wordt per 90m resolutie, kwam soms voor dat sommige groene delen niet meer zichtbaar werden. Een enkele boom in een tuin is bijvoorbeeld niet detecteerbaar doordat het gemiddelde van die cel niet boven de ondergrens komt. In Gent zelf is onder andere

niet de volledige Coupure, een waterloop afgezoomd door groene grasoevers en een bomenrij, hierdoor zichtbaar, te wijten doordat niet op alle plaatsen er voldoende groen rondom de Coupure in een bepaalde cel van 90m op 90m geconcentreerd lag. Algemeen gezien voor het grondgebied Gent, zorgden, in het opzet van dit onderzoek, de vegetatiedelen die niet zichtbaar waren echter niet voor grote fouten. De verwachte grote patronen waren duidelijk zichtbaar. Uitspraken op basis van de fractie vegetatie zijn dus steeds enkel geldig op 'grootschalige' vegetatie. Kleine groenelementen, zoals bijvoorbeeld een boom in een straat, zijn in dit onderzoek niet detecteerbaar en worden dus niet verder behandeld.

De fractie vegetatie toont waarden tussen 0 en 100 procent. Deze schaal is echter niet op eenzelfde manier te interpreteren zoals de aanwezigheid van bijvoorbeeld asfalt in een bepaalde pixel. Zo is een verschil tussen bijvoorbeeld 20 en 40 procent niet simpel een verdubbeling van de vegetatie, zoals een stijging van 1m² naar 2m² gras. Een boom op een oppervlakte van 1m² heeft bijvoorbeeld meer biomassa dan 1m² gras. Om duidelijk te maken wat deze waarden betekenen is hieronder een voorbeeld getoond rondom de Gasmeterlaan juist ten noorden van het stadscentrum waarop verschillende fracties vegetatie aangeduid zijn (Figuur 139).



Figuur 139 : Links is de fractie vegetatie te zien juist ten noorden van de Gasmeterlaan op 90m resolutie, rechts op dezelfde locatie een luchtfoto (Bron: Google Maps, 2013).

Zoals op bovenstaande figuur te zien is duidelijk dat voor het overgrote deel van dit beeld niet voldoende vegetatie in een pixel aanwezig is om opgemerkt te worden en dus niet ingekleurd is. Zo ziet men rechts wel bomen rondom het water staan, maar wegen deze te weinig door om op 90m resolutie een voldoende vegetatie te tonen op het linker beeld. De wel ingekleurde delen zijn in dit beeld zeer verschillend. De hoogste waarden (87 procent) zijn te vinden in het gebied dat volledig uit vegetatie bestaat die relatief hoog en dens is. De randen hiervan, die al per gridcel gemengd zijn met bebouwing, hebben vanzelfsprekend lagere waarden. Zo zien we bijvoorbeeld dat een waarde van 6 procent zeer laag is. Deze gridcel heeft dus veel bebouwing, maar nog net genoeg vegetatie om een gemiddelde te halen boven de 0 procent.

Om dit nog even te duiden, is op onderstaande beelden te zien hoe deze vegetatie er nu uitziet (Figuur 140).



Figuur 140 : Beeld op ooghoogte en oblieke luchtfoto van de Wondelgemse Meersen (bron: Google Street View en Bing Maps Birds eye view). Duidelijk is de relatief dichte begroeiing van het gebied.

De positie van de camera op het linkse beeld bevindt zich tussen de cellen met 6 en 17 procent op Figuur 139. Vanuit dit punt kijkt men op het begin van de Wondelgemse meersen, dus richting de cel met 67 procent. Duidelijk is dat de vegetatie relatief dens is. Op het rechtse beeld is een obliek zicht op dit groene gebied te zien. De hoogste waarden van 87 procent zijn gelegen rondom een open groene plaats. Dit is op zich ietwat vreemd omdat ten westen hiervan er geen open plaats is en er dus een hogere graad van vegetatie is. De niet vertaling hiervan in procenten is echter te verklaren doordat op Figuur 139 te zien is dat de gridcel waar een waarde met 67 procent vegetatie is, niet alleen vegetatie maar ook een deel spoorwegen meeneemt, waardoor dit gemiddelde naar beneden getrokken wordt. Niettegenstaande is duidelijk dat hoe meer hoge en dense vegetatie en hoe minder verharde oppervlakte in een cel van 90m is, hoe hoger de percentages zijn.

Wel opvallend op Figuur 139 is dat de celgrid met 20 procent (links beeld) helemaal geen vegetatie bevat vandaag (rechts beeld). Mede aan de hand van Google Earth, kan men terugkeren in de tijd en kijken wat er veranderd is. Zoals eerder gezegd is het NDVI beeld waarop het percentage vegetatie gebaseerd is, gedateerd op 2006. Ergens tussen dit beeld en vandaag is er een parking aangelegd op deze cel. Hiervoor was er een relatief groene omgeving, wat het hogere percentage aan vegetatie verklaart. Onderstaand beeld in vergelijking met het rechtse beeld op Figuur 139 toont dit mooi aan (Figuur 141).

Dit voorbeeld toont aan wat een verandering van een relatief weinig groen gebied naar een volledig verhard gebied teweeg brengt. Mocht vandaag er een NDVI beeld genomen worden, dan zou deze parking hoogst waarschijnlijk niet zichtbaar zijn. Omgezet naar de fractie vegetatie zou dit een daling van 20 procent betekenen. Dat dit grote gevolgen heeft voor de optredende temperaturen zal later blijken uit de regressies.



Figuur 141 : In 2006 was er nog een groen gedeelte op dit beeld. Tegenwoordig ligt er hier een verharde parking (rood kader) (Bron: Google Earth, 2013).



Figuur 142 : Fractie vegetatie en luchtfoto van het Citadelpark, het zwembad Strop met zijn groene tuin en de waterloop de Muinckschelde (Bron: AMRP, UGent; Google Maps, 2013).

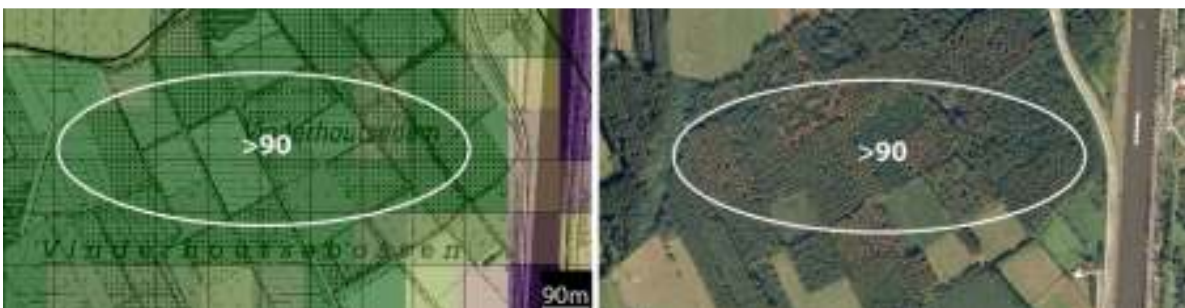
Op Figuur 142 is duidelijk dat het Citadelpark relatief hoge percentages fractie vegetatie bezit. Deze waarden zouden echter een stuk hoger kunnen liggen indien het park niet deels gefragmenteerd zou zijn. Centraal in het park bevindt zich namelijk het Internationaal Congrescentrum (ICC) en het SMAK-museum en daar ten oosten van het museum voor Schone Kunsten. Deze gebouwen liggen telkens wel deels in een cel van 90m grid, waardoor de percentages iets naar beneden getrokken worden. De laagste waarden vegetatie in dit voorbeeld zijn te vinden rondom het zwembad het Strop (fractie vegetatie tussen 1 en 7 procent). Dit zwembad heeft een groen parkje juist naast zich gelegen. De cel die het meeste van dit park omvat heeft een percentage van 7 procent. Dit groene park bestaat uit gras en enkele bomen, wat op zich niet veel vegetatie is, maar wel voldoende om juist boven de 0 procent grens te komen op resolutie van 90m. Verder ten noorden zien we dat rondom de waterloop de Muinckschelde er ook juist genoeg vegetatie is om zichtbaar te worden. De hoogste waarde is 18 procent. Dit is een stuk hoger dan hier ten noorden van met waarden van 1

en 2 procent. De verklaring hiervoor is de iets bredere oever met grasbegroeiing met aansluitend de bomenrij. Al deze vaststellingen zijn zichtbaar op onderstaand obliek beeld.



Figuur 143 : Obliek beeld op het Citadelpark, het Stropzwembad met zijn groene tuin en de bomenrij rondom de Muinkschelde (Bron: Bing Maps, 2013).

De hoogste percentages fractie vegetatie op het grondgebied van Gent zijn onder andere de Vinderhoutse bossen met waarden boven de 90 procent, gelegen juist ten oosten van de R4 waar de ringvaart vloeit in het kanaal Gent-Brugge. Dit gebied bestaat uit dense bebossing die in de toekomst een van de grote groenpolen moeten vormen rondom stad Gent (VLM, 2011). Dit dense gebied zal dus uitgebreid worden, bijgevolg dus ook de hogere percentages fractie vegetatie.



Figuur 144 : Fractie vegetatie en luchtfoto van de Vinderhoutse bossen die de hoogste percentage op grondgebied van Gent zijn.

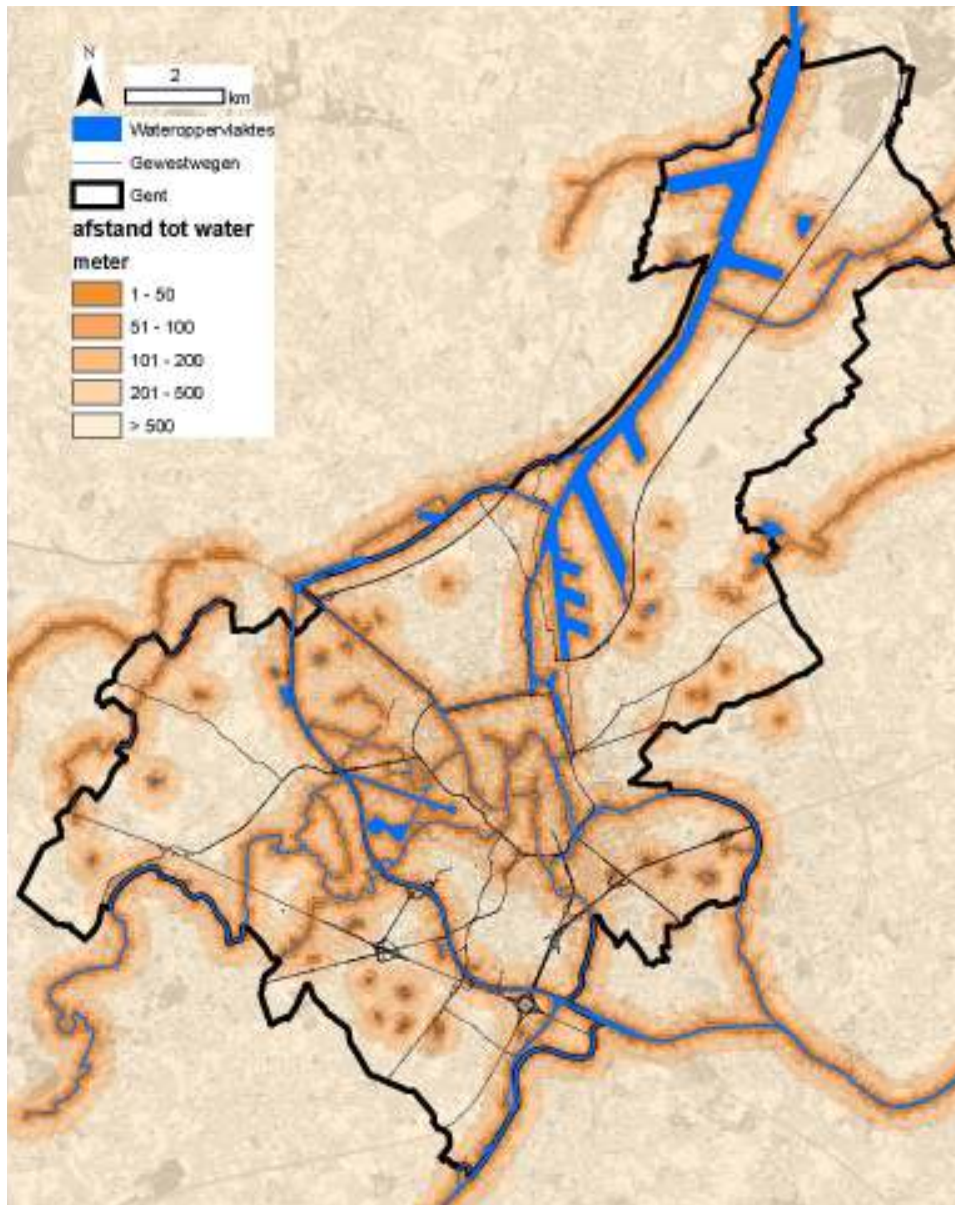
Samengevat over de verschillende percentages vegetatie in Gent kan geconcludeerd worden dat groenere gebieden detecteerbaar worden indien dit gebieden zijn die niet rechtlijnig zijn, maar naar een meer 'vierkante' vorm nijgen. Een bomenrij van oude en hoge bomen, zoals langs de Muinkschelde, is niet of bijna niet zichtbaar, maar bijvoorbeeld een grasveld dat wel relatief groot is, is dit wel, zoals het parkje naast het zwembad Strop, waar slechts enkele grote bomen staan.

Hoe meer de zone de gridcellen opvult en hoe hoger en denser de vegetatie wordt, hoe hoger de vegetatiepercentages. De hoogste waarden zijn dan ook te vinden waar er bossen liggen, zoals de Vinderhoutse bossen. De conclusies naar de fracties vegetatie uit dit onderzoek zijn dus enkel geldig voor grootschaligere groenstructuren. Over invloed van een enkele boom op het UHI kan dit onderzoek geen uitspraken doen.

5.1.3. NABIJHEID WATERLICHAMEN

Naast de dichtheid aan vegetatie kan de nabijheid van water een koelend effect hebben op de optredende temperatuurwaarden door uitwisseling via evaporatie (Coutts, Tapper, Beringer, Loughnan, & Demuzere, 2013). In dit onderzoek wordt daarom nagegaan hoe ver het potentieel afkoelend effect het rondom liggend stedelijk weefsel beïnvloedt (Figuur 145). Hier moet een kanttekening bij gemaakt worden. Doordat de metingen uitgevoerd zijn in augustus, betekent dit dat water reeds enkele maanden opgewarmd is en het koelend effect dus steeds verder afneemt. Het koelend effect van water zal in augustus daarom minder zijn dan in bijvoorbeeld de maand mei of juni wanneer het water nog maar net aan het opwarmen is en het verschil tussen water- en omgevingstemperatuur dus groter is.

Op onderliggende kaart is duidelijk dat wanneer men zich in het centrum van de stad bevindt, men zich altijd binnen de 200m afstand van een waterlichaam bevindt. Verder zuidwaarts vanaf onder andere de Blandijnberg waar de Schelde en Leie steeds verder van elkaar liggen, is duidelijk dat men zich steeds verder bevindt van water. De ringvaart die deze radialen doorkruist, zorgt ervoor dat daar de afstand tot water weer afneemt. Verder is te zien dat van de dense stadswijken vooral Sint-Amandsberg relatief ver ligt van waterlopen. Dit in tegenstelling tot de Brugse Poort die langs de Coupure ligt en Ledeborg die langs de Schelde ligt (Figuur 145).

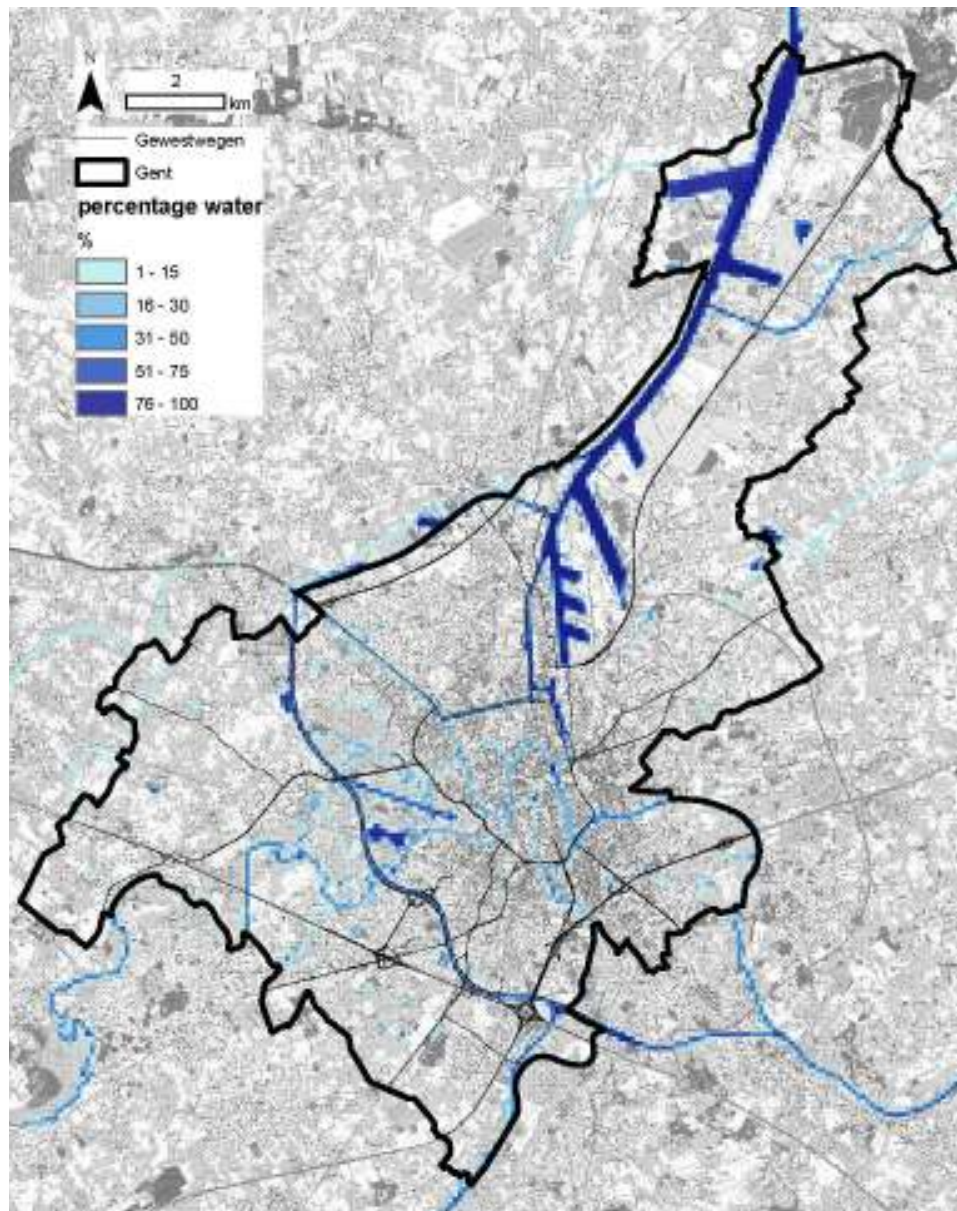


Figuur 145 : Afstand tot het dichtstbijzijnde waterlichaam (Euclidian Distance) in meter op 90m grid-resolutie. Gent kent veel waterlopen waardoor er in het centrum altijd wel relatief dicht een waterlichaam gelegen is. De hoogste concentratie aan waterlichamen is te vinden rondom de Watersportbaan en het recreatiegebied de Blaarmeersen

5.1.4. DE FRACIE WATER

De parameter fractie water toont hoeveel oppervlakte van de totale grid oppervlakte er uit water bestaat, dit uitgedrukt in procent. De aanwezigheid van water zal een grote invloed hebben op de optredende temperatuurwaarden door uitwisseling via evaporatie en afkoeling (Coutts et al., 2013). Ook hier moet de kanttekening gemaakt worden dat de regressie met deze parameter op de CLUHI kaarten waarschijnlijk minder invloed zal hebben doordat de modellering augustus waarden levert, wanneer het water in de stad relatief warmer is dan bijvoorbeeld aan het begin van de zomer. De SUHI kaarten zijn daarentegen beschikbaar over een grotere periode van het jaar waardoor de invloed op deze mogelijk groter zal zijn.

Duidelijk is dat in het centrum van de stad er veel waterlopen zijn, maar dat deze wel tot de smalste van alle waterlopen behoren. De grootste wateroppervlaktes zijn vanzelfsprekend te vinden in de haven waar er enkele gridcellen van 90m resolutie volledig bestaan uit water en dus de percentages van 100 bevatten als waarde (Figuur 146).



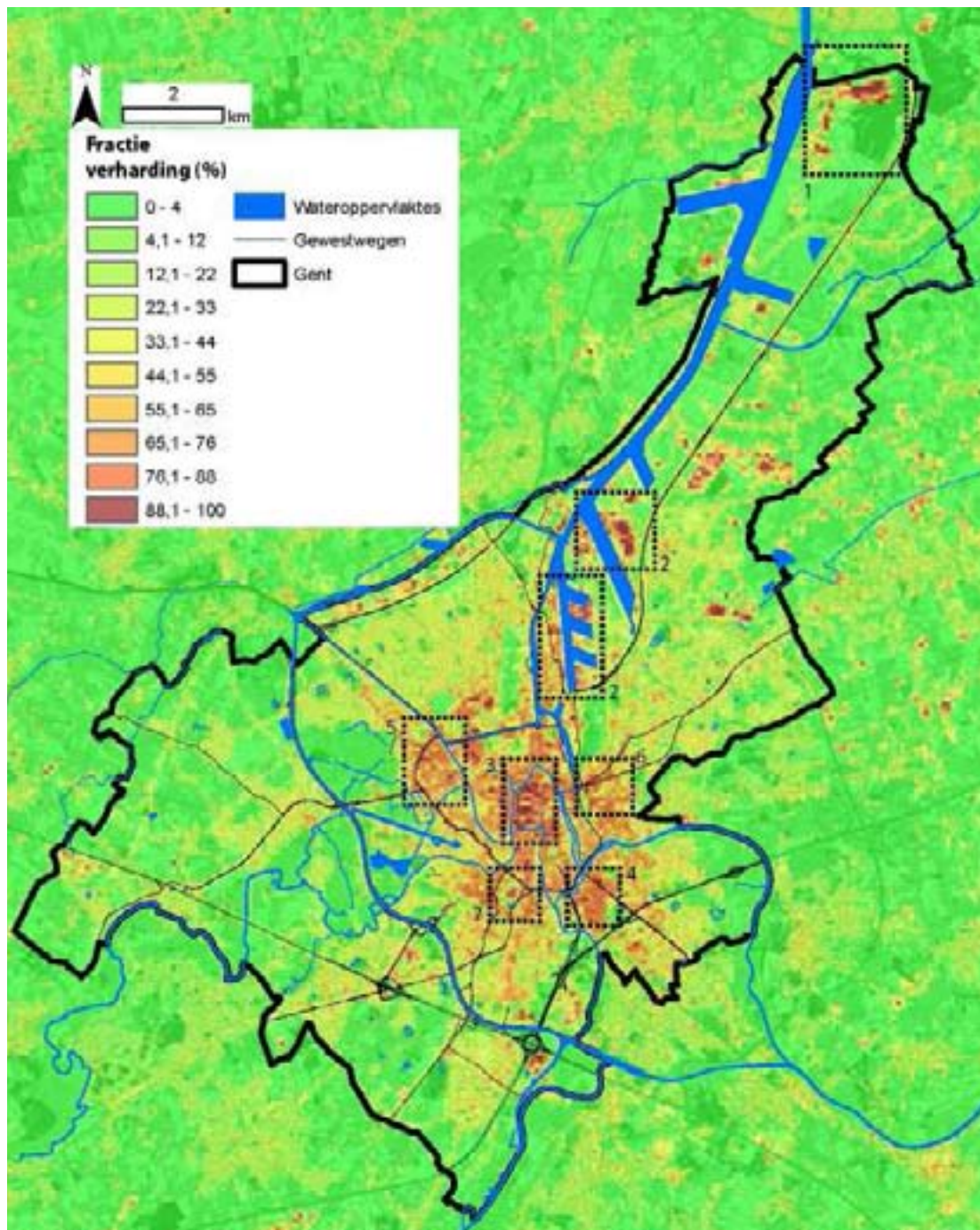
Figuur 146 : De fractie water in Gent uitgedrukt in procent op 90m grid-resolutie. Duidelijk is dat Gent veel waterlopen kent rondom zijn centrum, maar dat deze relatief smal zijn. Ook duidelijk zijn de grotere waterlopen zichtbaar als de Ringvaart, de watersportbaan en de haven in het noorden.

5.1.5. DE FRACTIE VERHARDING

De parameter fractie verharding is een variabele die toont hoe bedekt een bepaalde oppervlakte is, met andere woorden, hoeveel oppervlakte er ingenomen is door een gebouw, wegen, voetpaden, enz.. Een waarde van 100 procent betekent dat er op die bepaalde oppervlakte geen onverhard

deel is (Figuur 147). Om deze variabele te berekenen werd gebruik gemaakt van het kadaster uit 2011 dat toont waar er bebouwing is in combinatie met de shapefile Wegsegmenten (2011) die tonen waar er wegen, voetpaden, openbare pleinen, enz. liggen. Bepaalde private terreinen zijn echter niet toegevoegd in de shapefile, zoals bijvoorbeeld de parking van VolvoCars. Ook rond de verschillende dokken zijn niet alle verharde oppervlaktes inclusief. Algemeen gezien, zijn de fouten die hieruit voortvloeien beperkt, zeker op de schaal van het volledige grondgebied. In de havengebieden zelf, zijn de percentages verharding wel relatief accuraat doordat in deze gebieden ook relatief veel openbare terreinen liggen.

Onderstaande kaart toont deze variabele op 90m grid-resolutie. Vanzelfsprekend is te zien dat het stadscentrum hoge waarden heeft (gebied 3). Ook duidelijk zijn de dense stadswijken te zien zoals Ledeborg (gebied 4), de Brugse Poort (gebied 5) en Sint-Amandsberg (gebied 6). Een duidelijk minder verhard gebied is gebied 7 nabij het stadscentrum. Dit is het grootste stadspark van Gent, het Citadelpark. Op deze kaart is ook te zien dat in het park onder andere het Internationaal CongresCentrum (ICC) ligt, wat de bruinere kleur middenin verklaart. Verder is duidelijk dat rondom de havendokken grote verharde terreinen liggen (gebied 2). Als laatste valt het complex van ArcelorMittal ten noorden op. Opvallend is wel dat juist ten zuiden hiervan er een sterke grens is met een boscomplex. Dit verklaart de sterke bruine kleur juist naast de sterk groene kleur (gebied 1) (Figuur 147).



Figuur 147 : De fractie verharding op 90m grid-resolutie.

5.1.6. MATERIALITEIT VAN DE OPENBARE RUIMTE

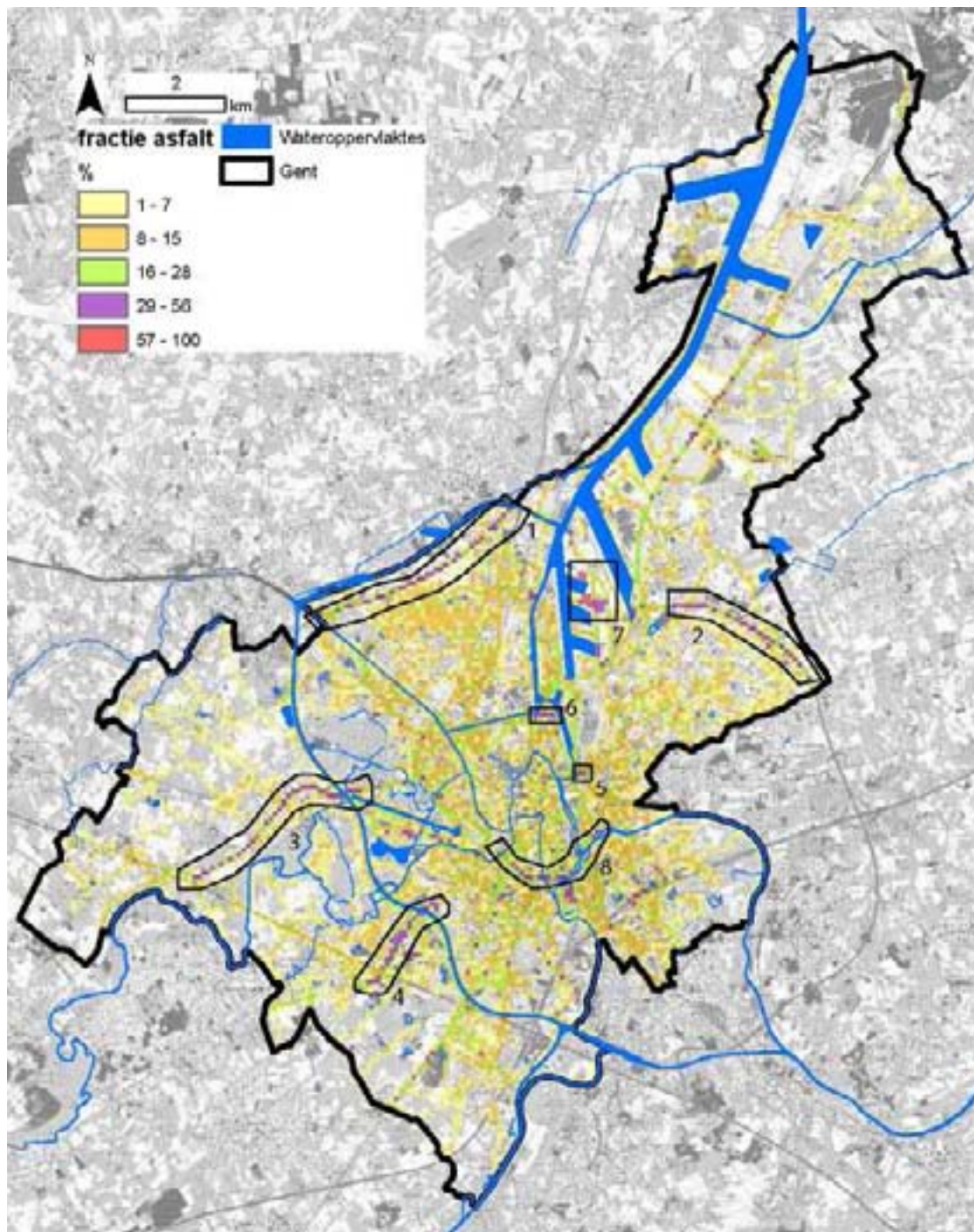
De openbare ruimte in Gent bestaat uit verschillende materialen. Elk heeft verschillende eigenschappen en dus een potentieel verschillende invloed op de optredende temperaturen. Stad Gent verdeelt deze materialen in 18 verschillende klassen (shapefile Wegsegmenten, 2011). De meeste onderzoeken die de materialiteit van openbare ruimte meenemen, maken slechts een onderscheid in asfalt of beton. Typisch voor een stad zoals Gent met zijn middeleeuws centrum, is het materiaal natuursteen. Om te kijken wat de invloed van deze is, werd daarom ook de klasse

natuursteen meegenomen. De selectie van lagen uit de materialiteit-shapefile wordt hieronder opgelijst :

- Asphalt : overlaging, KWS
- Beton : Ineengrijpende betonstenen, Sierverharding betonproduct, Betonstenen, Beton, Bedondallen, Betontegel
- Natuursteen : Natuursteen kasseien, Natuursteen mozaïk, Natuursteedallen, Natuursteen, Platiënen, Natuurstee tegels.

Stedelijke openbare ruimtes (pleinen, straten, ed.) zijn praktisch altijd horizontaal. Dit is natuurlijk evident, maar heeft wel als gevolg dat stedelijke open ruimtes maximaal de invallende zonnestraling opvangen. Het belangrijkste gevolg hiervan is de opwarming die hierdoor optreedt. Hoe sterk de opwarming van een bepaald materiaal als gevolg van de invallende zonnestraling is, hangt af van onder andere zijn albedowaarde. Albedo is gedefinieerd als de mate waarin een bepaald materiaal deze invallende zonnestraling reflecteert. Oppervlakten met een lage albedowaarde absorberen meer zonnestraling en worden daarom sneller warm dan oppervlakten met een hoge albedowaarde. Het verschil tussen de oppervlakte- van en de luchttemperatuur boven een bepaalde oppervlakte met een laag albedo kan oplopen tot een tiental graden (Rosenfeld et al., 1995). Het verschil in oppervlaktetemperatuur tussen het warmere (donkere) asfalt en de minder warme beton oppervlakten kan oplopen tot 32 °C (Killingsworth, Director, Lemay Sr, Peng Sr, & Director, 2011).

In dit onderzoek is het toekennen van karakteristieke albedowaarden aan de bovenvermelde klassen om daarna te gebruiken in de regressie niet gewenst. Door de gehanteerde resolutie (~100m) is het overigens niet de albedo van individuele materialen die belangrijk is, maar de effectieve albedo van het stedelijk weefsel. Hiervoor is de geometrie van het stedelijk weefsel van cruciaal belang. Door interne reflecties aan de verticale gebouwwanden kan zonnestraling bijvoorbeeld in diepe streetcanyons “verdwijnen”, waardoor het effectieve albedo van dat stuk stedelijk weefsel lager zal liggen dan wat men puur op basis van de materialiteit zou verwachten.



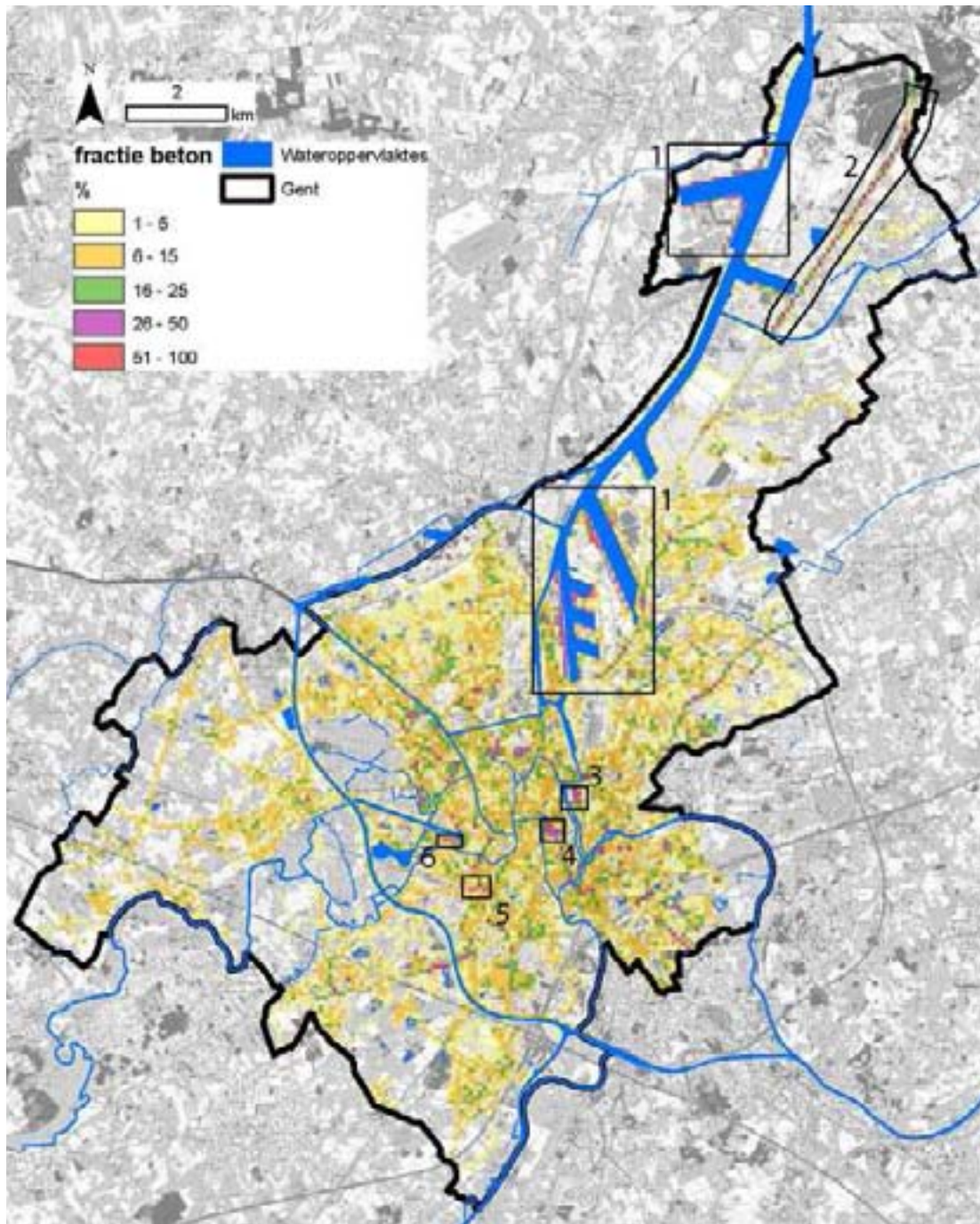
Figuur 148 : Percentage asfalt op 90m resolutie voor Gent.

De hoogste percentages asfalt zijn te vinden rondom de grotere wegen (Figuur 148). Zo valt duidelijk de R4 zelf (gebied 1 en 2) en ook waar deze relatief breed wordt (gebied 6) op. De Drongensesteenweg (gebied 3), de Adolph Pégoudlaan als centrale as van Flanders Expo (gebied 4) en de binnenring R40 (gebied 8) zijn zichtbaar. Als laatste is ook de Dampoort zelf zichtbaar (gebied 5).

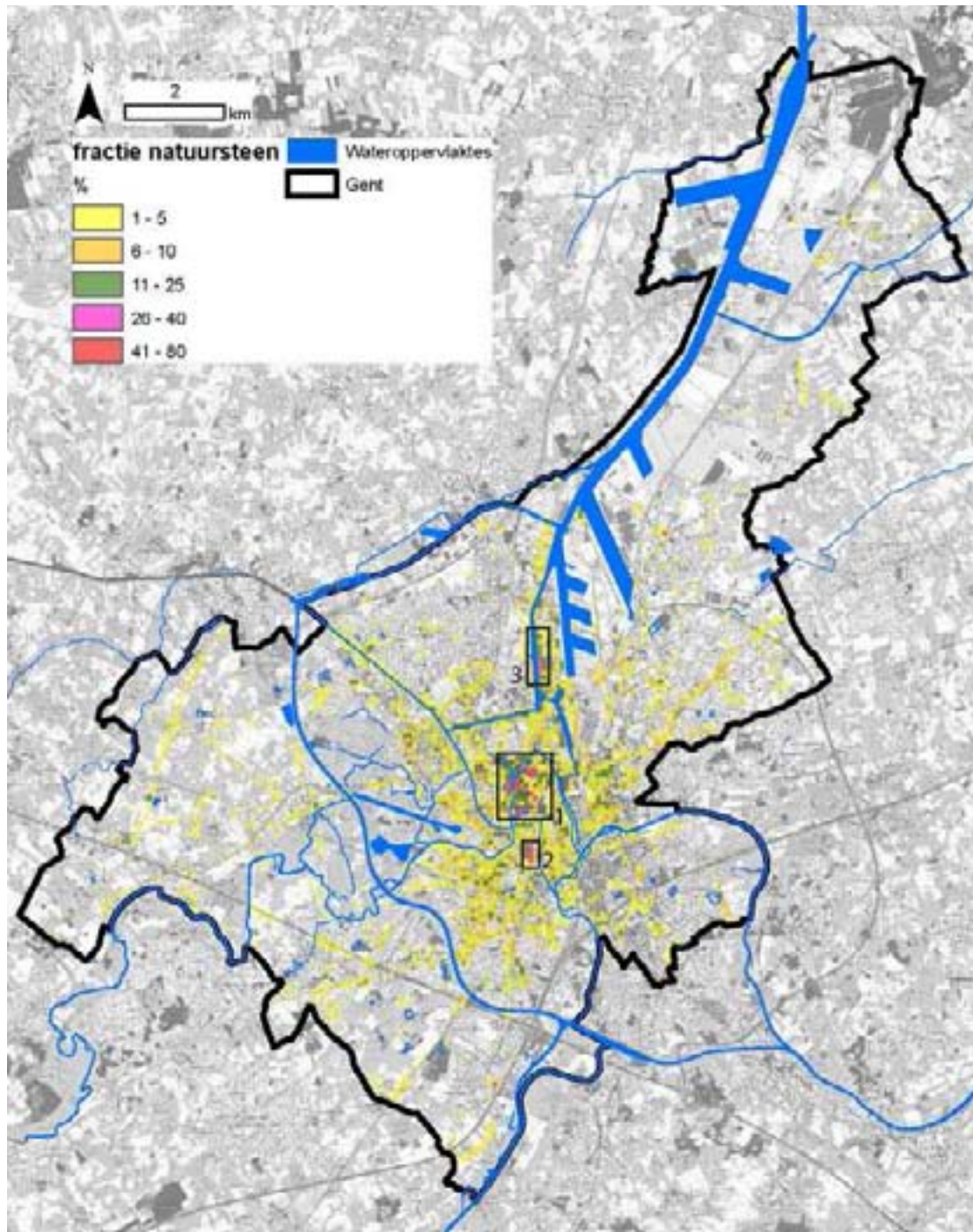
De volgende kaart (Figuur 149) toont de percentages beton per 90m grid resolutie. Op deze is te zien dat er ongeveer overal in Gent wel beton ligt. De echt grote oppervlaktes beton zien we

rondom de havendokken (gebieden 1). De R4 helemaal ten noordoosten van Gent bestaat ook voornamelijk uit beton. Dit deel was namelijk niet zichtbaar op de vorige asfaltkaart (gebied 2). Verder in de stad zelf zijn er relatief weinig heel grote concentraties beton. Er is meer een uitgesmeerd patroon. De grootste concentraties beton op de resolutie van 90m grid zijn terug te vinden in het Sint-Baafsdorp (gebied 3), waar het centrale plein uit beton bestaat. Gebied 4 is het noordelijke einde van het Albertpark, dus de omgeving van het Woodrow Wilsonplein die op dit moment een groot betonnen plein is. In het zuidwesten van de stad is de omgeving aan de voorkant van het station Gent-Sint-Pieters een duidelijke betonomgeving (gebied 5) en ook de parking tussen de hoge appartementsgebouwen aan de zuidkant van de watersportbaan in de CIAM-wijk zijn zichtbaar (gebied 6).

Op de laatste kaart (Figuur 150) die de percentages aanwezig natuursteen toont op 90m grid resolutie, valt vooral het centrum op (gebied 1). De openbare ruimte van het historische centrum van Gent bestaat dan ook voor grote delen uit natuursteenmaterialen. Iets ten zuiden hiervan is een duidelijk gebied met een hogere concentratie natuursteen merkbaar (gebied 2). Dit is het Sint-Pietersplein dat behalve de straat die erlangs loopt grotendeels bestaat uit natuursteen. Centraal tussen de voorhaven en het Grootdok is duidelijk ook een hoger percentage natuursteen merkbaar (gebied 3). Dit is juist ten westen van de woonwijk Muide rondom de oude loodsen. De ondergrond daar is grotendeels aangelegd met kasseien.



Figuur 149 : Percentage beton voor Gent op 90m resolutie.



Figuur 150 : Percentage natuursteen in Gent op 90m resolutie .

5.2. RESULTATEN

Aan de hand van de multivariabele regressietechniek werd achterhaald welke invloed de verschillende onafhankelijke variabelen hebben op de SUHI en CLUHI waarden. Deze toont namelijk hoe een verandering van een bepaalde parameter een verandering in temperatuur veroorzaakt. Dit kan verkoelend of opwarmend zijn. Opgemerkt moet worden dat de SUHI volledig objectieve waarnemingen en de CLUHI gemodelleerde resultaten zijn. Dit heeft gevolgen voor de verschillende regressies. Verklaart men een model met parameters die ook deels gebruikt zijn in het opstellen van datzelfde model, dan versterkt men de verklarende factor kunstmatig. Toch staat dit niet in de weg hierover uitspraken te doen. Praktisch gezien zijn de CLUHI-modelleringen namelijk de beste benadering van de reële luchttemperaturen waarop dan een regressie kan uitgevoerd worden.

De regressiemodellen zijn:

$$CLUHI(250m) = \text{constante} + \beta(\text{Sky View Factor}_{250}) + \beta(\text{fractie verharding}_{250}) + \beta(\text{nabijheid water}_{250}) + \beta(\text{fractie vegetatie}_{250})$$

$$SUHI(90m) = \text{constante} + \beta(\text{Sky View Factor}_{90}) + \beta(\text{fractie verharding}_{90}) + \beta(\text{fractie vegetatie}_{90}) + \beta(\text{fractie water}_{90})$$

In bovenstaande formules is ten eerste te zien dat bij de regressies op de CLUHI kaarten op 250m grid-resolutie de variabele 'nabijheid water' meegenomen is en niet de variabele 'fractie water', en bij de regressie op de SUHI kaarten op 90m grid-resolutie het omgekeerde. Het heeft namelijk weinig zin om op een resolutie van 250m de waterlopen zelf te onderzoeken, deze zijn bijna niet detecteerbaar op deze schaal. Mochten rivieren wel een verkoeling teweeg brengen op de luchttemperatuur, dan kan dit wel zichtbaar zijn rondom de waterloop. Wanneer de oppervlaktetemperaturen onderzocht worden, dan heeft het geen zin om de nabijheid van water mee te nemen, maar nu wel de fractie water. Verwacht wordt dat waar de waterlopen liggen, de oppervlaktetemperatuur lager zal zijn.

Ten tweede worden de parameters materialiteit van de openbare ruimte (fractie asfalt, beton, natuursteen) niet weergegeven in bovenstaande regressiemodellen. Dit is omdat de invloed van materialiteit al grotendeels verklaard wordt door de parameter fractie verharding. Deze is namelijk opgebouwd uit enerzijds de gebouwen, maar ook uit de openbare ruimte. Om toch een relatie te vinden tussen de optredende oppervlaktetemperaturen en de materialiteit van de openbare ruimte, werden enkele extra regressies uitgevoerd.

Belangrijk bij multivariabele regressies is de determinatiecoëfficiënt R^2 . Deze waarde zegt ons hoe goed een bepaalde set van variabelen (zoals aanwezigheid water, Sky View Factor,...) samen de optredende temperaturen kan voorspellen. Anders gezegd betekent dit dat hoe hoger de R^2 -waarde is, hoe beter de gekozen set van variabelen die er in het regressiemodel zitten er in slagen bepaalde temperaturen te voorspellen die dicht aanleunen bij de temperaturen die er daadwerkelijk ook optreden.

Enkele CLUHI-datasets werden gedownscaled tot 90m grid. Deze zijn de CLUHI-kaarten om middernacht na 18 augustus, de warmste dag van de zomer 2012 en de gemiddelde CLUHI-kaarten om middernacht over de gehele maand augustus 2012. De parameters tot deze regressies zijn dezelfde als op de CLUHI op 250m, maar dan op 90m resolutie. De regressies op deze CLUHI-datasets zijn iets minder betrouwbaar dan deze op de 250m kaarten. Om tot op 90m te verfijnen zijn namelijk enkele parameters gebruikt die ook als verklaring dienen van de kaarten zelf, een

cirkelredenering dus. Niettegenstaande, geeft deze 90m kaart ons een meer interpreteerbaar beeld van de luchttemperaturen in de stad.

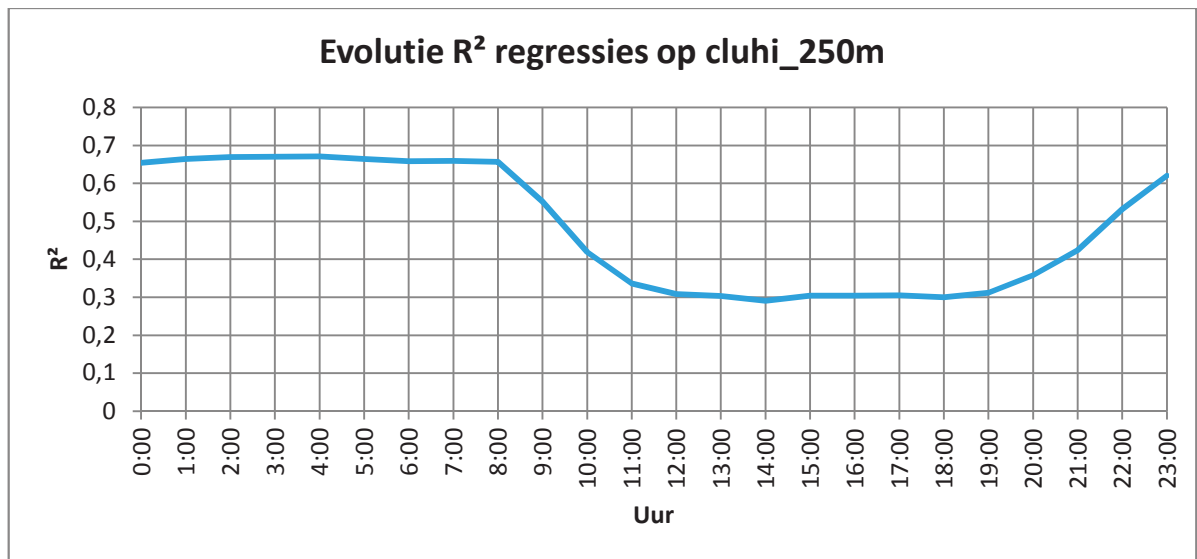
De verschillende variabelen die in het vorige deel besproken zijn, zijn telkens in rasterformaat opgesteld op 90 of 250m resolutie, naargelang in welke regressie ze gebruikt werden. De CLUHI en SUHI kaarten hebben telkens een grotere bedekking dan de oppervlakte van stad Gent. Wanneer echter bepaalde GISdata daarmee vergeleken worden, dan stuit men op het probleem dat de meeste GISdata stopt aan de administratieve grenzen van Gent. Dit brengt dus mee dat de CLUHI en SUHI data dus ook enkel van het gebied Gent mag geanalyseerd worden (Figuur 151)



Figuur 151 : De waardepunten uitgezet in elke gridcel geknipt op de oppervlakte van stad Gent.

5.2.1. REGRESSIE OP DE CLUHI_{250m} – KAARTEN

De regressies op de verschillende CLUHI kaarten per uur die de gemiddelde luchttemperatuur tonen over de gehele maand augustus tonen dat het regressiemodel met de hierboven vier vermelde variabelen het best de variatie voorspelt wanneer het CLUHI effect zich het sterkst voordoet. Het regressiemodel is dus ideaal na zonsondergang tot zonsopkomst. Volgende grafiek waar het veranderen van R^2 staat, toont dit :



Figuur 152 : Verandering R^2 van de regressies op de CLUHI kaarten 250m grid-resolutie per uur.

Bovenstaande grafiek toont dat het regressiemodel er 's nachts in slaagt bijna 70 procent van de in werkelijkheid optredende luchttemperaturen te voorspellen. Dit betekent dus dat er met relatief grote zekerheid kan gezegd worden wat de achterliggende oorzaak is voor de desbetreffende optredende nachtelijke luchttemperaturen.

Om de verschillende resultaten en de verschillende gewichten te bekijken werd een regressie gekozen om 14:00h (culminatiehoogte van de zon) met $R^2 = 0,291$ en om 23:00h (wanneer het UHI zich sterk voordoet) met $R^2 = 0,620$.

Tabel 19 : De gewichten per onafhankelijke variabele bij de regressies op Cluhi 14:00h en 23:00h. Opgelet, de gewichten bij 'afstand tot water' zijn per km, waardoor deze relatief hoog lijken. Alle gewichten zijn sterk significant (p -waarde ~ 0).

	Cluhi_14:00h_gem. augustus 2012 (°C)	Cluhi_23:00h_gem. augustus 2012 (°C)
constante	0,752	1,589
Sky View Factor (%)	-0,008	-0,006
Fractie verharding (%)	0,007	0,013
Afstand tot water (km)	0,21	0,05
Fractie vegetatie (%)	0,001	-0,009
R^2	0,291	0,620

Duidelijk is dat er grotendeels dezelfde trends zichtbaar zijn zowel overdag als 's nachts, maar dat de meeste verklaringswaarheid, naar de R^2 gekeken, in de regressieresultaten zit van 23:00u. De Sky View Factor heeft bij beide een verkoelend effect. Dit betekent dat hoe meer zichtbaar de hemel is op een bepaalde plaats, hoe sterker de luchttemperatuur afkoelt. In smallere straten, blijft dus de luchttemperatuur langer warm. Ook is duidelijk dat hoe meer de bodem bedekt is (de fractie verharding) hoe hoger de luchttemperatuur is en dit verwarmende effect speelt vooral 's

nachts. De parameters afstand tot water, die hier in km uitgedrukt zijn omdat er op 250m resolutie gewerkt wordt, tonen niet direct een invloed. De gewichten zijn groot, maar dit komt dus door de uitdrukking in kilometer. De gewichten zijn licht positief. Dit betekent dus dat hoe verder men zich van water bevindt, hoe warmer het wordt, al is dit relatief klein. Neem bijvoorbeeld het verschil tussen de afstanden 1 en 1000m (dus 0,001 en 1 km). Bij $0,001 \cdot 0,21$ ($= 0,00021$ °C) is er een verwaarloosbare opwarming merkbaar. Wanneer men zich op 1 km afstand bevindt, is deze opwarming 0,21 °C. Doordat men zich in het centrum van Gent bijna nergens boven de 500m afstand bevindt van een waterloop is deze parameter dus in deze regressies niet belangrijk. Opnieuw moet de opmerking gemaakt worden dat we hier te maken hebben met een modelering tijdens de maand augustus wanneer het water reeds enkele maanden opgewarmd is. Men kan dus verwachten dat hoe vroeger men in de lente- en zomerperiode de metingen zou doen, deze parameter wel in gewicht zou stijgen. Ten slotte zien we dat de fractie vegetatie wel een verschil toont tussen dag en nacht. Overdag heeft de aanwezigheid en dichtheid van vegetatie bijna geen invloed op de luchttemperatuur. 's Nachts daarentegen is het koelend effect merkbaar (-0,009). Dit lijkt weinig, maar als men in gedachte houdt dat een kleine toevoeging van meer dense vegetatie (bijvoorbeeld de omvorming van een grasplein naar enkele bomen) de percentages reeds snel zou doen stijgen en met dit gewicht dus snel een grotere verkoeling zou teweeg brengen.

5.2.2. REGRESSIE OP DE CLUHI_{90m} – KAARTEN

De downscaling van 250m naar 90m CLUHI gebeurde aan de hand van enkele onafhankelijke parameters die ook in het regressiemodel zitten. Dit betekent dat men minder mag vertrouwen op deze resultaten. Toch worden ze in dit rapport meegegeven omdat ze later in het onderzoek gebruikt worden bij het onderzoek naar de kwetsbaarheid. Dit in gedachten houdend, werd de regressie uitgevoerd om na te gaan of dezelfde trends merkbaar waren. De regressie op de gemiddelde luchttemperatuur om middernacht op 90m resolutie heeft een $R^2 = 0,534$. Dit is iets lager dan de $R^2=0,654$ op de gemiddelde luchttemperaturen om middernacht op 250m resolutie. De regressie op de luchttemperatuur om middernacht na de warmste dag van de zomer 2012 (na 18 augustus 2012) heeft een $R^2=0,410$. De regressieformules leverden deze gewichten op

Tabel 20 : De gewichten per onafhankelijke variabele bij de regressies op 90m grid-resolutie Cluhi 00:00h_gem en 00:00h_19.08.2012. Opgemerkt, de gewichten van de parameter 'afstand tot water' zijn klein doordat de parameter in meter is uitgedrukt. Alle gewichten zijn sterk significant (p-waarde ~ 0).

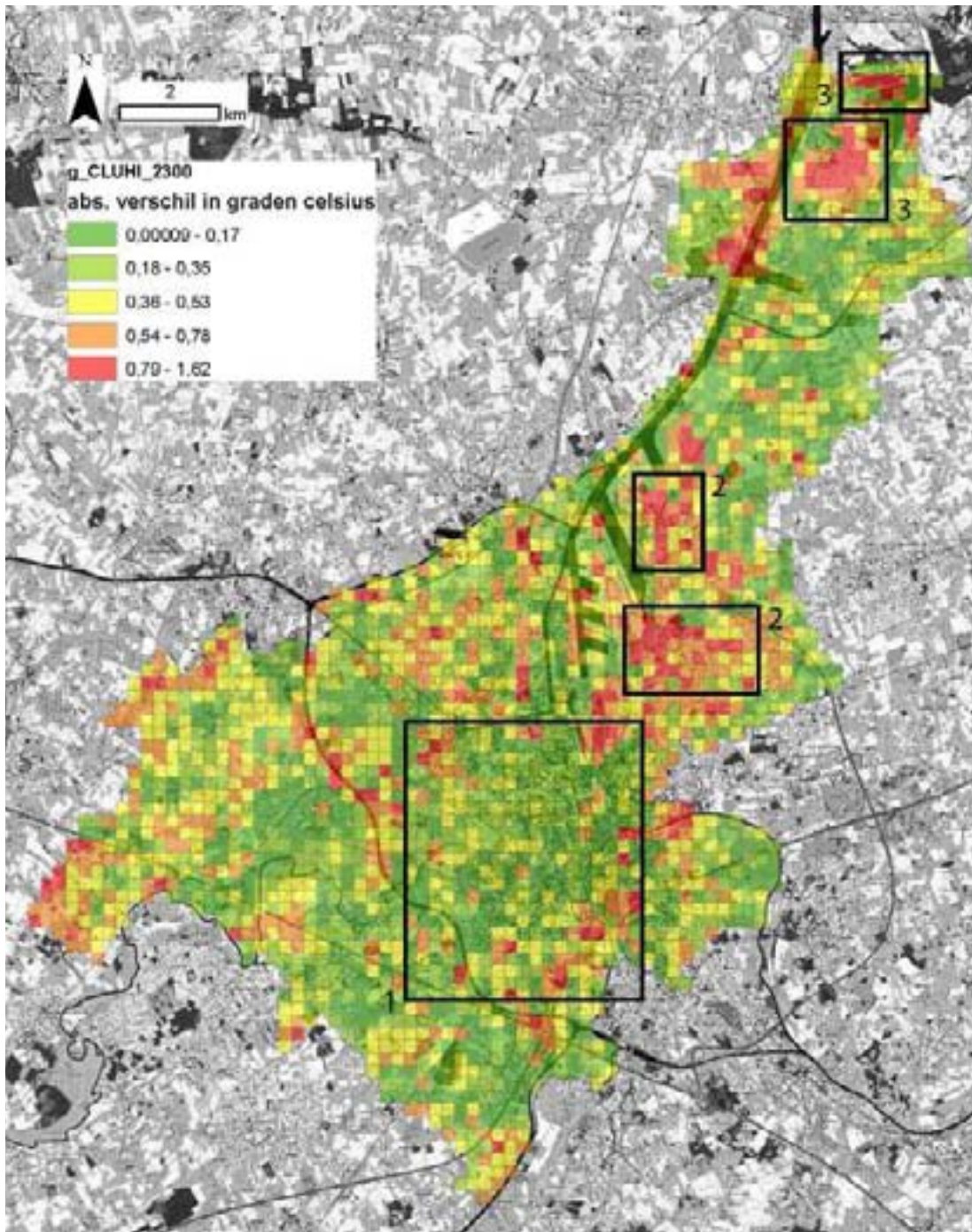
	Cluhi_00:00h_gem. augustus 2012 (°C)	Cluhi_00:00h_ 19.08.2012 (°C)
constante	1,379	3,645
Sky View Factor (%)	-0,001	-0,019
Fractie verharding (%)	0,013	0,015
Afstand tot water (m)	0,000058	0
Fractie vegetatie (%)	-0,007	-0,008
R^2	0,534	0,654

De bovenstaande gewichten tonen dezelfde trends als de regressies op de 250m CLUHI kaarten. Opnieuw heeft de Sky View Factor een verkoelend effect indien de hemel meer zichtbaar is. Hoe nauwer de straat, hoe warmer het blijft. Ook hier zien we dat hoe meer de bodem bedekt is, hoe warmer het is. In deze regressies werd de afstand tot water in meter uitgedrukt als gevolg van de kleinere grid-eenheid en duidelijk is dus zoals eerder gezegd, dat deze variabele weinig invloed heeft op de optredende luchttemperaturen. Als laatste zien we duidelijk dat de fractie vegetatie een relatief sterk koelend effect heeft. Zoals gezegd, stijgt de vegetatie-waarde zeer snel, waardoor een relatief kleine toevoeging van vegetatie al snel een verkoelend effect teweeg zal brengen.

5.2.3. EVALUATIE REGRESSIE ANALYSES CLUHI KAARTEN.

Zoals aangetoond slaagt het voorgestelde regressiemodel erin relatief veel van de optredende luchttemperaturen te verklaren. Wanneer het CLUHI-effect zich het sterkst voordoet, dus na zonsondergang en voor zonsopgang, kan het regressiemodel bijna 70 procent van de variatie voorspellen. De volgende interessante stap is na te gaan waar in Gent het regressiemodel goede en waar minder goede resultaten oplevert. Dit kan geweten worden door het regressiemodel de luchttemperaturen te laten voorspellen en daarna het verschil te nemen met de gemodelleerde luchttemperaturen. Om dit te illustreren is dit gebeurd voor de CLUHI kaart om 23:00u gemiddeld voor de maand augustus 2012 op 250m grid-resolutie (Figuur 153).

Opvallend op de kaart is dat het volledige centrum van Gent, inclus de Brugse Poort, Ledeborg en naar het zuiden toe tot aan de Sterre-Campus van de UGent, de voorspellingen zeer dicht bij de originele luchttemperatuurwaarden liggen (gebied 1). Dit betekent dus dat het gebruikte regressiemodel er goed in slaagt het CLUHI-effect te verklaren voor Gent. De hogere verschillen zijn te zien ten noordoosten hiervan gebieden 2 en gebieden 3). Deze gebieden zijn gesitueerd rondom de haven en ArcelorMittal. De reden waarom het regressiemodel hier iets meer in fout gaat, is tweeledig. Ten eerste zijn de Sky View Factor-waarden in deze gebieden zeer hoog. Havengebieden en buitengebieden in het algemeen, hebben namelijk vanzelfsprekend weinig smalle straten. Volgens het regressiemodel zou de luchttemperatuur daar dus lager moeten zijn, want hoe meer zichtbaar de hemel is, hoe lager de luchttemperatuur. Ten tweede bevat de shapefile Wegsegmenten geen private bedekte terreinen, zoals grote parkings. De waarden fractie verharding zijn dus te laag. Deze twee oorzaken samen, zorgen er dus voor dat de voorspelde luchttemperaturen in deze delen van Gent iets minder correct zijn.



Figuur 153 : De absolute verschillen in graden Celsius tussen de voorspelde luchttemperatuurwaarden via het gebruikte regressiemodel en de oorspronkelijk gemodelleerde luchttemperatuurwaarden voor Gent op 250m grid-resolutie. De grotere verschillen (gebieden 2 en 3) werden iets te laag voorspeld.

5.2.4. REGRESSIE OP DE $SUHI_{90m}$ – KAARTEN

In tegenstelling tot de CLUHI-kaarten, overspannen de SUHI-kaarten (de oppervlaktetemperaturen) een grotere tijdsperiode dan de maand augustus. Vanaf het begin van de lente tot aan de herfst zijn er op verschillende momenten SUHI-kaarten ter beschikking. Zoals ook verwacht, bleef het oppervlakte hitte-eiland het gehele jaar bestaan. Met andere woorden, de warmere plaatsen in de lenteperiode, waren ook deze in de zomerperiode. Het verschil is dat de intensiteit, waarmee het temperatuurverschil tussen stad en ommeland bedoeld wordt, enkel toeneemt met stijging van de algemene temperatuur. Het UHI is dus intenser in de zomer en zeker tijdens hittegolven (Van Weverberg et al., 2008).

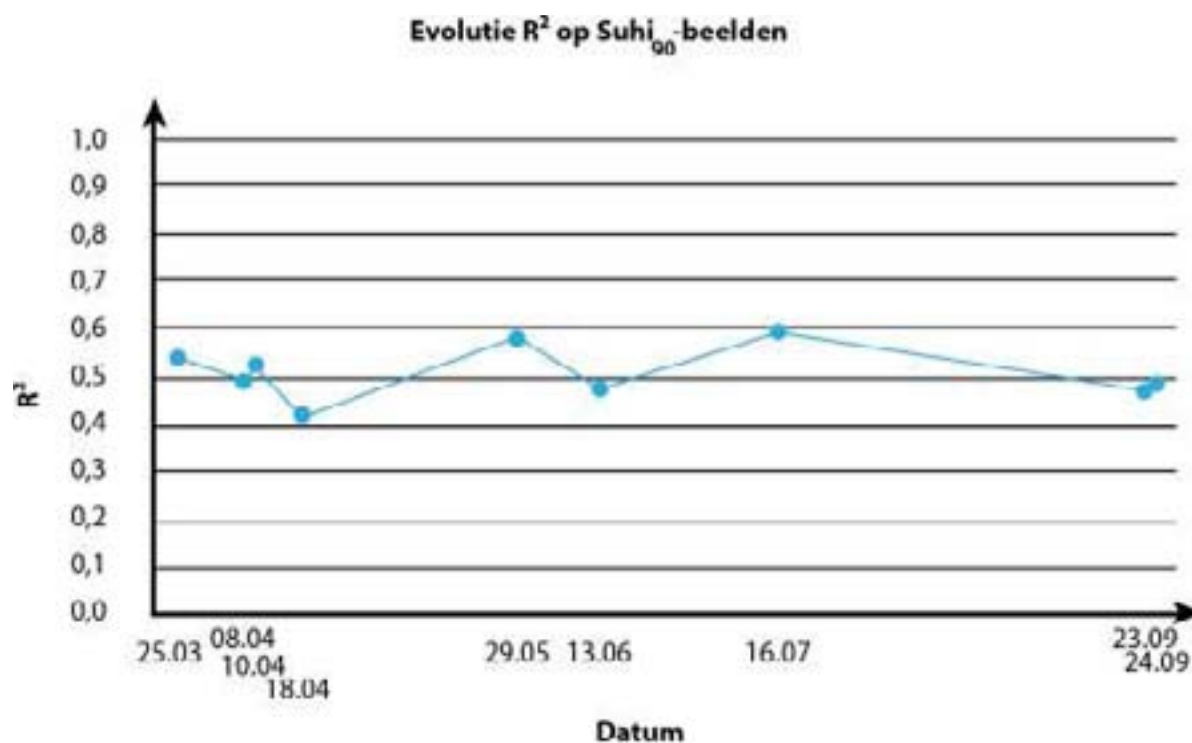
Op eenzelfde manier als op de luchttemperatuurkaarten, werd aan de hand van de multivariabele regressietechniek nagegaan op welke manier welke eigenschappen van het stedelijk weefsel in Gent het oppervlakte hitte-eiland beïnvloeden. Het regressiemodel is deze:

$$SUHI(90m) = \text{constante} + \beta(\text{Sky View Factor}_{90}) + \beta(\text{fractie verharding}_{90}) + \beta(\text{fractie vegetatie}_{90}) + \beta(\text{fractie water}_{90})$$

Het verschil met het regressiemodel op de luchttemperatuurwaarden, is enerzijds de 90m resolutie en anderzijds de variabele ‘fractie water’ in plaats van de variabele ‘afstand tot water’. Oppervlaktetemperaturen zijn nu eenmaal meer gebonden aan het oppervlakte op een bepaalde plaats, waar luchttemperatuur veel meer gemengd wordt. De nabijheid van water zal dus minder een rol spelen, maar wel de aanwezigheid van water.

Omdat het UHI overdag ongeveer het gehele jaar grotendeels constant blijft, weliswaar vanzelfsprekend met andere oppervlaktetemperatuurwaarden, is de hypothese dat het regressiemodel dat gebruikt wordt om deze temperatuurverschillen te verklaren grotendeels altijd eenzelfde R^2 zou moeten opleveren. Dit bleek ook grotendeels zo te zijn (Figuur 154).

De verschillende regressies leverden telkens een R^2 tussen de 0,5 en 0,6 op, slechts enkele malen daalde deze tot rond 0,409. Dit betekent dus dat het gebruikte regressiemodel, ongeveer 50 à 60 procent van de optredende oppervlaktetemperaturen ook daadwerkelijk relatief dicht aansluitend kan voorspellen.



Figuur 154 : De R^2 waarden voor de regressies op de SUHI-beelden. De beelden zijn doorheen het jaar, maar niet op absolute datum .

De gewichten die de regressies voor de verschillende onafhankelijke variabelen opleverden zijn in volgende tabel terug te vinden (Tabel 21)

Tabel 21 : De gewichten per onafhankelijke variabele bij de regressies op 90m grid-resolutie Suhi-kaarten .

	Datum Suhi-beeld									
	20110325	20020408	20110410	20030418	20030529	20060613	20030716	20050923	20020924	gemiddelde
constante	26 484	27 569	29 945	31 136	44 300	47 771	48 562	28 931	25 267	34,441
Sky View Factor (%)	-0.037	-0.042	-0.040	-0.019	-0.072	-0.042	-0.048	-0.017	-0.037	-0,039
Fractie verharding (%)	0.031	0.013	0.004	0.009	0.027	0.048	0.003	0.017	0.012	0,018
Fractie water (%)	-0.082	-0.065	-0.095	-0.089	-0.116	-0.140	-0.113	-0.039	-0.010	-0,083
Fractie vegetatie (%)	-0.020	-0.042	-0.056	-0.040	-0.068	-0.082	-0.107	-0.044	-0.038	-0,055
R^2	0.539	0.494	0.521	0.409	0.570	0.476	0.589	0.471	0.491	0,507

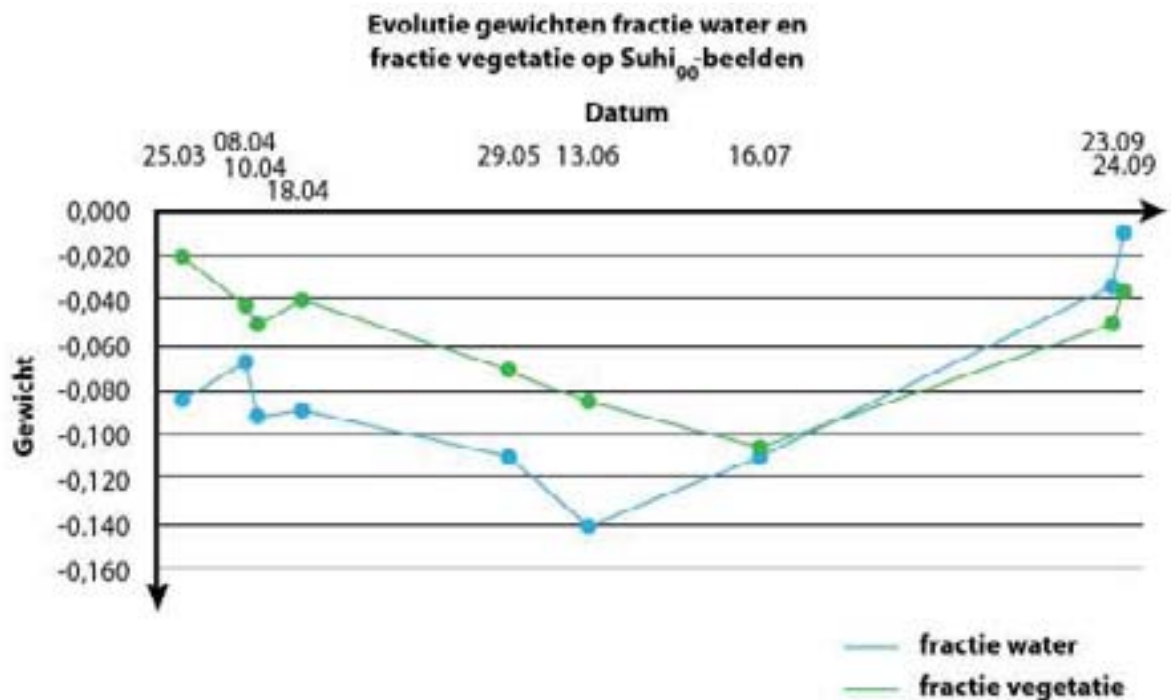
=niet significant (p -waarde $> 0,05$)

In bovenstaande tabel is te zien dat naarmate de zomer nadert de oppervlaktetemperaturen hoger worden. De constante-waarden pieken in mei, juni en juli, waarna ze snel dalen. In de laatste kolom zijn de gemiddelde waarden uitgerekend. Deze zijn bruikbaar als benadering voor de trend, ofwel een opwarmende (positief gewicht) of afkoelende (negatief gewicht), die de verschillende waarden tonen.

Van de vier gebruikte variabelen in het regressiemodel zijn er drie verkoelend naarmate ze stijgen in percentage. Dit betekent dat hoe (i) hoger de Sky View Factor is, hoe lager de

oppervlaktetemperatuur is, (ii) hoe meer water er is, hoe lager de oppervlaktetemperatuur is en (iii) hoe meer vegetatie er is, hoe lager de oppervlaktetemperatuur is. In de lijn van verwachting, is te zien dat hoe meer verharding er is, hoe hoger de oppervlaktetemperatuur is.

Interessant ten slotte is om de verkoelende variabelen fractie water en fractie vegetatie eens samen te bekijken (Figuur 155).



Figuur 155 : De negatieve gewichten van groen en water op de oppervlaktetemperaturen doorheen het jaar .

De hypothese in dit onderzoek was dat de invloed van water minder sterk zou spelen naarmate de zomer vordert doordat het water opwarmt. Dit lijkt uit bovenstaande grafiek deels af te lezen. Daarnaast is deels te zien dat vegetatie een tegenstelde beweging heeft. Naarmate de zomer vordert, en dus de vegetatie denser wordt, heeft deze meer en meer een koelend effect. De hypothese kan wel niet volledig hard gemaakt worden. Over de periode van juni tot eind september waren er slecht drie SUHI-beelden beschikbaar. Of de curve van de fractie vegetatie na 16 juli blijft dalen en de curve van de fractie water blijft stijgen, zodat het verschil tijdens de zomermaanden duidelijk wordt, is dus niet geweten.

De tweede regressieanalyse die op de verschillende SUHI-beelden gedaan werd, was na te gaan welke invloed de materialiteit van de openbare ruimte heeft op de oppervlaktetemperatuur. Hiervoor werd er opgedeeld naar fracties natuursteen, beton en asfalt. Echter door de gebruikte resolutie van 90m en zoals op Figuur 150 te zien, zijn er in Gent relatief weinig plaatsen waar er natuursteen gebruikt wordt. Er is enkel een concentratie in het stadscentrum. Zeker in vergelijking met de fractie asfalt en beton, is de fractie natuursteen klein in aandeel. De statistische test op significantie toonde dit ook aan (p -waarde=0,703). In dit onderzoek is de fractie natuursteen dus te klein om gefundeerde uitspraken over deze parameter te zeggen. De regressies werden daarom

uitgevoerd op de ruimtelijke gridcellen waar er minstens asfalt of beton ligt en met vanzelfsprekend enkel de parameters fractie beton en fractie asfalt :

Tabel 22 : De gewichten voor de variabelen fracties beton en asfalt na de regressies op de verschillende Suhi-kaarten op de gridcellen waar er minstens 1 procent asfalt of beton ligt.

	Datum Suhi-beeld									
	20110325	20020408	20110410	20030418	20030529	20060613	20030716	20050923	20020924	gemiddelde
constante	22,624	22,081	23,718	27,690	34,947	41,176	37,714	25,923	20,591	28,496
Fractie beton (%)	0,020	0,035	0,031	0,011	0,075	0,084	0,071	0,045	0,051	0,047
Fractie asfalt (%)	0,051	0,055	0,050	0,057	0,089	0,111	0,097	0,047	0,042	0,067

=niet significant (p-waarde>0,05)

Zoals de verwachting was, toont bovenstaande tabel duidelijk dat zowel asfalt als beton een opwarmend effect hebben op de oppervlaktetemperatuur en dat dit effect stijgt naarmate er meer asfalt of beton ligt. Duidelijk is ook dat dit het sterkst speelt bij asfalt. Alleen niet op de regressie op 24 september 2002, is asfalt telkens meer opwarmend dan beton. Alle resultaten waren sterk significant (alle p-waarden waren ~0,000).

5.3. CONCLUSIE REGRESSIE ANALYSES

Het opzet van deze analyse was het achterhalen van de verschillende oorzaken die ervoor zorgen dat ook Gent het welgekende Urban Heat Island ondergaat. Om dit te doen, werden verschillende regressiemodellen opgesteld om daarna multivariabele regressies uit te voeren. In deze regressies zijn de verschillende temperaturen de afhankelijke variabelen. De onafhankelijke variabelen bepalen dus hoe deze variëren.

In onderstaande tabellen wordt de invloed die elke variabele heeft op het ontstaan van het hitte-eiland in Gent samengevat:

Tabel 23 : Samenvatting van de invloeden van de onderzochte variabelen op de luchttemperatuur in Gent. De schaal is op deze manier opgebouwd: sterk opwarmend effect (+++), opwarmend (++), licht opwarmend effect (+), geen invloed (0), licht afkoelend effect (-), afkoelend (- -), sterk afkoelend effect (- - -)

Variabele	Bijkomende uitleg	Invloed
Fractie Verharding	De mate waarin de oppervlakte bedekt is. Hoe meer, hoe hoger de luchttemperatuur is	+++
Afstand tot water	De nabijheid van water. Deze parameter heeft weinig invloed op de luchttemperatuur.	0
Sky View Factor	De mate waarin de hemel zichtbaar is. Hoe breder de straten zijn, hoe meer men de hemel ziet, hoe lager de luchttemperatuur is.	--
Fractie Vegetatie	De mate waarin de aanwezige vegetatie dens is. Hoe denser deze is, hoe lager de luchttemperatuur is.	---

Tabel 24 : Samenvatting van de invloeden van de onderzochte variabelen op de oppervlakte-temperatuur in Gent. De schaal is op deze manier opgebouwd: sterk opwarmend effect (+++), opwarmend (++), licht opwarmend effect (+), geen invloed (0), licht afkoelend effect (-), afkoelend (- -), sterk afkoelend effect (- - -). Er wordt een verschil gemaakt in invloed aan het begin van de zomer- en na de zomerperiode.

Variabele	Bijkomende uitleg	Invloed	
		voorjaar	najaar
Fractie Verharding	<i>De mate waarin de oppervlakte bedekt is. Hoe meer, hoe hoger de oppervlaktetemperatuur is</i>	+++	+++
Fractie water	<i>De mate waarin het oppervlakte bestaat uit water. Hoe meer water er is, hoe lager de oppervlaktetemperatuur is.</i>	---	--
Sky View Factor	<i>De mate waarin de hemel zichtbaar is. Hoe breder de straten zijn, hoe meer men de hemel ziet, hoe lager de oppervlaktetemperatuur is.</i>	--	--
Fractie Vegetatie	<i>De mate waarin de aanwezige vegetatie dens is. Hoe denser deze is, hoe lager de oppervlaktetemperatuur is.</i>	--	---
Fractie asfalt	<i>De mate waarin de oppervlakte openbare ruimte bedekt is door asfalt. Hoe meer, hoe hoger de oppervlaktetemperatuur is.</i>	+++	+++
Fractie beton	<i>De mate waarin het oppervlakte openbare ruimte bedekt is door beton. Hoe meer, hoe hoger de oppervlaktetemperatuur is.</i>	++	++

Om deze voorgaande tabellen nog even te verduidelijken wat dit nu in realiteit zou betekenen voor Gent zijn ter illustratie onderstaand twee voorbeelden uitgewerkt. Het eerste voorbeeld gaat fictief het stadswaefsel rondom de Kouter in Gent aanpakken om de nachttemperatuur naar beneden te krijgen, het tweede voorbeeld gaat fictief een deel van het Sint-Pietersplein aanpakken om daar de oppervlaktetemperatuur te laten dalen.

Voor het nachtelijk hitte-eiland wordt het regressiemodel genomen op de gemiddelde CLUHI waarden om 23:00u in augustus 2012, eerder uitgelicht in het rapport.

5.3.1. TOEPASSING OP DE KOUTER (CLUHI)

Om dit te verduidelijken, moet een gebied genomen worden van 250m op 250m. Op onderstaande topografische kaart is een dergelijk gebied aangeduid dat ten noorden begrensd wordt door de Volderstraat en ten zuiden door de Kouter. Ten westen ligt de Veldstraat en ten oosten de Kouterdreef. In dit gebied ligt de Universitaire Faculteit van de Rechten, de Universitaire Aula en de Kouter zelf.



Figuur 156 : Situering van gridcel 10073 met zijde 250m. In deze cel ligt onder andere de Kouter, de faculteit Rechten en de Universitaire Aula.

De gegevens voor dit gebied zijn :

<i>Gebied 10073 (omgeving Kouter-Aula); 250*250</i>	
Cluhi _23:00u_08.2012 tov gem_Cluhi_Gent_23:00u_08.2013 (°C)	2,29
Sky View Factor (%)	44,46
Fractie verharding (%)	84,00
Afstand tot water (km)	0,14
Fractie vegetatie (%)	0,00

Bij bovenstaande tabel moet opgemerkt worden dat dit gemiddelde waarden zijn. Er staan bijvoorbeeld wel enkele bomen op de Kouter, maar deze zijn te weinig om door te wegen op deze schaal, vandaar de 0% fractie vegetatie.

Volgens het regressiemodel (Tabel 19) brengt in gebied 10073 een:

- toename van 20 procent Sky View Factor (44,46 naar 64,46%) een afname in CLUHI temperatuur van: **0,12 °C**
- afname van 20 procent verharding (84 naar 64%) een afname in CLUHI temperatuur van: **0,26 °C**
- toename van 20 procent vegetatie (0 naar 20%) een afname in CLUHI temperatuur van: **0,18 °C**
- Een verandering in de nabijheid van water brengt bijna geen verandering teweeg. Dit is omdat water reeds zeer nabij is, en anderzijds omdat zelfs een nabijheid van water rondom 0 meter slechts een daling van **0,01°C** zou teweeg brengen.

Voorgaande cijfers zijn weliswaar met enige nuance te interpreteren. Zo gaan deze cijfers er vanuit dat de andere parameters constant gebleven zijn. Ook wordt de menging met andere cellen geabstraheerd.

De cijfers tonen dus wel aan dat zeker een vermindering van de verharding effectief kan zijn in het verkoelen van het hitte-eiland in het centrum van Gent. Een toename van 20 procent vegetatie is bijna niet mogelijk. Dit zijn waarden die men vindt rondom het De Smet-De Naeyerpark te Gent, een toch iets ander stedelijk weefsel. Echter mocht een vermindering van de verharding in combinatie gaan met een verhoging van de vegetatie dan zou dit wel misschien praktisch gezien wel mogelijk zijn. Theoretisch zou een 20 procent minder verharding, ingevuld door een vegetatie van 5 procent (deze waarden zijn terug te vinden rondom het park bij zwembad het Strop, zoals besproken), een daling van de luchttemperatuur van ongeveer **0,30 °C** teweeg brengen. Verdere uitspraken hierover in dit onderzoek zijn hier echter niet mogelijk.

5.3.2. TOEPASSING OP HET SINT PIETERSPLEIN (SUHI)

Eenzelfde oefening voor de oppervlaktetemperaturen wordt gedaan op het Suhi-beeld van 20060613, juist voor het begin van de zomerperiode. Om dit te verduidelijken werd het centrale deel van het Sint-Pietersplein genomen, te zien op onderstaande topografische kaart.



Figuur 157 : Situering van gridcel 499664 met zijde 90m. Deze cel ligt centraal op het Sint-Pietersplein en beslaat ongeveer een derde van het totale plein.

Dit gebied is praktisch homogeen, enkel het voorportaal van de Sint-Pieterskerk en enkele gebouwen zijn in dit gebied inclus. De gegevens voor dit gebied zijn:

<i>Gebied 49664 (centraal Sint-Pietersplein); 90*90</i>	
Suhi_20060613 (°C)	49,65
Sky View Factor (%)	85,37
Fractie verharding (%)	95,00
Fractie water (%)	0,00
Fractie vegetatie (%)	0,00

Bij bovenstaande tabel moet opgemerkt worden dat dit gemiddelde waarden zijn.

Volgens het regressiemodel (Tabel 21) brengt in gebied 49664 een:

- a) toename van 15 procent Sky View Factor (85,37 naar 100%) een afname in SUHI temperatuur van: **0,62 °C**
- b) afname van 20 procent verharding (95 naar 75%) een afname in SUHI temperatuur van: **0,96 °C**
- c) toename van 20 procent wateroppervlakte (0 naar 20%) een afname in SUHI temperatuur van: **2,80 °C**
- d) toename van 20 procent vegetatie (0 naar 20%) een afname in SUHI temperatuur van: **1,64 °C**

Voorgaande cijfers zijn weliswaar opnieuw met enige nuance te interpreteren. Zo gaan deze cijfers er vanuit dat de andere parameters constant gebleven zijn. Ook wordt de menging met andere cellen geabstraheerd.

De cijfers tonen dus wel duidelijk aan dat het nog meer zichtbaar maken van de hemel op het Sint-Pietersplein niet veel zin heeft. Wel is af te leiden dat een afname van de verharding in combinatie met water en vegetatie een degelijke verkoeling zou teweeg brengen. Hypothetisch gezien zou een afname van 25% verharding in deze cel (ongeveer zo'n 2000m²), waarvan bijvoorbeeld zo'n 800m² ingevuld wordt door water (stijging van 10%) en de rest door vegetatie, dan komt men aan een daling van **3,42 °C**. Dit is zoals in het vorige voorbeeld natuurlijk hypothetisch en verder onderzoek is hier gewenst.

5.4. CASE-STUDIE GEBIEDEN

Het opzet van het onderzoek begon vanuit het gebieddekkende schaalniveau voor Gent. Uit het voorgaande bleek dat het regressiemodel er goed in slaagt de temperaturen in het stedelijk weefsel te voorspellen. Nuttig is om vanuit het grondgebied Gent even op een kleinere schaal te gaan onderzoeken wat de algemene conclusies nu betekenen voor de verschillende uitgekozen deelgebieden. Interessant daarbij is om vanuit de verschillende variabelen even na te gaan wat onderlinge verschillen betekenen voor de verschillende optredende temperaturen. Op die manier kunnen onzekerheden beter bekeken worden en conclusies aangescherpt worden.

De verwachting is dat de volgende casegebieden hoogstwaarschijnlijk in grote lijn een bevestiging zullen zijn van de reeds bekomen conclusies. Casegebieden zijn echter wel nuttig om het beeld van de verschillende variabelen nu concreter te maken.

Wil men echter tot op straatniveau, pakweg een schaal van 10m, gaan, dan botst men in dit onderzoek op de limieten van de beschikbare gegevens. Uitspraken kunnen wel gedaan worden, maar zullen minder gestaafd kunnen worden door de cijfers. Zoals al enkele malen aangehaald, wordt bijvoorbeeld een bomenrij langs een waterloop niet altijd opgemerkt. Dit kan zijn door de gridbedekking waardoor het gemiddelde te laag werd of anderzijds door het te weinig aanwezige groen op die plaats waardoor het gemiddelde niet boven de nulgrens kwam. Uitspraken over bijvoorbeeld de vegetatie zijn dus alleen geldig voor grote groenstructuren.

In de casegebieden wordt er zowel op de CLUHI- (250_23:00u_08.2013) als op SUHI- (29.05.2013_16.07.2003_24.09.2002) waarden dieper ingegaan. Wel moet opgemerkt worden dat indien men daalt tot op wijkniveau, de verschillen tussen de Cluhi-waarden heel klein worden. De

temperatuur van lucht varieert nu eenmaal niet zoveel plus de analyse gebeurde in eerste instantie op een schaal van 250m. Op schaalniveau van geheel Gent kunnen hier duidelijk uitspraken over gedaan worden zoals in de vorige delen, maar hou in het achterhoofd dat op dit niveau de verschillen soms heel klein zijn en dus conclusies niet al te sterk mogen zijn.

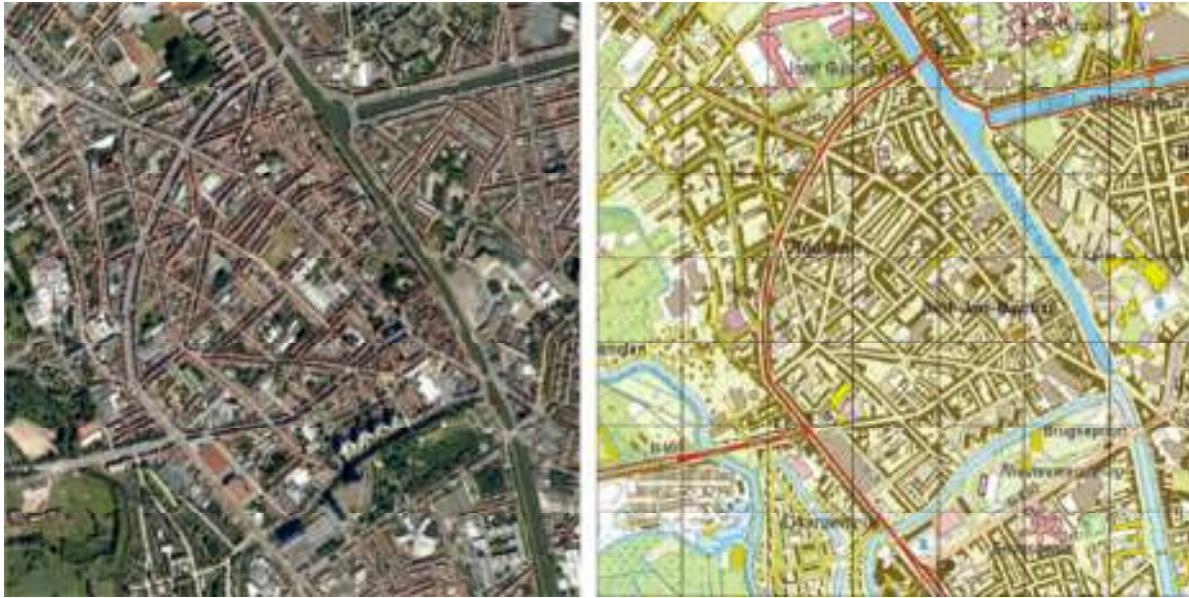
De selectie van de casegebieden is op basis van de verschillende SUHI- en CLUHI-kaarten:

1. Omgeving Brugse Poort
 - a. twee coldspots: het westelijk deel van de Brugse Poort en de Nieuwe Wandeling
 - b. een hotspot: het centrum van de Brugse Poort
2. Omgeving Citadelpark: Citadelpark als coldspot en zijn invloed op zijn onmiddellijke omgeving
3. Omgeving Ledeberg: sterke hotspot
4. Noordzuidas vanaf Noorddok (coldspot) en voorhaven (hotspot) over het Houtdok (coldspot) tot aan Portus Ganda (hotspot)
5. De omgeving van ArcelorMittal, noorden van de haven van Gent

De bovenstaande gebieden worden in dit onderzoek uitgelicht via enkele afzonderlijke toelichtingen waarin in detail de verschillende variabelen besproken worden.

5.4.1. OMGEVING BRUGSE POORT

De Brugse Poort is een wijk gelegen in het westen van de stad Gent en is gekenmerkt door een dichts bebouwingspatroon met smalle wegen. Het gebied wordt ten oosten afgegrensd door de waterloop 'de Coupure', ten zuiden door de Nieuwe Wandeling en ten westen door het natuurgebied 'de Bourgoyen' (Figuur 158).



Figuur 158 : Luchtfoto en topografische kaart van de Brugse Poort. Ten zuiden is het groene gebied de Nieuwe Wandeling langs de Leie te zien. Ten oosten de Coupure richting Oostende en ten westen het begin van het natuurgebied de Bourgoyen (Bron: Google Maps, 2013; NGI).

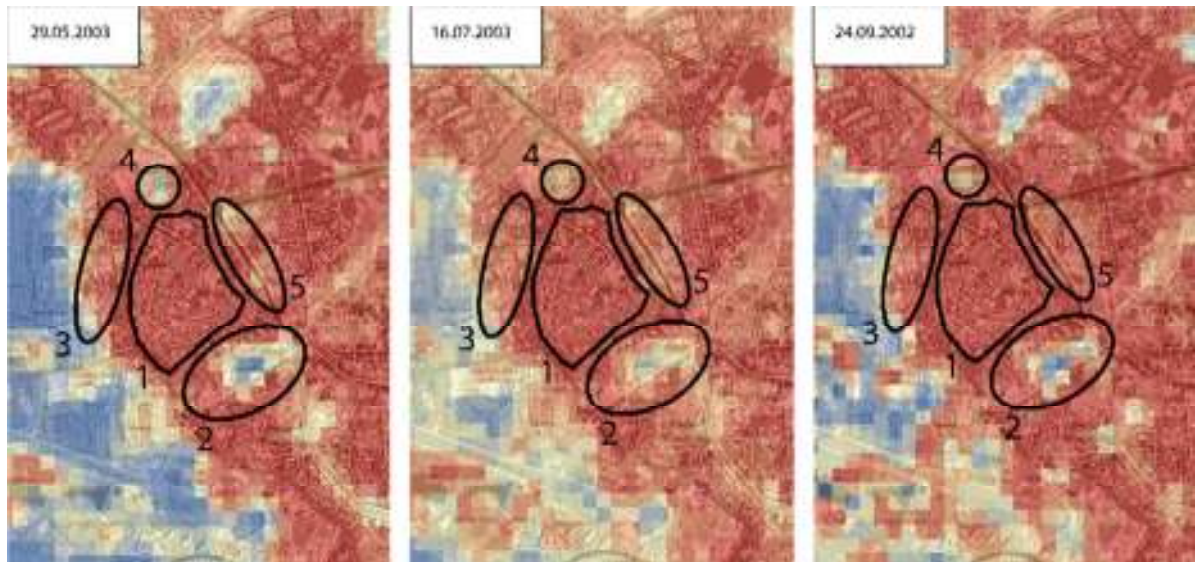
Zoals reeds besproken tonen de CLUHI kaarten vooral na zonsondergang het UHI op vlak van luchttemperatuur. Ook voor de Brugse Poort is dit effect te zien (Figuur 159). De verschillen tussen de waarden zijn wel relatief klein. Dit is op zich logisch omdat luchttemperaturen nu eenmaal veel minder variatie vertonen.



Figuur 159 : De CLUHI kaart met de gemiddelde luchttemperatuurwaarden van 23:00h tijdens de maand augustus 2012. Duidelijk is dat het meer centrale gelegen gedeelte van de Brugse Poort relatief warmer is dan ten westen en ten zuiden ervan.

Op bovenstaande Figuur 159 is te zien dat het temperatuurverschil tussen de westelijke woongebieden van de Brugse Poort en het centrale gedeelte tot 0,7 graden Celsius bedraagt. Ook is duidelijk het koelere gebied ten zuiden te zien wat de Nieuwe Wandeling is.

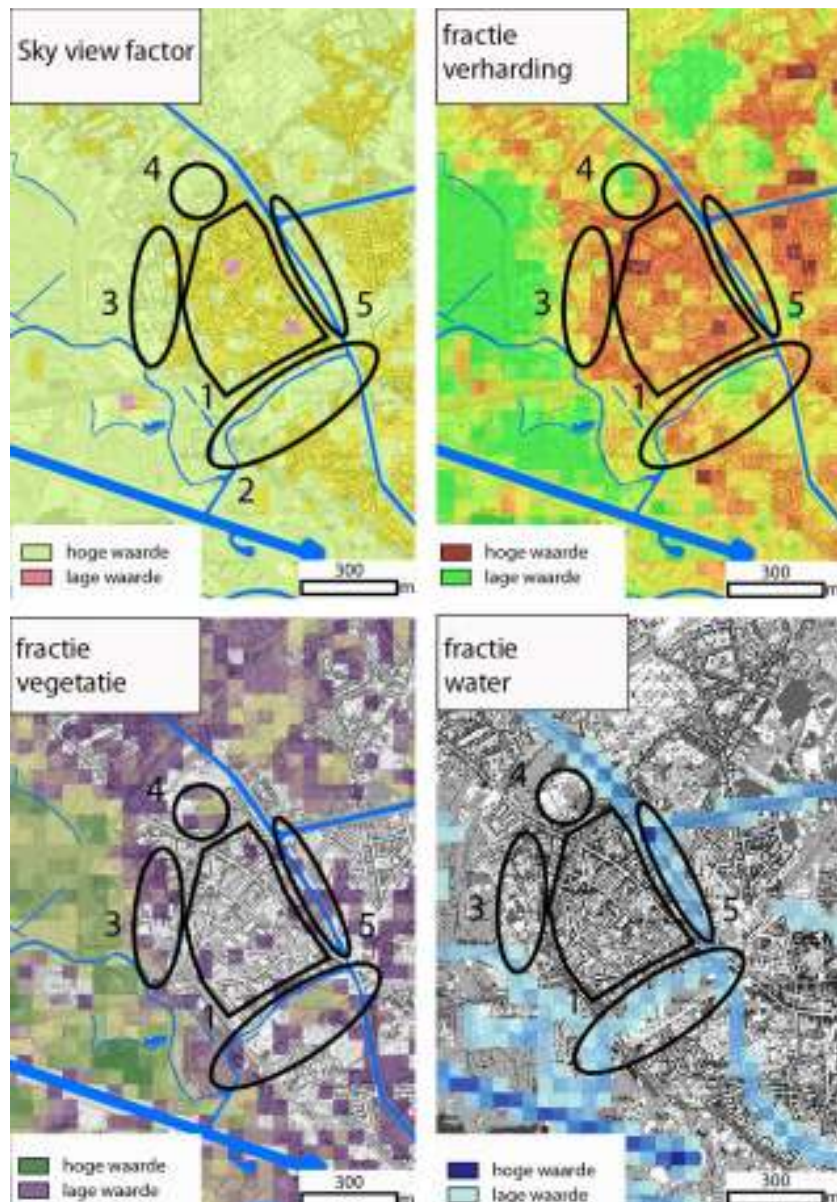
De verschillende SUHI kaarten doorheen het jaar tonen ook dat de oppervlaktetemperatuur binnen de Brugse Poort relatief hoger ligt dan zijn omliggende delen (Figuur 160).



Figuur 160 : De SUHI kaarten van de Brugse Poort (v.l.n.r.) in mei, in juli en in september. Duidelijk is dat het centrum (gebied 1) steeds de warmste plaats is.

De SUHI kaarten tonen meer variatie dan de CLUHI kaarten, wat hier duidelijk is. Toch tonen ze hetzelfde patroon. Het centrum is betrekkelijk warmer dan zijn omliggende gebieden. Verschillend met de CLUHI kaart is de koelere temperatuur rondom de Coupure tijdens de maand mei. Deze koelere temperatuur is minder zichtbaar op de SUHI kaart van september.

Om deze temperatuurpatronen te verklaren, kijken we terug naar de regressie vergelijkingen. Daarin kwam duidelijk naar voor dat vooral de Sky View Factor, de fractie vegetatie, de fractie verharding en de fractie water een invloed hebben op de optredende temperaturen.



Figuur 161 : De variabelen die invloed hebben op de optredende temperaturen in de Brugse Poort .

Zoals te verwachten heeft het centrum van de Brugse Poort de laagste waarden (en dus de meer donkere kleuren) van de variabele Sky View Factor en hoogste waarden verharding (gebied 1). De Nieuwe Wandeling (gebied 2) die vooral uit ver uit elkaar staande hoogbouw bestaat, heeft een duidelijk meer zichtbare hemel (hogere Sky View Factor waarden) en minder verharde oppervlakte. In vergelijking met het centrale gedeelte heeft het westelijke deel van de Brugse Poort (gebied 3) een stuk hogere Sky View Factorwaarden en minder verharding. De verschillen in Sky View Factor tussen het centrum van de Brugse Poort en de Nieuwe Wandeling zijn op onderstaande foto's te zien.



Figuur 162 : De Sky View Factor in de Brugse Poort. Links is de Nieuwe Wandeling te zien met zijn hoogbouw die zorgt voor hoge SVF-waarden. Rechts de smalle straten in de Brugse Poort (Bron: Google Street View).

Uit de regressie analyses bleek dat de luchttemperaturen vooral hoger liggen waar er lagere SVF-waarden zijn (dus smallere straten) en een hogere graad van verharding. De koelende invloed komt vooral door de aanwezigheid en densiteit van vegetatie en de aanwezigheid van water. Deze opwarmende en afkoelende variabelen samen verklaren waarom de Nieuwe Wandeling een coldspot is ten opzichte van de Brugse Poort. De aanwezigheid van een aftakking van de Leie en het groene gebied liggen naast elkaar. Dit verklaart ook waarom de Coupure (gebied 5) alleen een koele plek blijkt te zijn aan het begin van de zomerperiode. Het koelend effect van water neemt namelijk af naarmate het water opwarmt en de fractie vegetatie is een stuk lager in vergelijking met de waarden rondom de Nieuwe Wandeling (Figuur 162). Niettegenstaande heeft de bomenrij langs de Coupure zeker wel een positieve invloed op de gevoelstemperatuur door het reduceren van de stralingsbelasting. Het zorgt dus met andere woorden voor schaduw.



Figuur 163 : De Coupure ter hoogte van de Brugse Poort. Te zien is dat het water begrensd wordt door gras, wegen en een enkele bomenrij. Er is echter ook aan weerszijden een verhard deel aanwezig (Bron: Google Street View).

Het westelijke woongedeelte (gebied 3) ligt niet nabij water. Het relatief koelere gebied is te verklaren door de grotere binnengebieden die in dit stedelijk weefsel liggen die zorgen voor hogere SVF waarden, lagere fractie verharding en hogere fractie vegetatie (Figuur 164).



Figuur 164 : De naar omvang grotere binnengebieden in het oostelijk deel van de Brugse Poort. Dit zorgt enerzijds voor hogere SVF, een lagere fractie verharding en door de beplanting binnenin voor een hogere fractie vegetatie (Bron: Google Street View).

Op de verschillende SUHI kaarten is daarnaast ten noorden van de Brugse Poort telkens een koeler gebied merkbaar (gebied 4). Dit koelere gebied valt samen met het relatief klein Wielewaalbosje, bestaande uit bomen en grasvelden. De hogere SVF waarden, lagere fractie verharding en hogere fractie vegetatie zorgen voor een relatief koelere plaats in vergelijking met de wijk ernaast. Dit gebied is echter te klein om merkbaar te zijn op de CLUHI kaarten op 250m resolutie.

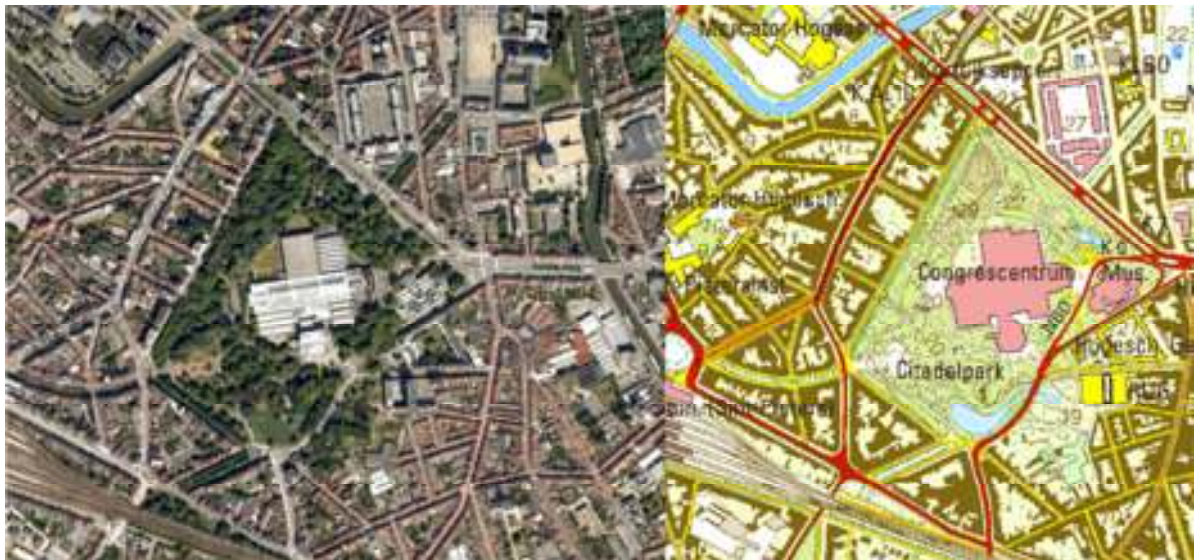
Conclusie

De Brugse Poort is een van meest dense woonwijken rondom stad Gent. Het bestaat uit typisch smalle straten en weinig groen. Uit de regressies bleek dat juist deze eigenschappen (lage Sky View Factor-waarden en hoge fractie verharding) ervoor zorgen dat er hogere temperaturen optreden. In vergelijking met de Nieuwe Wandeling en het meer naar het westen gelegen deel van de woonwijk dat meer open binnengebieden heeft, werd dit bevestigd. Toch is er enigszins beterschap merkbaar. Het project 'Zuurstof voor de Brugse Poort' streeft ernaar de dense binnengebieden in de Brugse Poort meer open te maken en te vergroenen. In de lijn van dit onderzoek, is dit positief om het UHI te verzachten.

De Brugse Poort grenst aan de waterloop de Coupure. De regressie-analyses toonden aan dat water in combinatie met groen een sterk koelend effect kan hebben. De Coupure kwam in dit onderzoek echter niet duidelijk naar voor als een goed koelend groengebied. Dit is enerzijds doordat het groen niet altijd de ondergrens van deze onderzoeksschaal oversteeg en anderzijds omdat het groen nu eenmaal minder geconcentreerd is zoals aan de Nieuwe Wandeling.

5.4.2. HET CITADELPARK

Het Citadelpark is het grootste stadspark van Gent en ligt ten zuiden van het centrum. Ten noorden wordt het begrensd door de binnenring R40 waaraan naast de militaire kazerne vooral appartementen grenzen. Ook ten westen en ten zuiden bestaan de woongebieden uit appartementen. Ten oosten ligt de universitaire plantentuin met de universiteitsgebouwen de Ledeganck. Daarnaast liggen de gebouwen van de Hogeschool Gent. Het park zelf huist het congrescentrum ICC met naastliggend de wielervedstroom het Kuipke en ten slotte twee museums (Figuur 165).



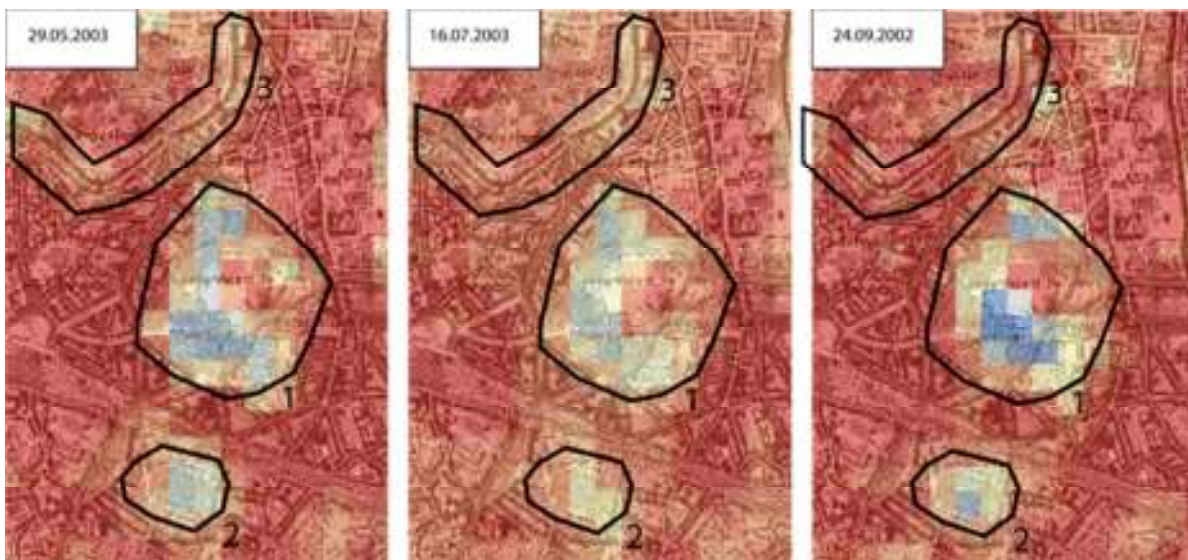
Figuur 165 : Luchtfoto en topografische kaart van het Citadelpark te Gent..

Wanneer de CLUHI kaart om 23:00h erbij genomen wordt, is er slechts een klein koelend effect te zien. Met zijn omliggende gebieden heeft het een temperatuurverschil van maximaal 0,25 graad Celsius (Figuur 166). Zoals reeds gezegd is dit verschil zeer miniem wat te wijten is aan de weinige variatie die luchttemperaturen vertonen. De conclusies die hieronder geformuleerd worden op basis van deze CLUHI-waarden, zijn dus telkens met enige voorzichtigheid mee te nemen. De waarden hieronder zijn afgeleid van een modellering en zijn dus een schatting van de werkelijke luchttemperaturen.



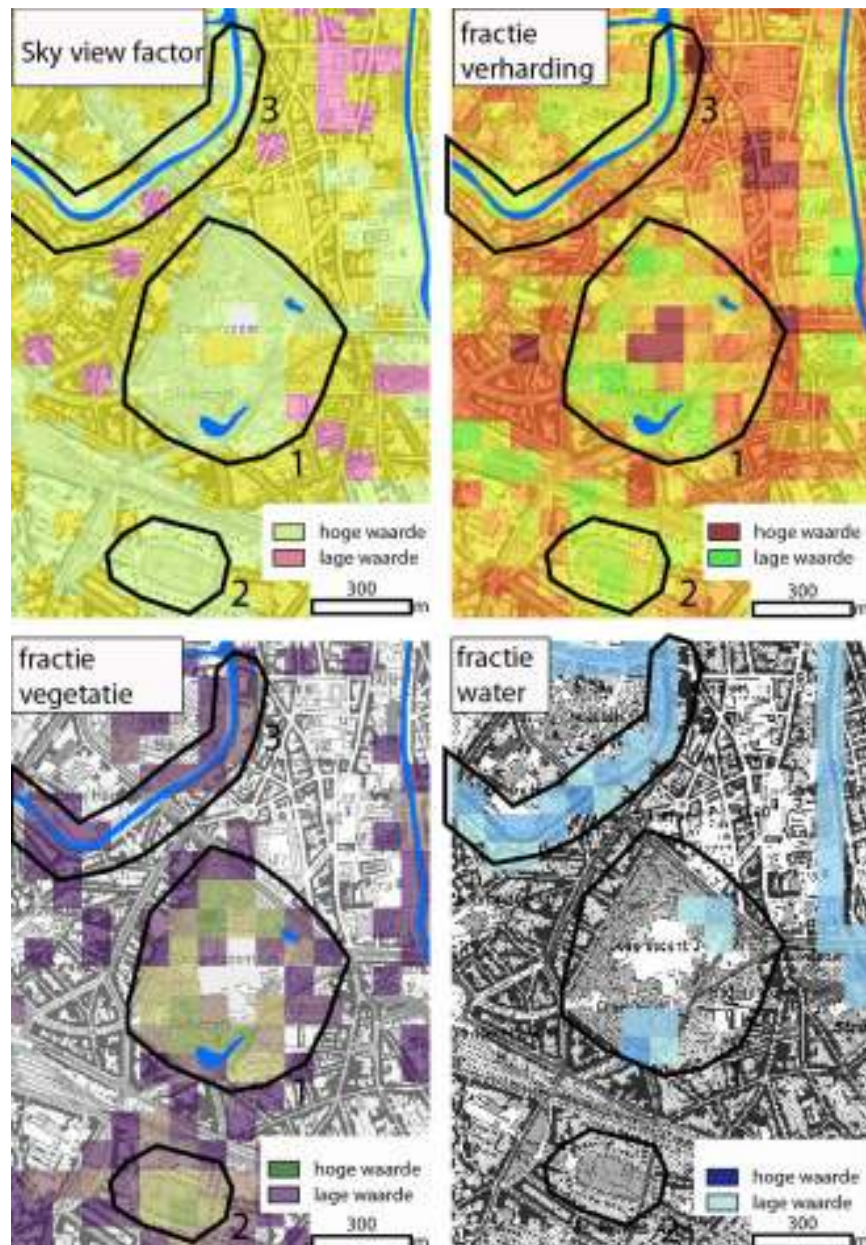
Figuur 166 : De CLUHI-waarden in en rondom het Citadelpark te Gent gemiddeld gezien over de maand Augustus 2012 om 23:00u .

Op de verschillende SUHI kaarten is er zoals verwacht meer variatie te zien en is wel zeer duidelijk merkbaar hoe het Citadelpark koeler is dan zijn omgeving (Figuur 167)



Figuur 167 : De verschillende SUHI kaarten doorheen het jaar (v.l.n.r. eind mei, midden juli en eind september) waarop te zien is dat het Citadelpark koeler is.

Op de SUHI kaarten is te zien dat het gehele jaar het Citadelpark (gebied 1) lagere oppervlaktetemperaturen kent dan zijn omgeving. Ook het kleinere park het De Smet-De Naeyer Park (gebied 2) ten zuiden hiervan is koeler, maar wel in iets beperktere mate. Nog opvallend is gebied 3. Dit is de omgeving rondom de Leie. Dit gebied is koeler aan het begin van de zomer, maar dit effect verdwijnt voor een deel na de zomer, net zoals rond de Coupure besproken in het eerste casegebied.



Figuur 168 : De Sky View Factor, de fractie verharding, de fractie vegetatie en de fractie water rondom het Citadelpark te Gent .

Het Citadelpark heeft een lage bedekkingsgraad. Ook het percentage groen is duidelijk groter. Op deze drie kaarten is daarnaast duidelijk zichtbaar dat er in het midden van het park gebouwen aanwezig zijn. Dit zorgt ervoor dat het park als het ware opgedeeld is in verschillende kleinere parken, genre het De Smet-De Nayer park (gebied 2) en dat de temperaturen die er vandaag optreden iets hoger uitvallen. Mocht dit park een aaneengesloten park zijn, dan zouden de temperaturen hoogstwaarschijnlijk nog een stuk lager zijn.

De fractie water verklaart waarom de Leie (gebied 3) koeler is in de maand mei. De afwezigheid van vegetatie in dit gebied verklaart waarom dit effect deels verval naarmate de zomer vordert (Figuur 168). Ook hier dus is er wel een gedeelte groen langs de oevers van de Leie, maar is dit te weinig, op deze onderzoeksschaal, om een grote invloed te hebben op de optredende temperaturen.



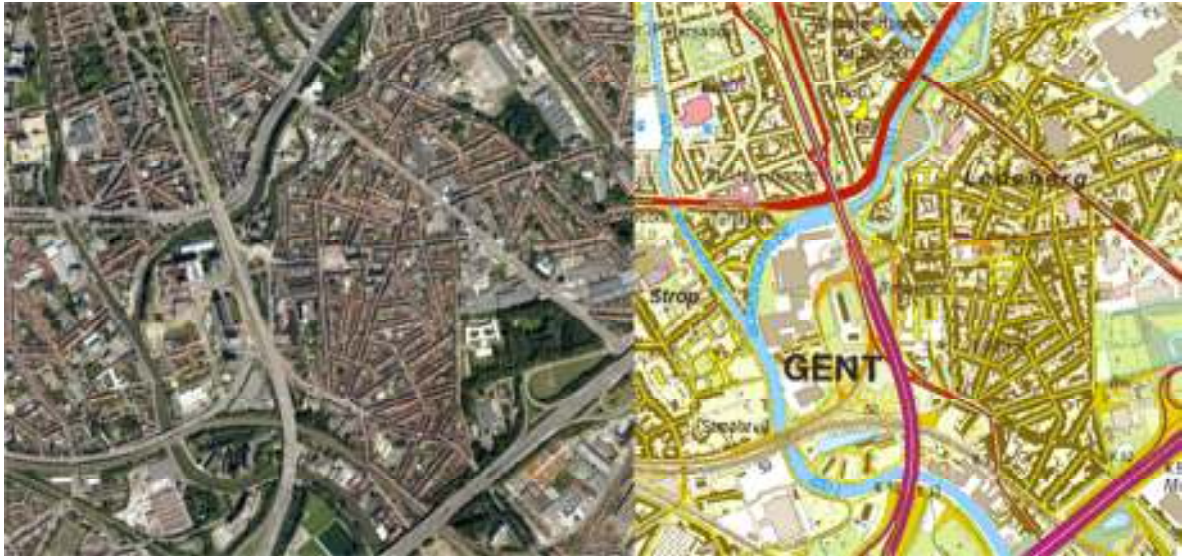
Figuur 169 : (v.l.n.r.) Zicht op het ICC-gebouw middenin het Citadelpark; zicht op het Citadelpark vanaf de R40; zicht op de Leie met weinig groenoevers waar deze iets verder de R40 kruist (Bron: Google Street View, 2013).

Conclusie

Het Citadelpark is op alle CLUHI- en SUHI-kaarten telkens duidelijk merkbaar als een koelere plaats. Ook hier is de oorzaak hiervan de combinatie van weinig gebouwen, weinig verharding en veel vegetatie. Het Citadelpark echter huist het ICC en enkele andere grote gebouwen juist centraal in zijn gebied. Deze gebouwen zorgen ervoor dat het Citadelpark dat op zich een groot park is, als het ware opgedeeld wordt in vele kleinere parkgebieden. Dit heeft echter gevolgen voor de optredende temperaturen. Zeker voor de luchttemperaturen is het verkoelend effect van het Citadelpark nauwelijks merkbaar. Hoogstwaarschijnlijk zou dit meer zijn mocht het park volledig uit dichte vegetatie bestaan. Verder is op de verschillende beelden ook merkbaar dat de Leie zijn verkoelend effect niet lang kan volhouden door het ontbreken van groen rondom. Mocht dit wel zo zijn, zou de combinatie van deze twee hoogstwaarschijnlijk een sterk verkoelend effect meebrengen.

5.4.3. LEDEBERG

Ledeberg is net als de Brugse Poort een typisch dense wijk in de 20^{ste} eeuwse stadsgordel. Het is gekenmerkt door een hoge bebouwingsgraad en ligt ten zuidoosten van het centrum van de stad. Ten westen is het begrensd door het viaduct van de B401, ten noorden door de Bovenschelde en de binnenring R40, ten zuiden door de E19 en ten oosten door de Brusselsesteenweg (Figuur 170).



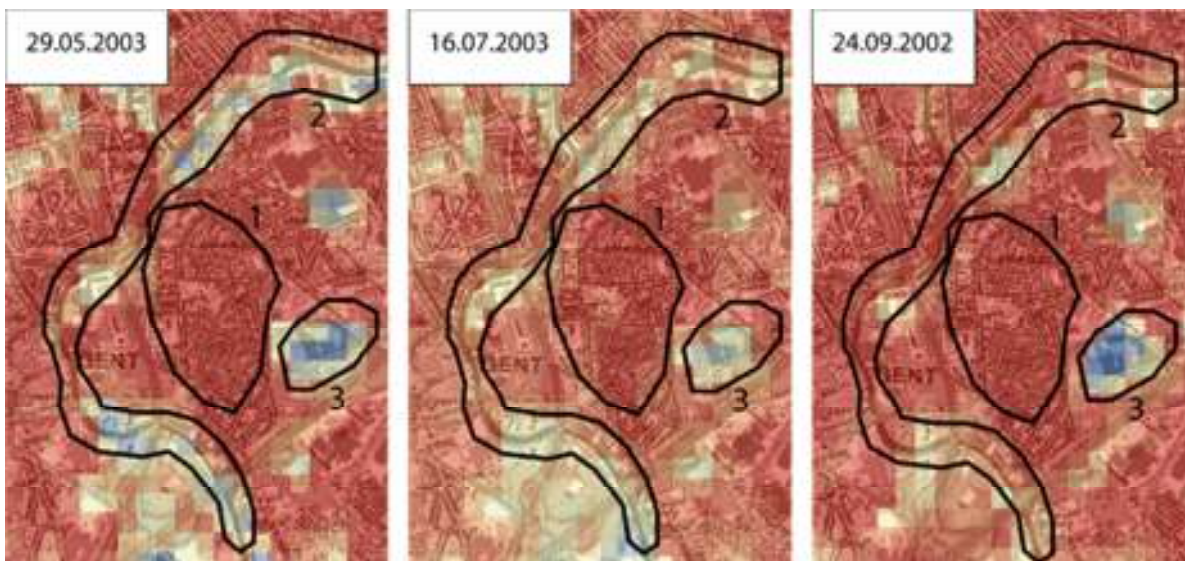
Figuur 170 : Luchtfoto en topografische kaart van Ledeberg (bron: Google Maps & NGI).

Wanneer de CLUHI kaart met de gemiddelde luchttemperatuurwaarden om 23:00u van de maand augustus 2012 bekeken worden, zien we zoals verwacht dat Ledeberg inderdaad relatief warmer is. Toch is dit niet zo duidelijk afgegrensd als bij de Brugse Poort. In vergelijking met deze wijk en het Citadelpark is Ledeberg ietwat warmer (respectievelijk 0,2 en 0,1 graden Celsius). Het koelere gebied en zuidoosten (waarde 1,97) is het Park de Vijvers (Figuur 171). Opnieuw moet de opmerking gemaakt worden dat de verschillen tussen de luchttemperaturen op dit niveau en op het modelleringsniveau van 250m klein zijn en dat dit moet meegenomen worden in de conclusies op basis van deze waarden op dit schaalniveau.



Figuur 171 : De CLUHI waarden op 250m resolutie voor Ledeberg gemiddeld gezien voor de maand augustus 2012 om 23:00h

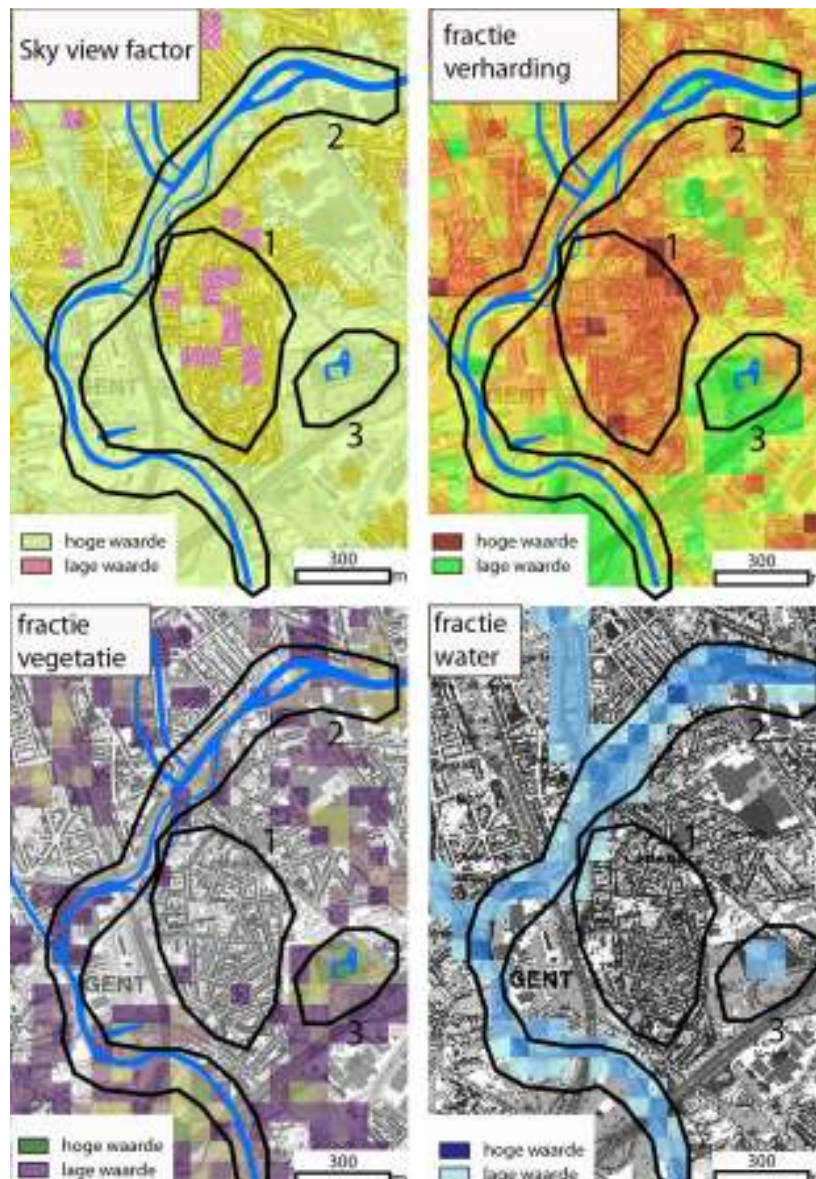
Wanneer gekeken wordt naar de verschillende SUHI kaarten is te zien dat Ledeberg warmer is dan zijn omgeving (Figuur 172).



Figuur 172 : De SUHI kaarten van Ledeberg eind mei, midden juli en eind september. Ledeberg (gebied 1) is relatief warmer dan het gebied rondom de Schelde (gebied 2) en het park de Vijvers (gebied 3).

Ledeberg blijft op alle SUHI kaarten warmer dan zijn omliggende regio. Toch is dit zoals op de CLUHI kaarten niet al te sterk afgebakend zoals bij de Brugse Poort. Ledeberg maakt meer deel uit van een groter warmtegebied, maar vormt wel de warme 'kern' ervan. Wanneer men echter weet dat men zich reeds relatief ver van het centrum van de stad bevindt, dan blijft het warmtegebied opvallend.

Opnieuw is te zien dat aan het begin van de zomerse periode, het water een koelend effect heeft, maar dat dit afneemt naarmate de zomer vordert. Het park de Vijvers blijft de ganse zomerperiode koeler dan zijn omgeving.



Figuur 173 : De Sky View Factor, de fractie verharding, de fractie vegetatie en de fractie water voor Ledeberg en omgeving te Gent .

Het verklaren waarom Ledeberg warm is, is duidelijk te zien aan de verschillende variabelen (Figuur 173). De Sky View Factor-waarden liggen laag, bijna alles is verhard, er is weinig groen en er is weinig water in Ledeberg zelf. Rondom het gebied loopt er echter wel relatief veel water. De rivier de Schelde (gebied 2) is aanzienlijk breder dan de overige stadslopen, maar dit koelende effect wordt naarmate de zomer vordert teniet gedaan doordat er rondom deze rivier zelf bijna geen groen aanwezig is. Integendeel, langs de Schelde loopt een deel van de binnenring R40. Het enige koelere plaatsje dat ook koel blijft de hele zomer door is ten zuidoosten van Ledeberg, het park De Vijvers (gebied 3). Er is zowel groen als (weinig) water aanwezig.



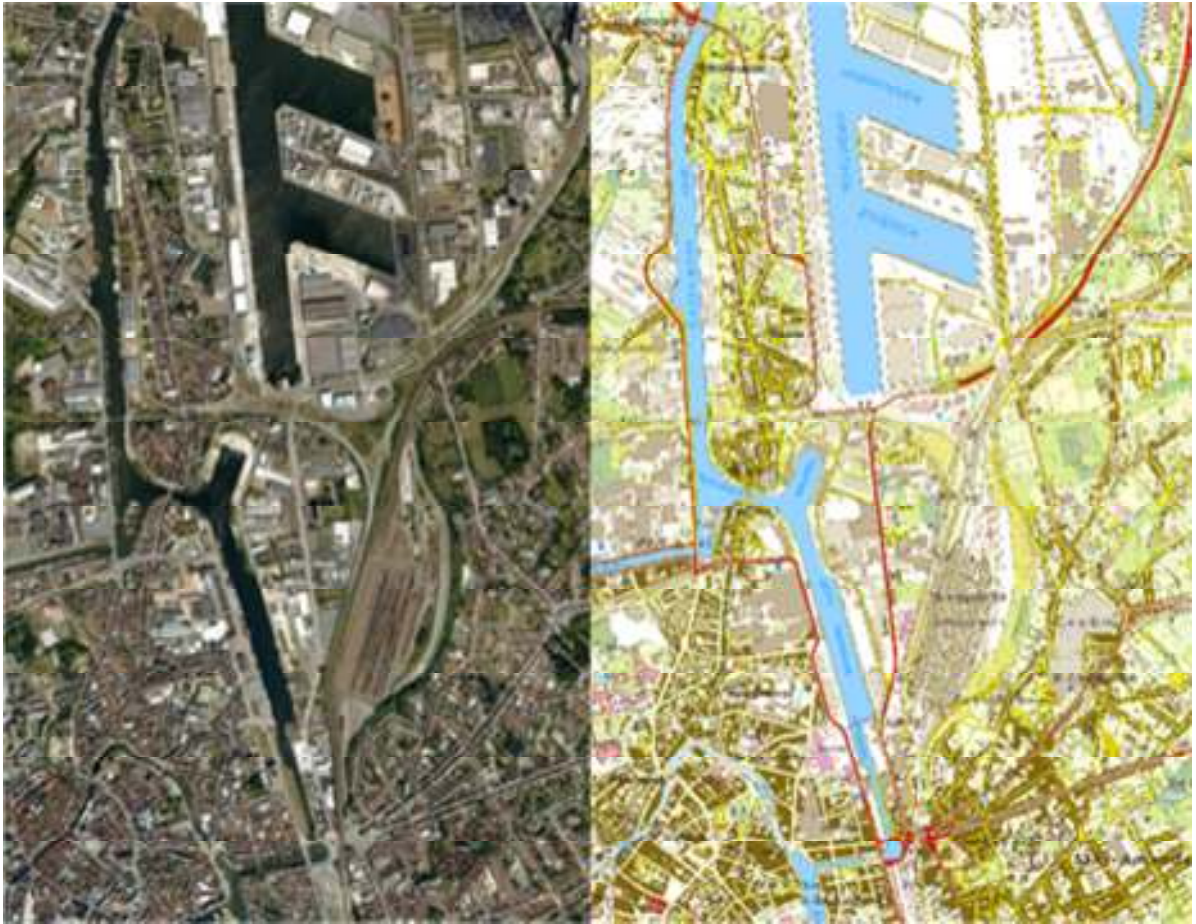
Figuur 174 : (v.l.n.r.) Het dense bebouwingspatroon met smalle straten in Ledeberg centrum; zicht op het park de Vijvers en; zicht op de Schelde waarlangs zeer weinig groen ligt (bron: Google Street View).

Conclusie

Ledeberg toont net als de Brugse Poort als een warme plaats op de verschillende temperatuurkaarten. Dit is zoals de regressie-analyses aantoonde vooral te wijten door de combinatie van het dense bouwpatroon dat de lage Sky View Factor veroorzaakt, de bijna volledige verharding van alle openbare ruimte en de volledige afwezigheid van voldoende dichte vegetatie. Ledeberg ligt daarentegen in de buurt van de Schelde. De eventuele koeling die hier zou kunnen optreden is slechts van korte duur. Het groen dat erlangs de opwarming zou moeten compenseren is niet of bijna nauwelijks aanwezig. Integendeel, de R40 zoomt deels de Schelde af.

5.4.4. DE OMGEVING VAN DE HAVEN EN PORTUS GANDA

Het volgende uitgewerkte casegebied is de omgeving rondom de haven van Gent tot aan Portus Ganda. Dit is meer bepaald het havengebied met ten noordoosten het Grootdok met het Midden- en Zuiddok, ten noordwesten de Voorhaven waarna het casegebied loopt over het gebied rondom het Handelsdok tot in het centrum van Gent, meer bepaald tot aan de Portus Ganda, waar in oorsprong de Schelde en de Leie samenvloeien (Figuur 175)



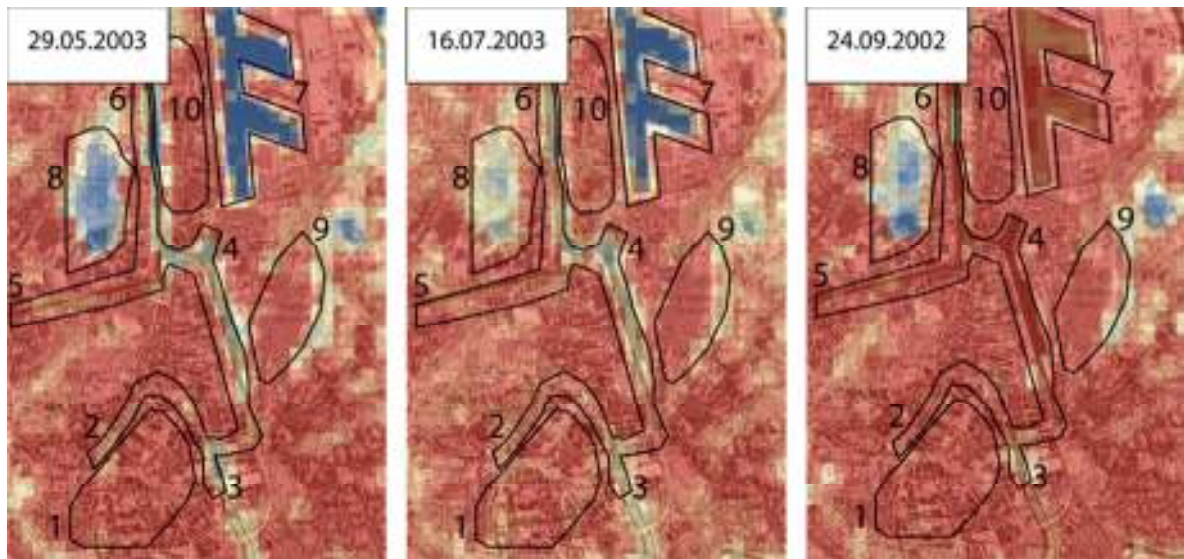
Figuur 175 : Satellietbeeld en topografische kaart met ten noorden de haven van Gent, met ten oosten het Grootdok en ten westen de Voorhaven, en het stedelijk weefsel rond de Portus Ganda in het zuiden. Midden op de kaart het Handelsdok en het Houtdok (Bron: Google Maps; NGI).

Op de CLUHI kaart met de gemiddelde luchttemperatuurwaarden om 23:00u voor de maand augustus 2012, is te zien dat het centrum van Gent het warmste gebied is (Figuur 176). Opnieuw dus de opmerking dat deze waarden uit een modellering komen en dus een benadering zijn van de werkelijke luchttemperaturen.



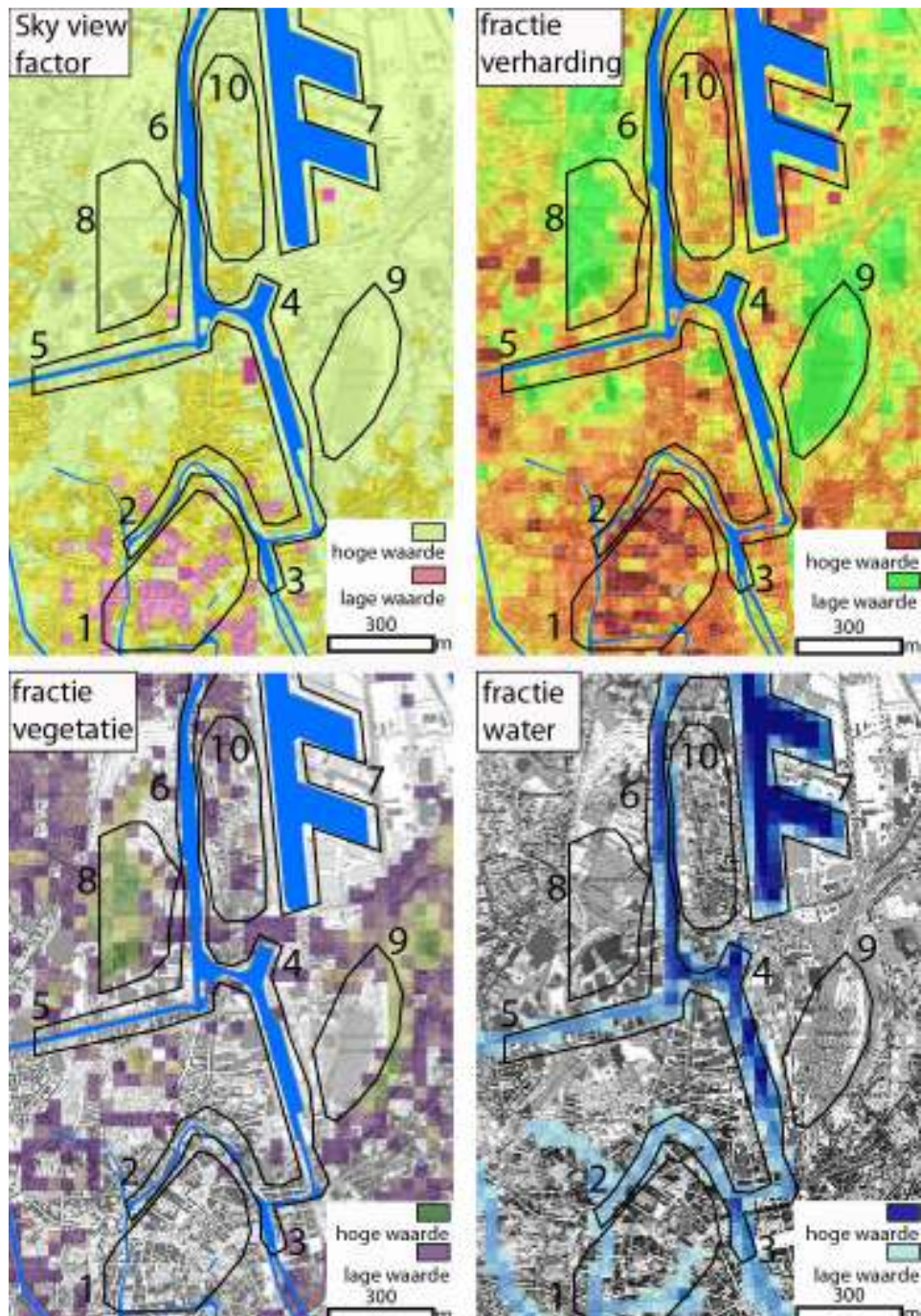
Figuur 176 : De CLUHI-waarden voor de omgeving rond de haven van Gent, het Handelsdok en Portus Ganda.

Opvallend op bovenstaande CLUHI-kaart is dat er een relatief groot temperatuurverschil (0,8 graden Celsius) is tussen het westelijk (de Voorhaven; 2,00°C) en het oostelijk deel (het Grootdok; 1,26°C) van de haven. Het Houtdok iets ten zuiden hiervan (1,69°C) is dan weer iets koeler. Vanaf het Handelsdok (2,36°C), over Dampoort (2,36°C) en de regio rond Portus Ganda (2,37°C) zit de luchttemperatuur boven de 2,00°C en ziet men mooi de graduele verwarming naarmate men het stadscentrum nadert. De SUHI kaarten tonen grotendeels hetzelfde patroon qua temperatuurverschillen (Figuur 177).



Figuur 177 : De SUHI-kaarten (v.l.n.r.) eind mei, midden juli en eind september, voor het gebied rond de haven van Gent (6,7,8,10), het Handelsdok (4) en Portus Gand (3) te Gent.

Op de SUHI kaarten is duidelijk het UHI van de binnenstad van Gent (gebied 1) merkbaar doorheen het jaar. De grotere variatie is te zien rondom de waterlopen. Zo is aan het begin van de warmere zomerse periode eind mei duidelijk te zien dat de Leie (gebied 2), Portus Ganda (gebied 3), de voorhaven (gebied 6) en zeker het Grootdok met Middendok en Zuiddok (gebied 7) koelere gebieden zijn. Dit mildert naarmate de zomer vordert. Zelfs voor de grootste wateroppervlaktes (gebied 7) vervalt het koelere effect eind september bijna compleet. Opnieuw valt op dat het groenere gebied steeds koeler blijft ten opzichte van zijn omgeving (gebied 8). Dit zijn de Wondelgemse Meersen waarover reeds gesproken werd eerder in dit rapport. Gebied 9 is een spoorwegenterrein en blijft steeds een warme plaats. Wel opvallend is dat het koelere gebied dat te zien is op de CLUHI kaarten rondom het Houtdok (gebied 4) in vergelijking met andere havengebieden niet direct zichtbaar is op de verschillende SUHI-kaarten. Ook het verschil tussen het westelijk en oostelijk deel van de haven van Gent dat te zien was op de CLUHI is niet af te leiden op de SUHI.



Figuur 178 : De Sky View Factor, de fractie verharding, de fractie vegetatie en de fractie water voor de omgeving van de haven van Gent, het Handelsdok en Portus Ganda .

Op bovenstaande Figuur 178 is duidelijk te zien dat de SVF-waarde veel lager ligt in het stedelijk weefsel rondom het stadscentrum (gebied 1). De hemel is hier dus niet goed zichtbaar. Verder zien we overal hoge waarden in het havengebied, behalve tussen de Voorhaven en het Grootdok waar de wijk 'de Muide' ligt (gebied 10). Fractie verharding toont duidelijk het stadscentrum en de havengebieden als verharde gebieden. Op deze kaart echter is het verschil tussen de haven en de Muide niet meer zichtbaar. In combinatie met de SVF kan men dus in de verharde gebieden wel achterhalen waar er nu gebouwen staan en waar de grote verharde industrieterreinen liggen, beide evenveel verhard.

De fractie vegetatie toont mooi dat er weinig tot geen groen is zowel in de stad zelf als rondom de haven. Alleen de Wondelgemse Meersen (gebied 8) zijn goed zichtbaar. Ten slotte zien we op de kaart fractie water duidelijk dat de grootste waterlichamen de dokken zijn van de haven van Gent (gebied 7). Ook het Handelsdok (gebied 4) is relatief groot. De binnenwateren zijn hiermee in vergelijking klein (gebied 2, 3 en 5).

Wanneer de variabelen bekeken worden, is duidelijk dat de lage SVF-waarden in het stadscentrum en in de Muide ervoor zorgen dat er in deze gebieden hogere lucht- en oppervlaktetemperaturen zijn. De afwezigheid van groen in het grootste deel van de Muide en daarnaast de hogere groenwaarden van de Wondelgemse Meersen die iets ten westen hiervan liggen, verklaren het relatief grote temperatuurverschil van 0,7°C tussen deze twee. De fractie water die vanzelfsprekend toont dat er veel water in de haven is, verklaart waarom de havengebieden en de binnenwateren koeler zijn aan het begin van de zomerse periode en waarom dit niet meer zo is wanneer de zomer op zijn einde loopt en het water opgewarmd is.

Zoals daarjuist aangehaald valt duidelijk op dat er een aanzienlijk luchttemperatuurverschil is tussen de omgeving van het Grootdok en de omgeving van het Houtdok (gebied 4). De Sky View Factor is bij beide gelijk, net als het percentage water. De oorzaak hiervan is te vinden bij de combinatie van de fractie verharding met de fractie vegetatie. Anders dan rond de overige havengebieden, liggen er rond het Houtdok minder verharde delen. Het verschil dan met de Oude dokken hier juist ten zuiden van is dat deze onverharde delen ingevuld zijn met vegetatie (Figuur 177). Hier is dus duidelijk het verschil merkbaar dat een onverhard deel beplant met groen kan teweeg brengen in de optredende temperaturen.



Figuur 179 : Bovenaan v.l.n.r.: Zicht op het Grootdok vanaf het Zuiddok waar het water relatief breed is en er grote verharde oppervlaktes zijn; zicht op het Houtdok die wel grasperken en enkele boomrijke zones langs het dok heeft; zicht op de Voorhaven waar het water minder breed is. Onderaan v.l.n.r.: zicht op de braakliggende terreinen langs het Handelsdok, opgelet de terreinen zien er op de foto groen uit, maar zijn in feite verharde braakliggende terreinen; zicht op Portus Ganda vanaf de Van Eyckbrug; zicht op Portus Ganda vanaf de Sint-Jorisbrug (Bron: Google Street View)

Conclusie

Het casegebied van de noord-zuidas vanaf de haven tot aan Portus Ganda bevestigde nogmaals de resultaten uit de verschillende regressie analyses. Anders dan bij de dense stadswijken, speelt de Sky View Factor hier een mindere rol. De havengebieden zijn namelijk gekenmerkt door grote open verharde oppervlaktes. Deze gebieden zijn gekenmerkt door een hoge bedekkingsgraad. Water is er veel aanwezig, maar dit koelend effect neemt algauw af naarmate de zomerperiode vordert. Bijna overal in het gebied is er praktisch geen aanwezigheid van dense vegetatiegebieden. Toch kan er een mooie aanpassing opgemerkt worden. Zo is op het eerste zicht niet direct duidelijk waarom de luchttemperaturen een stuk lager zijn rondom het Houtdok in vergelijking met de overige havengebieden. Rondom het Houtdok en bijvoorbeeld ook rondom de Oude Dokken zijn de grote verharde oppervlaktes een stuk minder aanwezig. Echter rondom het Houtdok is deze braakliggende grond ingevuld door vegetatie, wat niet zo is rondom de Oude Dokken. Dit verklaart waarom de luchttemperatuur een stuk lager lag. Wanneer dan gekeken wordt naar welke vegetatie er dan aangeplant is, is merkbaar dat zelfs al een gewoon grasplein reeds invloed heeft.

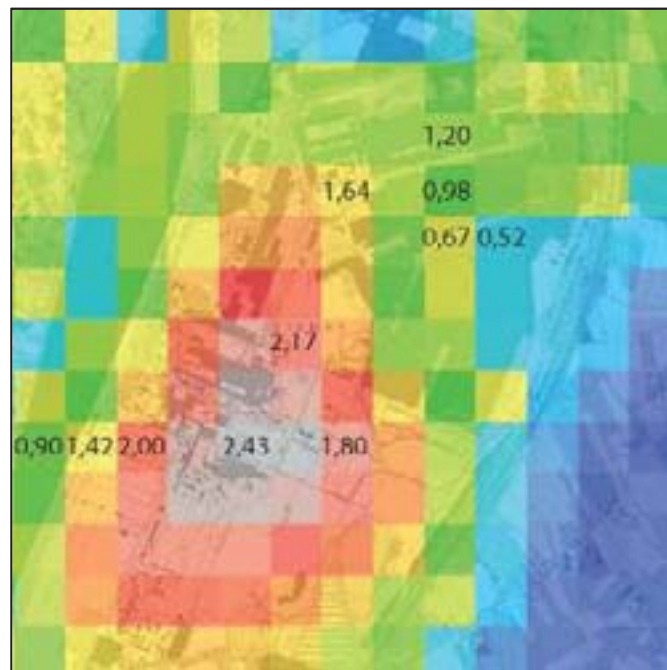
5.4.5. ARCELORMITTAL

Als laatste worden even in detail de terreinen van ArcelorMittal, voorheen Sidmar, bekeken. Deze grote staalfabrieken liggen helemaal in het noorden van Gent langs het kanaal Gent-Terneuzen (Figuur 180). Op de verschillende temperatuurkaarten vallen deze gebieden telkens als een warmere plaats op.



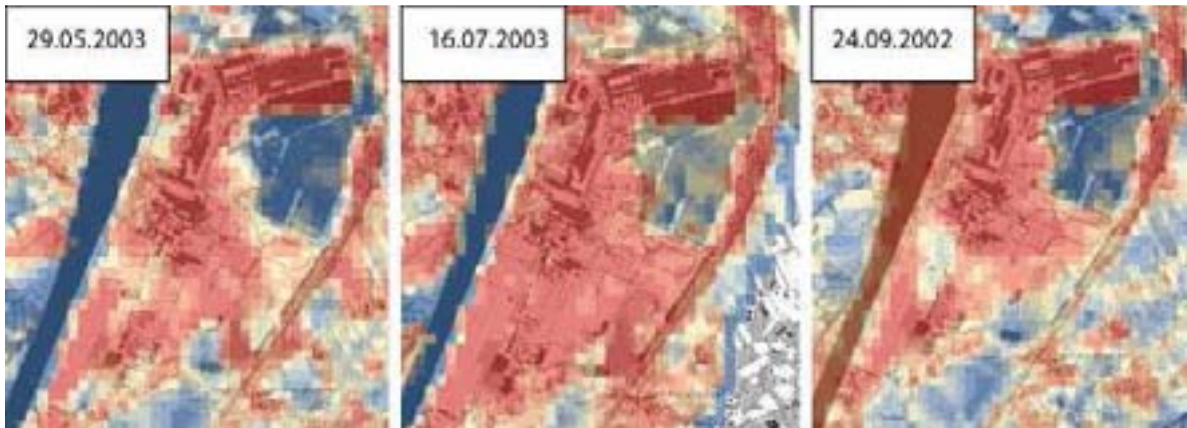
Figuur 180 : Luchtfoto en topografische kaart van de terreinen van ArcelorMittal ten noorden van Gent.

De Cluhi-kaart om 23:00u met de gemiddelde luchttemperatuurwaarden voor de maand augustus 2012 toont de hoogste Cluhi-waarden vooral op het zuidelijk deel van het complex (Figuur 181). Zeker ten opzichte van het kanaal ten westen en de bosgebieden ten noordoosten, zijn de verschillen groot.



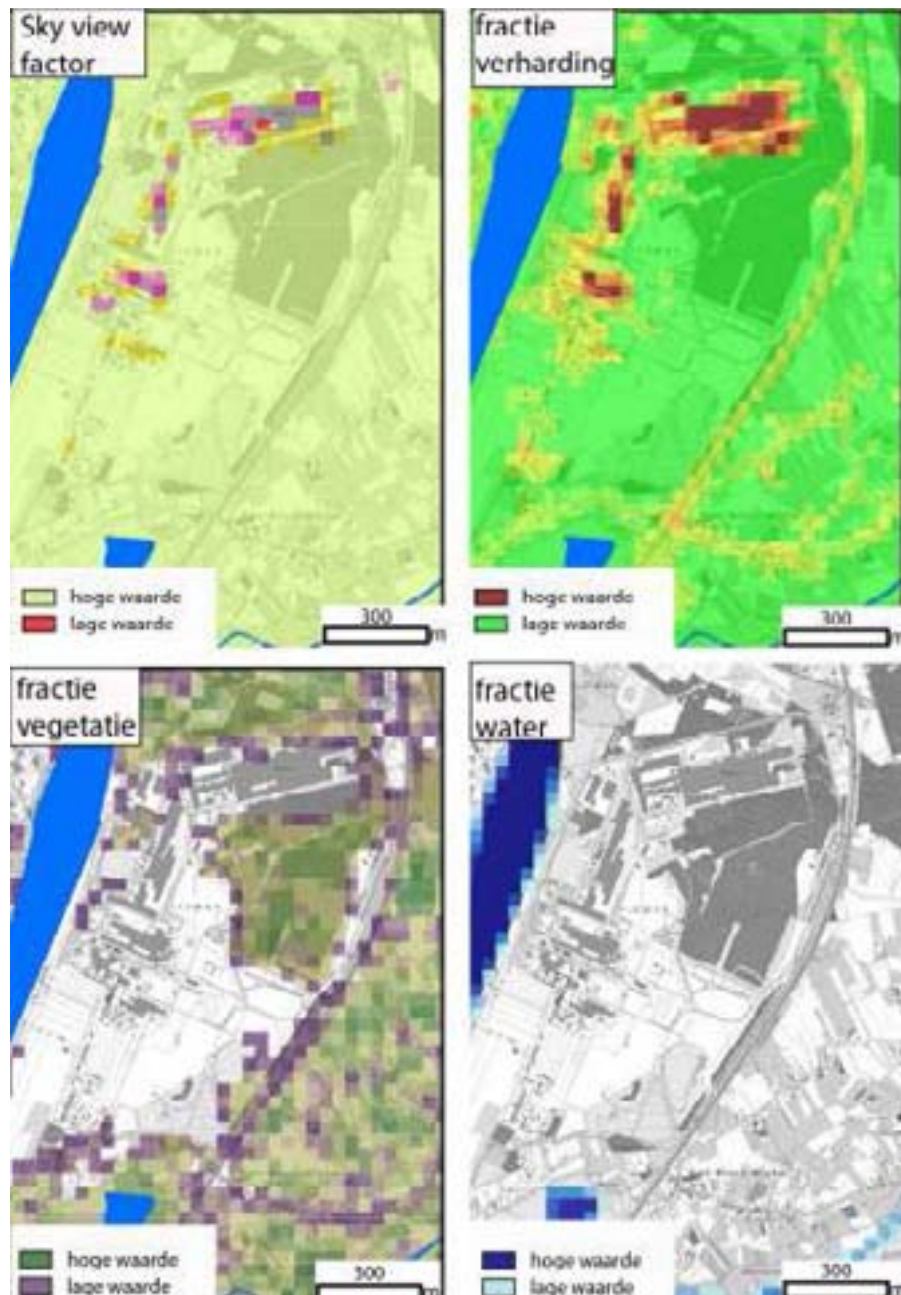
Figuur 181 : De verschillende Cluhi-waarden om 23:00u gemiddeld gezien voor de maand augustus 2012 op 250m grid-resolutie.

Opnieuw moet er opgemerkt worden dat bovenstaande waarden via modellering geschat zijn en dus slechts een benadering zijn van de werkelijke luchttemperaturen. Op de Suhi-kaarten zijn de terreinen ook telkens duidelijk zichtbaar :



Figuur 182 : De SUHI-kaarten (v.l.n.r.) eind mei, midden juli en eind september, voor de terreinen van ArcelorMittal te Gent .

Opnieuw is te zien dat het koelere kanaal na de zomer praktisch geen koelend effect meer heeft. Het boscomplex ten oosten van de bedrijven blijven het gehele jaar koel, zeker in vergelijking met de bedrijven zelf.



Figuur 183 : De Sky View Factor, de fractie verharding, de fractie vegetatie en de fractie water voor de terreinen van ArcelorMittal te Gent.

Op de SUHI-kaarten is duidelijk dat de terreinen van ArcelorMittal warmer zijn dan de omgeving. Zeker met het boscomplex juist ernaast is het verschil groot. Wanneer gekeken wordt naar de variabelen speelt hier vooral de fractie verharding een grote rol. Enkel in bepaalde delen in de Sky View Factor laag.

Conclusie

Op de verschillende kaarten bleek ArcelorMittal telkens een duidelijke hotspot. Meer in detail bekeken was al gauw duidelijk dat de fractie verharding en het volledig ontbreken van de fractie vegetatie hier de oorzaak van is.

5.5. CONCLUSIES CASE-STUDY GEBIEDEN

De verwachting was dat de zoom op de verschillende casegebieden grotendeels de bevindingen op de totale schaal van het grondgebied Gent gingen bevestigen. Dit bleek ook zo te zijn. Het nuttige van deze zooms op een kleiner schaalniveau is dat hiermee, eventueel bepaalde verschillen in het stedelijk weefsel in relatie tot de temperaturen kunnen bekeken worden. Gent heeft namelijk naast haar historisch centrum onder andere dense woonwijken, open groenstructuren en natuurlijk haar haven, telkens volledig andere stadsdelen. Het vooropgestelde regressiemodel kon grotendeels omgaan met elk van deze verschillende weefsels.

In stedelijke omgevingen kan de overheid het meest doelgericht ingrijpen in de openbare ruimte. Het aanpassen van deze ruimtes is iets wat veel financiële en operationele kosten met zich meebrengt. Het is daarom nodig zo goed mogelijk te weten welke maatregelen welke gevolgen zullen hebben op vlak van het Urban Heat Island, in eerste instantie voor de openbare ruimte, maar vervolgens ook voor de omliggende woon en/of werkgebieden. Beleidsaanbevelingen naar wat het best gedaan wordt, zullen in detail besproken worden in HOOFDSTUK 8.

HOOFDSTUK 6. KWETSBAARHEIDSANALYSE

Karel Van den Berghe, Luuk Boelens – UGent/AMRP

6.1. INLEIDING

6.1.1. POSITIONERING IN HET GROTER GEHEEL

In navolging van (Bernstein *et al.*, 2007) wordt voor dit onderzoek uitgegaan van een combinatie van drie factoren voor het bepalen van de kwetsbaarheid van een gebied met betrekking tot het stedelijk hitte-eiland effect (SHEe):

- a) het zich voordoen van het stedelijk hitte eiland effect (exposure)
- b) de gevoeligheid van bevolking hieraan en
- c) de adaptieve capaciteit van het gebied om daaraan iets te doen.

Hierboven, in hoofdstukken 2 t.e.m. 5 zijn we ingegaan op onderdeel (a). In dit hoofdstuk zullen we vooral ingaan op onderdeel (b), alhoewel we tevens een eerste aanzet zullen geven voor onderdeel (c). Dit laatste zal echter vooral een doorwerking krijgen in HOOFDSTUK 8, waar we de conclusies en beleidsaanbevelingen formuleren.

6.1.2. ENKELE THEORETISCHE OVERWEGINGEN M.B.T. DE SHE-GEVOELIGHEID VAN DE BEVOLKING

Voor wat de kwetsbaarheid van Gent voor UHle betreft dienen de resultaten uit hoofdstukken 2, 3, 4 en 5 allereerst gerelateerd te worden aan de karakteristieken van de bevolking. Blootstelling aan (extreme) hitte is een bedreiging voor de menselijke gezondheid en in het algemeen voor het menselijke welzijn (Patz *et al.*, 2005). Het opwarmen van het menselijk lichaam bij hitte wordt aangeduid als hyperthermia (Desforges & Simon, 1993). Vooral wanneer deze opwarming langdurig is, kan dit leiden tot hitte gerelateerde ziekten zoals krampen, flauwtes, beroertes en zelfs de dood (Kilbourne, 1997). Uitputting is het eerst optredende en daarom ook meest voorkomende gevolg van een verhoogde omgevingstemperatuur (Lugo-Amador *et al.*, 2004). Symptomen hierbij zijn dorst, hevig zweten, een gevoel van zwakte, bleekheid, een ongemakkelijk gevoel, een angstig gevoel, duizeligheid, vermoeidheid, flauwvallen, misselijkheid gepaard met braken en hoofdpijn. De lichaamstemperatuur in dergelijke situaties zal nog geen verandering tonen net als de huid die nog steeds koud en vochtig kan zijn. Echter, indien men uitputting door hitte gekenmerkt door de zojuist opgesomde symptomen, niet tijdig detecteert, kan een persoon overgaan tot een beroerte. Een beroerte door hitte gaat gepaard met een stijging van de lichaamstemperatuur boven de 40 °C en de huid zal droog en warm aanvoelen. Daarnaast zal het centrale zenuwstelsel niet meer naar behoren functioneren wat kan leiden tot stuip trekkingen, waanzin of coma (Bouchama & Knochel, 2002; Kilbourne, 1997). Het risico op hyperthermia verhoogt indien een persoon hartproblemen heeft (Desforges & Simon, 1993).

Liefst 95 procent van de geregistreerde sterftegevallen als gevolg van natuurlijke rampen in postindustriële samenlevingen, is gelinkt aan extreme temperaturen (Kazmierczak, 2012). In de Verenigde Staten en Australië doden hittegolven meer mensen dan tornado's, orkanen, blikseminslagen en overstromingen gecombineerd (Poumadère *et al.*, 2005). De relatie tussen een bepaalde stijging in temperatuur en de daaruit volgende stijging in menselijk onbehagen en stijging in sterfte varieert sterk naargelang de breedtegraad en de klimatologische zone. Mensen in meer gematigde landen zijn bijvoorbeeld meer kwetsbaar voor langdurige hitte dan mensen in warmere landen doordat deze laatste meer gewend zijn aan hogere temperaturen (McMichael, 2006). De kwetsbaarheid wordt dus groter indien een hittegolf minder frequent voorkomt, zeker tijdens periodes waarin dit zeer uitzonderlijk is (Kalkstein & Greene, 1997; McGeehin & Mirabelli, 2001). Voor België betekent dit dat mensen meer kwetsbaar zijn voor hittegolven dan bijvoorbeeld mensen uit Zuid-Europa, waar men meer gewend is aan hittegolven. Deze kwetsbaarheid is des te groter in stedelijke omgevingen, zoals Gent, waar het effect van hittegolven versterkt wordt door het optreden van het SHE effect (Haines *et al.*, 2006).

Zoals in de vorige hoofdstukken aangehaald, kent het SHE zowel een dag- als nachtcomponent. Wil men dus de kwetsbaarheid bekijken van de bevolking aan het SHE, dan moet dit ook voor deze twee componenten gebeuren (Arnfield, 2003; Oke, 1982; Voogt & Oke, 2003)⁴⁶.

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 (Clark, 1998). Het is een combinatie van fysiologische, sociale en ecologische variabelen (Harlan *et al.*, 2006). Toch staat dit niet in de weg om een aantal algemene conclusies te trekken.

Ten eerste kan geconstateerd worden dat vooral leeftijd een rol speelt en dan vooral in de leeftijdsgroepen tot 4 jaar en boven 65 jaar (Knowlton *et al.*, 2008). Dit is omdat ouderen en jonge kinderen minder hitte-regulerende mechanismen hebben (Bartlett, 2008; CDC, 1993). Fysiologisch hebben ouderen een verminderde thermoregulatie, verminderde cardiovasculaire gezondheid of een slechtere werking van de nierfuncties wat hun kwetsbaar maakt voor hitte (Semenza *et al.*, 1996). Jonge kinderen zijn dan gevoelig voor hitte door vooral hun mindere adaptieve acties (Kovats & Kristie, 2006). Kinderen die daarenboven ziek zijn, met name diarree, ademhalingsproblemen en neurologische defecten hebben zijn extra kwetsbaar (McGeehin & Mirabelli, 2001). Nemen ouderen als jonge kinderen ook bepaalde medicaties⁴⁷ die invloed hebben op de zout- en waterbalans, zijn deze nog gevoeliger voor hitte (Desforges & Simon, 1993; Lubert & McGeehin, 2008; McGeehin & Mirabelli, 2001).

Ten tweede zijn er ook op sociaal vlak 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 leiden onder de hitte (Klinenberg, 2003; McGeehin & Mirabelli, 2001). Tijdens de hittegolf van 2003 waren liefst 92 procent van de slachtoffers ten gevolge van deze hittegolf alleenstaanden (Poumadère *et al.*, 2005). Alleenstaanden worden doorgaans onvoldoende door hun omgeving gewezen op de gevaren van hitte en problemen van uitdroging. Vanzelfsprekend zijn alleenstaande ouderen in deze groep extra gevoelig, maar opvallend was dat tijdens de hittegolf in 2003 in Parijs twee derde van de alleenstaanden die slachtoffer waren van de hittegolf wonende waren in een bejaardentehuis en een derde nog zelfstandig wonende was (Kovats & Kristie, 2006; Poumadère *et al.*, 2005). Naast sociale isolatie zijn minderheids- en lage inkomensgroepen meer vatbaar voor de gevolgen van hitte (Huang *et al.*, 2011). Minderheidsgroepen – zoals allochtonen, oftewel niet van origine Belgen – en dan vooral

⁴⁶ Voor verdere informatie zie het deelrapport WP 2.1.

⁴⁷ Deze medicaties zijn bijvoorbeeld diuretica die urineafvoer stimuleren; anticholinergica, die het aanmaken van urine verminderen; en slaapmiddelen en antipsychotica die invloed hebben op het zweten (Lubert & McGeehin, 2008)

hier opnieuw de jonge kinderen en ouderen (Bartlett, 2008), zijn sociale groepen die meer vatbaar zijn voor de gevolgen van hitte (Haines *et al.*, 2006; LoVecchio *et al.*, 2005). Deze minderheidsgroepen hebben meestal een mindere kennis van, specifiek voor Gent, het Nederlands, wat ervoor zorgt dat communicatie, bijvoorbeeld via radio, tussen overheid en deze groepen in geval van hittegolfwaarschuwingen, minder goed verloopt. Daarbovenop komt dat de culturele verschillen die er bestaan tussen de Belgen en van origine niet-Belgen, een hinder kunnen zijn naar hulpverlening toe door misverstanden over de soort of ernst van de problemen (Thrush *et al.*, 2005). Lage inkomensgroepen zijn meestal meer vatbaar voor hitte door een combinatie van (Dodman, 2008):

- een grotere blootstelling door het wonen in de delen van de stad waar het UHI het grootst is;
- een lagere adaptieve capaciteit (dit is bijvoorbeeld het verhuizen naar beter geïsoleerde huizen of het aanpassen van die huizen);
- een lagere graad van bescherming (fysiologisch, door onbekendheid, maar ook minder afgesloten verzekeringen etc.).

Naast de sociale en fysiologische component, kan echter ook het drinken van alcohol, het nemen van drugs of het deelnemen aan fysisch intensieve activiteiten, zoals het beoefenen van sport of manuele arbeid, tijdens warme periodes het risico op gezondheidsrisico's ten gevolge van hitte vergroten (Bytomski & Squire, 2003; Semenza *et al.*, 1996). Het Amerikaanse College of Sport Medicine⁴⁸ raadt daarom aan, om te hoge risico's te voorkomen, een sportevenement af te lasten boven een natteboltemperatuur van 28°C; dat is doorgaans de drempel waarboven men op natuurlijke manier, dit is via zweten, niet meer genoeg kan afkoelen (ACSM, 1987; Desforges & Simon, 1993). Een goede gezondheid en jonge leeftijd doet er in dit geval niet echt toe, zelfs in deze groep stijgt het risico sterk boven deze drempel (Desforges & Simon, 1993).

6.2. KWETSBAARHEID OP HET NIVEAU VAN DE STAD GENT ALS GEHEEL

Tegen deze (theoretische) achtergrond, hebben we in eerste instantie voor geheel Gent een kwetsbaarheidsanalyse uitgevoerd van de 25 wijken van de stad. De indeling daarvan is in onderstaande figuur gegeven.

⁴⁸ <http://www.acsm.org>



Figuur 184 : Overzicht wijken Gent.

Centrale vraag hierbij was: welke wijk in Gent is nu 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). Gegeven de beperkt beschikbare tijd en (financiële) middelen, hebben we ons daarbij in eerste instantie beperkt tot een statische analyse; d.w.z. op basis van de verkregen CLUHI kaarten (nachtstress) en SUHI kaarten (dagstress) hebben we geanalyseerd welke wijken nu het meest gevoelig zijn op elk van de onderstaande criteria afzonderlijk. Op deze analyses hebben we in een onderlinge brainstorm nader te onderzoeken wijken geselecteerd, die meer dynamisch en onderling afgestemd zijn gewogen. De aanwezige GIS-gegevens zijn daartoe in eerste instantie op het niveau van Gent als geheel gecorreleerd met de CLUHI- en SUHI-waarden op respectievelijk 19 augustus 2012 om middernacht (dit is na de warmste zomerdag) en 29 mei 2003. Gegeven de literatuurverkenning, zijn daarbij de volgende parameters gehanteerd, onderverdeeld naar demografische, sociaaleconomische factoren en kwetsbare functies :

Tabel 25 : Parameters UHI kwetsbaarheid naar dag- en nachtstress. NWWZ staat hierin voor Niet-Werkende Werkzoekenden en RVT = Rust en VerzorgingsTehuizen.

		CI.UHI Dagstress	SUH: Nachtstress
Demografie	groeiprog. tot 2012 ^a	x	x
	groeiprog. tot 2012 ^b	x	x
	werkgelegenheidsdichtheid ^c	x	x
	aanwonersdichtheid ^d	x	x
	toestrooming RVT ^e	x	x
Sociaal - Economisch	onderzoek naar stressoren ^f	x	
	NWWZ ^g		x
	werkloosheidspercentage tot 2012 ^h		x
Kwetsbare functies	aanwoners en functionarissen ⁱ		x
	aanwoners ^j		x
	functionarissen ^j		x
	zilverhuizen ^j	x	x
	overstappers ^j	x	x
	RVT ^j	x	x
	aanwoners en functionarissen tot 2012 ^k		x

^a Bevolkingsregister Stad Gent (bevolkings- en woonkenningsregister); situatie 31-12-2012

^b Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie - 2009

^c Vlaamse Dienst voor Arbeidsbemiddeling en Beroepsopleiding (VDAB); situatie 31-03-2012

^d Dienst data, GIS en planning; Geme. 2012

^e Niet ter beschikking

Een aantal parameters was niet beschikbaar en konden wij derhalve niet meenemen in onze analyse op het niveau van de stad. Dit betroffen 'groeiprognozes' en 'werkgelegenheidsdichtheid'. Deze hebben we echter wel in kwalitatieve zin meegenomen bij de meer dynamische analyse van de in situ locaties (zie volgende paragraaf). Daarnaast waren de kwetsbare functies alleen naar aantallen beschikbaar, niet wat omvang of aard betreft. Op het niveau van de stad is daarvan derhalve een statische/aantallen afweging gemaakt. Echter bij de in situ locaties is een meer kwalitatieve afweging ook voor deze parameters gegeven. Hieronder volgen per set parameters de belangrijkste conclusies van deze statische analyses.

BOX 1 : Op het niveau van de stad is gewerkt met een statische, ongewogen analyse van de kwetsbaarheid van de 25 wijken. Wat hiermee bedoeld wordt is :

- dat allereerst de gemiddelde SUHI en CLUHI waarden per wijk zijn bepaald en dat deze vervolgens zijn gestandaardiseerd op een schaal van 0-1. Dit heeft het volgende overzicht opgeleverd.

	SUHI	CLUHI
Binnenstad	0,0428	0,0575
Bloemkenswijk	0,0420	0,0433
Brugse Poort - Rooigem	0,0396	0,0496
Dampoort	0,0437	0,0561
Drongen	0,0358	0,0280
Elisabethbegijnhof - Pepergaai	0,0424	0,0623
Gentbrugge	0,0372	0,0293
Kanaaldorpen en -meer	0,0379	0,0362
Leideberg	0,0423	0,0554
Macharius - Heims	0,0411	0,0449
Marialkerke	0,0363	0,0305
Molcou - Vogelhoek	0,0429	0,0384
Muide - Meulestede - Afrikaans	0,0407	0,0441
Nieuw Gent - VZ	0,0392	0,0281
Oostakker	0,0391	0,0234
Oud Gentbrugge	0,0419	0,0478
Rabot - Blakenwest	0,0426	0,0527
Sint Amandsberg	0,0388	0,0278
Sint Denijs Westrem	0,0369	0,0303
Sluizen - Tolhuis - Ram	0,0433	0,0456
Stationsbuurt Noord	0,0417	0,0496
Stationsbuurt Zuid	0,0389	0,0354
Watersportbaan - Ekkergem	0,0361	0,0355
Wondelgem	0,0397	0,0342
Zwijnaarde	0,0372	0,0150
TOTAAL	1,0000	1,0000

- vervolgens is aan de hand van de beschikbare GIS-bestanden, per parameter bepaald hoe groot het percentueel aandeel van de 25 wijken op het betreffende criterium is. Dat percentage is vermenigvuldigd met de bovengenoemde SUHI- en CLUHI-waarden per wijk. Dat heeft bijgaande tabel opgeleverd.

Parametereenheden	Demografisch		
	gevoelige leeftijden (>65)	Suhi	Cluhi
Binnenstad	0,0467	0,0018	0,0026
Bloemkenswijk	0,0478	0,0020	0,0020
Brugse Poort - Rooigem	0,0959	0,0038	0,0048
Dampoort	0,0622	0,0027	0,0035
Drongen	0,0387	0,0014	0,0011
Elisabethbegijnhof - Pepergaai	0,0167	0,0008	0,0012
Gentbrugge	0,0286	0,0010	0,0006
Kanaaldorpen en -meer	0,0097	0,0004	0,0004
Leideberg	0,0448	0,0018	0,0025
Macharius - Heims	0,0282	0,0012	0,0015
Marialkerke	0,0476	0,0017	0,0015
Molcou - Vogelhoek	0,0198	0,0008	0,0008
Muide - Meulestede - Afrikaans	0,0318	0,0015	0,0014
Nieuw Gent - VZ	0,0377	0,0015	0,0011
Oostakker	0,0527	0,0021	0,0012
Oud Gentbrugge	0,0401	0,0017	0,0019
Rabot - Blakenwest	0,0438	0,0018	0,0023
Sint Amandsberg	0,0752	0,0028	0,0021
Sint Denijs Westrem	0,0179	0,0007	0,0005
Sluizen - Tolhuis - Ram	0,0485	0,0021	0,0022
Stationsbuurt Noord	0,0330	0,0014	0,0016
Stationsbuurt Zuid	0,0248	0,0010	0,0009
Watersportbaan - Ekkergem	0,0235	0,0008	0,0008
Wondelgem	0,0601	0,0024	0,0023
Zwijnaarde	0,0260	0,0010	0,0004
Som	1,0000	0,0402	0,0407

- Bijvoorbeeld: De Binnenstad telt iets meer dan 4% van de warmte-stress gevoelige kinderen van Gent. Vermenigvuldigd met de SUHI-waarde 0,0428, levert dat het parameter-gewicht 0,0019. Enkel voor de presentatie in tabel 2 is dat parameter gewicht vermenigvuldigd met het getal 10.000; dus resultaat 19,1 (in één digit, ongeveer de zesde plaats naar gevoeligheid op dit criterium overdag).
- Dat is zo gedaan voor alle voornoemde parameters. Aangezien geen nadere gegevens beschikbaar waren van de omvang, aard en gevoeligheid van de kwetsbare functies; is voor tabel 5 gewerkt met de aantallen kwetsbare functies in de betreffende wijk, vermenigvuldigd met de bovengenoemde SUHI- en CLUHI-waarden (elke kwetsbare functie telt hier dus even zwaar).
- In de onderstaande tabellen zijn voorts de meest gevoelige wijken opgelicht; ipv de top drie of vijf is daarbij gewerkt met een procentuele benadering. Alleen die meest gevoelige wijken zijn opgelicht die naar parameter-waarde dicht bij elkaar in de buurt liggen. Grote sprongen en breuken in de rangordening zijn daarbij dus ingecalculeerd.

6.2.1. DEMOGRAFISCHE PARAMETERS

Zoals uitgelegd in Box 1 staan hieronder de demografische parameters per wijk vermenigvuldigd met de daar optredende SUHI- en CLUHI-waarden uitgeschreven.

Tabel 26 : Statische analyse 25 wijken Gent, naar demografische gevoeligheid UHI

Parasietengewichten	gewelinge leeftijden (-4)		gevoelige leeftijden (-65)		inwonersdichtheid		aantal alleenstaanden		niet-Belg/Belg	
	SuHI	CluHI	SuHI	CluHI	SuHI	CluHI	SuHI	CluHI	SuHI	CluHI
Binnenstad	19,1	25,7	28,8	38,7	27,4	36,9	40,0	80,7	27,7	37,3
Bloerekenswijk	20,0	20,1	12,9	12,9	21,6	21,7	12,3	12,3	22,8	22,8
Brugse Poort - Koolgarn	28,0	47,5	23,0	28,8	26,7	33,5	28,7	36,0	23,8	29,7
Dampoort	27,1	34,8	14,3	18,2	34,8	44,6	17,6	22,6	26,3	30,7
Doornen	11,9	10,8	23,3	18,2	1,7	1,3	9,0	7,0	1,7	1,3
Elisabethbegijnhof - Papegauw	7,9	11,7	11,1	16,4	28,9	44,0	32,2	32,8	20,0	29,5
Gentbrugge	9,9	7,8	14,5	11,4	5,7	4,5	8,5	6,7	5,4	4,3
Kanaalvelden en zone	3,7	3,3	3,3	3,3	0,3	0,3	1,9	1,9	1,9	1,8
Leidsberg	19,0	14,3	14,0	18,3	24,9	32,8	15,9	20,8	26,1	34,1
Macharius - Beirnis	12,6	12,7	6,7	7,3	39,8	39,2	13,9	19,2	22,9	25,0
Melkenkerke	17,3	14,5	29,4	21,4	9,8	4,7	13,7	11,5	4,1	3,4
Moscou - Vogelhoeck	8,6	7,6	8,4	7,5	14,9	13,3	6,4	5,7	6,8	6,1
Muide - Muisvelden - Afrikaans	13,9	14,0	7,5	8,1	15,5	16,8	9,5	10,3	38,7	36,5
Nieuw Gent - UZ	14,8	10,6	11,6	8,4	7,3	5,3	15,7	11,3	21,6	15,5
Oostakker	20,6	12,3	21,1	12,6	4,6	2,8	10,0	6,0	3,2	1,9
Oud Gentbrugge	16,8	19,2	12,7	14,5	23,3	26,6	11,7	13,3	13,9	15,9
Rabot - Buisantvoet	18,7	23,1	8,1	10,2	39,6	40,0	13,7	16,9	49,1	16,2
Sint Amandsberg	29,1	20,9	29,9	21,4	10,5	7,5	21,5	15,4	8,8	6,3
Sint Donix Werbreem	6,8	5,4	13,7	11,2	2,5	2,1	8,0	4,9	4,4	3,6
Sluizeken - Tolhuis - Ham	21,0	22,1	17,4	18,3	38,2	38,2	21,1	22,2	41,0	45,1
Stationsbuurt Noord	13,8	16,4	19,3	22,9	20,1	24,0	30,7	36,8	15,8	16,4
Stationsbuurt Zuid	9,7	8,8	11,8	10,7	10,6	9,8	14,6	13,3	24,3	18,0
Watersperthaan - Elkerken	6,5	8,3	18,1	19,8	6,9	6,8	18,9	18,6	12,3	12,1
Wondelgem	23,8	20,5	28,1	24,1	6,0	5,2	14,8	12,8	7,0	6,0
Zwijnaarde	9,7	8,9	13,0	5,2	2,1	0,8	6,6	2,7	3,1	1,3

Wat de gevoeligheid voor kinderen betreft zijn de meest gevoelige wijken van Gent de *Brugse Poort*, *Sint Amandsberg* en *Dampoort* voor dagstress, en de *Brugse Poort* en *Dampoort* voor de nachtstress. Wat de gevoeligheid van ouderen betreft zijn de meest gevoelige wijken van Gent *Sint Amandsberg*, *Binnenstad* en *Wondelgem* voor dagstress. Voor de nachtstress is *Binnenstad* het meest gevoelig.

Wat inwonersdichtheid betreft zijn echter vooral *Rabot*, *'t Sluizeken*, *Macharius* en *Dampoort* (dagstress) of *Rabot*, *Dampoort*, *Elisabeth Begijnhof*, *Macharius*, *'t Sluizeken* en *Binnenstad* (nachtstress) de meest gevoelige wijken.

Voor alleenstaanden gaat het vooral om de *Binnenstad* (dag- en nachtstress) en voor de verhouding niet-Belg/Belg vooral om de wijken *Rabot* en *'t Sluizeken* (dag- en nachtstress).

De *Binnenstad* blijkt derhalve hier meestal (dicht)bij de hoogste van de verschillende demografische parameters (dag en nacht) aan te leunen, net als soms *Rabot* en *'t Sluizeken*; en in een enkel geval *Brugse Poort* en *Dampoort*.

6.2.2. SOCIAAL-ECONOMISCHE FACTOREN

Zoals uitgelegd in Box 1 staan hieronder de sociaaleconomische parameters per wijk vermenigvuldigd met de daar optredende SUHI- en CLUHI-waarden uitgeschreven.

Tabel 27 : Statistische analyse 25 wijken Gent, naar sociaaleconomische gevoeligheid UHI

Parameter-gewichten	Ondermodaal inkomen		NWWZ		Werkgelegenheidsdichtheid	
	Suhi	Cluhi	Suhi	Cluhi	Suhi	Cluhi
Binnenstad	17,3698	23,3740	24,5953	33,0972	p.m.	p.m.
Bloemekenswijk	20,4109	20,5092	17,6923	17,7775	p.m.	p.m.
Brugse Poort - Nooigem	19,1050	23,3077	19,0311	24,5712	p.m.	p.m.
Dampoort	19,1285	24,5582	24,4758	31,4232	p.m.	p.m.
Droogden	10,9926	8,1087	10,0256	7,8223	p.m.	p.m.
Elisabethbegijnhof - Papegaei	16,9906	25,0543	26,5450	39,1120	p.m.	p.m.
Gentbrugge	11,9913	9,4489	10,9214	8,6059	p.m.	p.m.
Kanaaldorpen en -zone	15,1224	14,4333	13,7420	13,1158	p.m.	p.m.
Ledeberg	19,5508	25,5076	23,4594	30,7050	p.m.	p.m.
Macharius - Heirnis	16,3907	17,9272	18,4656	20,1965	p.m.	p.m.
Mariakerke	11,4561	9,6249	11,0808	9,3096	p.m.	p.m.
Monsieu - Ysselbroek	16,3477	14,6098	16,4843	14,7318	p.m.	p.m.
Muide - Meulestede - Afrikaans	20,5915	22,1953	17,9653	19,4518	p.m.	p.m.
Nieuw Gent - UZ	18,8311	13,5229	11,0190	7,9129	p.m.	p.m.
Oostakker	12,8284	7,6672	9,1439	3,9651	p.m.	p.m.
Oud Gentbrugge	16,7343	10,1056	20,0315	22,8701	p.m.	p.m.
Rabot - Blaisantvest	24,6047	30,4443	22,4199	27,7410	p.m.	p.m.
Sint Anandenberg	14,0608	10,0692	10,7669	7,7104	p.m.	p.m.
Sint Denijs Westrem	10,7748	8,8589	11,1677	9,1819	p.m.	p.m.
Sluizeken - Tolluis - Ham	23,3836	24,6748	19,7367	20,8265	p.m.	p.m.
Stationsbuurt Noord	15,9310	16,3689	20,6648	24,6073	p.m.	p.m.
Stationsbuurt Zuid	11,8076	10,7259	13,7567	12,4964	p.m.	p.m.
Watersportbaan - Ekkergem	15,2029	14,9291	13,8235	12,5916	p.m.	p.m.
Wondelgem	14,3634	12,3736	15,5440	11,6678	p.m.	p.m.
Zwijnaarde	11,4958	4,6315	5,5612	2,2405	p.m.	p.m.
Som	402,9262	413,0909	405,7187	435,2296	p.m.	p.m.

Wat betreft een ondermodaal inkomen blijken de meest gevoelige UHI wijken *Rabot*, 't *Sluizeken*, *Muide* en *Bloemekenswijk* (voor de dagstress) en *Rabot*, *Ledeberg*, *Elisabethbegijnhof*, 't *Sluizeken*, *Dampoort* en *Brugse Poort* voor de nachtstress.

Voor het aandeel niet-werkende werkzoekenden (NWWZ) is vooral *Elisabethbegijnhof*, *de Binnenstad* en *Dampoort* gevoelig, zowel voor de dag- als nachtstress (*Ledeberg* alleen voor de nachtstress).

De gegevens omtrent de Werkgelegenheidsdichtheid waren niet gekend tijdens het onderzoek en zijn derhalve uit het onderzoek gelaten.

Voor deze sociaaleconomische factoren lijken derhalve vooral *Dampoort* en *Elisabethbegijnhof* gevoelig, op de voet gevolgd door o.a. *Binnenstad*.

6.2.3. KWETSBARE FUNCTIES

Wat de kwetsbare functies betreft hebben we zoals gezegd vooralsnog gekeken naar de aantallen daarvan. Niet in volgende tabellen, maar wel in Tabel 25, staat de parameter 'Openbare evenementen' vermeld. Hiermee wordt vooral bedoeld op de jaarlijkse Gentse Feesten en de Stadsloop, beide bijna uitsluitend georganiseerd in de Binnenstad, de reden waarom deze hier niet meer vermeld zijn.

Tabel 28 : Statistische analyse 25 wijken Gent, naar aantallen kwetsbare functies.

Aantallen	ZIEKEN	OUDEREN		KINDEREN		
	ziekenhuis	serviceflats	RVT	speelterreinen	kinderopvang	onderwijs
Binnenstad	0	3	5	4	18	13
Bloemekenswijk	1	0	0	6	10	5
Brugse Poort - Rooigem	0	0	0	14	23	7
Dampoort	0	0	1	4	14	2
Drongen	0	0	1	6	37	7
Elisabethbegijnhof - Papegaai	0	1	1	1	9	4
Gentbrugge	0	0	0	4	29	4
Kanaaldorpen en -zone	0	0	0	2	11	2
Ledeberg	0	0	1	7	19	2
Macharius - Heimis	0	1	0	6	12	3
Mariakerke	0	0	2	14	29	5
Moscou - Vogelhoek	0	0	0	1	13	2
Muide - Meulestede - Afrikalaan	0	0	0	9	5	3
Nieuw Gent - IJZ	1	0	0	4	33	7
Oostakker	0	1	1	9	40	6
Oud Gentbrugge	1	0	1	6	25	2
Rabot - Blaisantvest	0	0	0	6	0	4
Sint Amandsberg	0	0	2	16	43	7
Sint Denijs Westrem	2	0	2	4	21	2
Sluizeken - Tolhuis - Ham	3	3	3	10	16	5
Stationsbuurt Noord	1	0	1	4	26	9
Stationsbuurt Zuid	0	0	2	1	12	5
Watersportbaan - Ekkergem	1	1	1	10	5	3
Wondelgem	0	0	4	7	30	2
Zwijnaarde	0	0	2	3	17	2

Tabel 29 : Statische analyse 25 wijken Gent, naar UHI gevoeligheid voor kwetsbare functies.

Parameter-gewichten	speelsterreinen		kinderopvang		onderwijs		ziekenhuis		serviceflats		RVT	
	Subi	Cluhi	Subi	Cluhi	Subi	Cluhi	Subi	Cluhi	Subi	Cluhi	Subi	Cluhi
Binnenstad	10,8	15,5	49,2	0,0	0,0	0,0	128,3	172,6	71,3	95,9		
Bloemkekenwijk	15,9	8,4	18,6	42,0	42,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Brugse Poort - Koolgem	25,1	18,3	24,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Dampoort	11,1	13,3	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Drogen	13,6	26,7	22,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Elisabethbegijnhof - Papegaaie	2,7	7,7	15,0	0,0	0,0	0,0	42,4	82,5	14,1	20,8		
Gentbrugge	9,4	21,7	13,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Kanaaldorpen en zone	4,8	8,4	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Ledeberg	18,8	16,2	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Macharius - Heirnis	15,6	9,9	10,9	0,0	0,0	0,0	41,1	44,9	0,0	0,0		
Mariakerke	22,1	31,3	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Moscou - Vogelhoek	2,7	11,2	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Muide - Meulestede - Afrikalaan	23,2	4,1	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Nieuw Gent - UZ	9,9	26,0	24,3	39,2	28,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Oostakker	22,7	21,5	20,8	0,0	0,0	0,0	29,1	28,4	19,0	7,8		
Oud Gentbrugge	15,9	21,1	7,4	41,9	47,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Robot - Blaisantvest	16,2	0,0	15,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Sint Amandsberg	22,1	23,3	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Sint Denis Westrem	9,3	13,6	6,5	73,7	60,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Sluizeken - Tolhuis - Ham	27,4	13,9	19,1	129,7	136,9	129,7	136,9	45,2	45,6	45,6		
Stationsbuurt Noord	10,5	21,8	33,2	41,7	49,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Stationsbuurt Zuid	2,6	9,1	17,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Watersportbaan - Elkerkem	22,9	3,6	9,6	36,1	35,5	36,1	35,5	12,0	11,8	11,8		
Wondelgem	17,6	23,4	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Zwijnaarde	7,1	12,7	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		

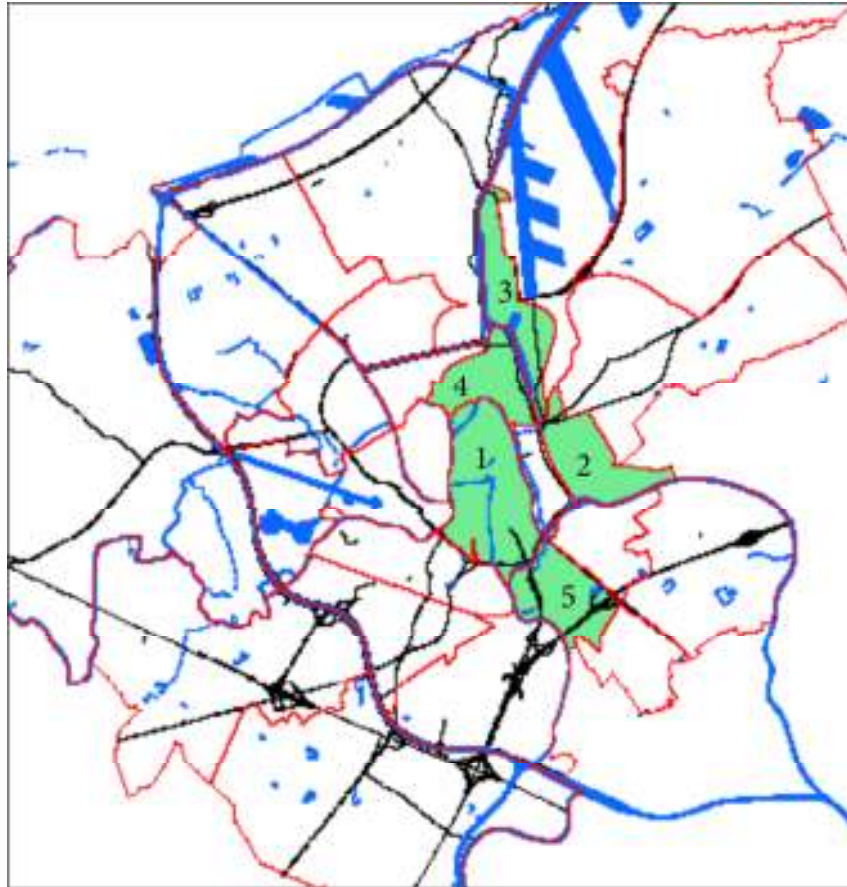
Uit deze tabellen blijken de UHI meest gevoelige wijken vooral 't *Sluizeken* (vooral voor ouderen en zieken) en de *Binnenstad* (naast ouderen, ook op vlak van kinderonderwijs en zoals gezegd, alsmede de zomer events). Daarnaast is op het gebied van de kinderopvang vooral *Sint Amandsberg* en *Oostakker* gevoelig, op vlak van speelsterreinen vooral *Sint Amandsberg*, de *Brugse Poort* en *Mariakerke*, en voor de rust- en verzorgingstehuizen *Wondelgem*.

6.2.4. KEUZE NADER TE WEGEN IN SITU LOCATIES

Over deze statische UHI weging is vervolgens een brainstorm georganiseerd met de opdrachtgever. Hierbij werd ook de weging naar zwaarte van de bijzondere functies meegewogen, alsmede de verwachte ontwikkelingen in de komende 10 à 20 jaar. Op basis van die brainstorm werd besloten om de volgende wijken aan een nadere integrale, dynamische weging en analyse te onderwerpen:

- Binnenstad
- Dampoort
- Muide – Meulestede - Afrikalaan
- 't Sluizeken – Tolhuis - Ham
- Ledeberg

Binnenstad vanwege zijn overall dominante UHI gevoelige positie op elk van de voornoemde parameters, *Dampoort* vanwege zijn gevoelige positie op het gebied van demografische en sociaaleconomische factoren en geplande stadsontwikkeling, 't *Sluizeken* vanwege zijn gevoelige UHI positie op het gebied van de sociaaleconomische factoren en vooral de kwetsbare functies, en *Ledeberg* en *Muide* als (mogelijk) uitermate gevoelige gebieden met betrekking tot respectievelijk binnenstedelijke revitalisering en voorgenomen ontwikkeling.



Figuur 185 : Keuze wijken Gent.

6.3. GEWOGEN KWETSBAARHEID VAN NADER GESELECTEERDE LOCATIES

In het voorgaande is de kwetsbaarheid van de stad Gent enkelvoudig per parameter in relatie tot de nacht- of dagstress geanalyseerd. Dit zegt nog niet veel hoe de verschillende parameters zich onderling tot elkaar verhouden. Derhalve hebben wij voor de vijf geselecteerde (en naar verwachting meest kwetsbare) wijken ook een meer dynamische, gewogen analyse uitgevoerd. Daartoe hebben wij gebruik gemaakt van een 'Analytisch Hiërarchisch Afwegingsmethode', waarbij de verschillende categorieën ten opzichte van elkaar worden gewogen in paren; de zogenoemde saaty-methode (Saaty, 1990). Deze techniek zorgt ervoor een onderbouwde uitspraak te maken over welke klasse er nu relatief belangrijker is onder tal van veranderende omstandigheden, zoals nieuwe ontwikkelingen, veranderende bevolkingssamenstellingen, economische aanpassingen, etc.

$$\begin{array}{c}
 \begin{matrix} A_1 & A_2 & \dots & A_n \\
 A_1 & \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\
 A_2 & \begin{pmatrix} w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 A_n & \begin{pmatrix} w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \\
 \\
 = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} .
 \end{matrix}
 \end{array}$$

Figuur 186 : Algemene matrix Saaty-weging

Deze methode kent een aantal voordelen, maar ook nadelen. Als voordeel wordt vaak genoemd dat de methode een intuïtieve aantrekkingskracht heeft, enige flexibiliteit heeft, zowel objectieve als subjectieve criteria kan opnemen, groepsprocessen kan ondersteunen, alsmede modelonzekerheden kan ondervangen. Als nadeel geldt dat de gewichtentoekenning uiteindelijk altijd een subjectieve zaak blijft, detailinfo verloren kan gaan, alsmede de paarsgewijze behandeling lang en complex kan worden. Voor een deel zijn deze nadelen verbonden aan elke multi-criteria methode; voor een ander deel hebben we evenwel geprobeerd deze nadelen te ondervangen, door een relatief simpele gewogen afweging uit te voeren. De subjectieve criteria zijn daarbij in de voornoemde brainstorm uitgeselecteerd; de objectieve criteria hebben we zoveel mogelijk ontleend aan de hiervoor gegeven analyse. Daarbij is in twee hiërarchische lagen gewerkt:

- De objectieve weging betrof de paarsgewijze weging van de parameters onderling, per bovengenoemde parameterset, op basis van de algemene uitkomsten zoals hiervoor gegeven (Box 2).
- De subjectieve weging betrof de weging tussen de drie hoofdsets van parameters - demografie, sociaal-economisch, kwetsbare functies – die op basis van gemeenschappelijk gewogen persoonlijk oordeel van de betrokken stakeholders per wijk zijn gemaakt (Box 3).

BOX 2

Op het niveau van de geselecteerde wijken is er gewerkt met een objectieve (Box 2) en een subjectieve weging (Box3). Beide nemen de Saaty-methode als uitgangspunt. De objectieve weging vertrekt daarbij vanuit de objectieve parameter-gewichten zoals deze voor de betreffende wijken uit de hiervoor besproken statische weging is verkregen (zie Box 1). Deze werkt als volgt:

- voor elk van de hoofdsets van parameters (naar demografie, sociaal-economische parameters en kwetsbare functies) worden de verkregen parameters (in rood) paarsgewijs met elkaar vergeleken. Voor demografie zijn dit bijvoorbeeld voor de dagstress a) gevoeligheid kinderen (≤ 4 jaar) b) gevoeligheid ouderen (> 65 jaar), c) inwonersdichtheid, d) aantal alleenstaanden en e) verhouding niet-Belg/Belg).

DEMOGRAFISCH								
Dampoort (SUHI)								
		gevoelige leeftijden (≤ 4)	gevoelige leeftijden (> 65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belg/Belg		
	Waarde parameter	27,15	14,19	34,78	17,64	26,25	Som	Gewicht
gevoelige leeftijden (≤ 4)	27,15	1,00	1,91	0,78	1,54	1,03	6,27	0,23
gevoelige leeftijden (> 65)	14,19	0,52	1,00	0,41	0,80	0,54	3,28	0,12
inwonersdichtheid	34,78	1,28	2,45	1,00	1,97	1,32	8,03	0,29
alleenstaanden	17,64	0,65	1,24	0,51	1,00	0,67	4,07	0,15
niet-Belg/Belg	26,25	0,97	1,85	0,75	1,49	1,00	6,06	0,22
SOM		4,42	8,46	3,45	6,80	4,57	27,70	1,00

- Dit voorstel werkt van de x-as naar de y-as. Bijvoorbeeld: het uit Box 1 verkregen parameter gewicht (in rood) voor kinderen t.e.m. 4 jaar (gevoelige leeftijden (≤ 4 jaar) x SUHI-waarde) wordt gedeeld door die naar inwonersdichtheid; in dit geval van Dampoort 27,15/34,78, met als resultaat 0,78.
- Dit wordt voor alle parameters gedaan, waarna de som van de horizontale rijen wordt berekend. Daarna worden alle scores uitgemiddeld en gebracht tot gewichten tussen 0-1.
- In dit geval, op het gebied van de demografische parameters blijkt Dampoort het meest stress gevoelig voor het Urban Heat Island Effect, vanwege de inwonersdichtheid in de wijk, gevolgd door de kinderen t.e.m. 4 jaar.
- Dit is vervolgens voor alle wijken gedaan, voor alle hoofdsets parameters, naar dagstress (SUHI) en nachtstress (CLUHI).

BOX 3

Om vervolgens een totaalafweging te kunnen maken, is tenslotte aan de stakeholders⁴⁹ van de stad gevraagd hoe zij de onderlinge weging tussen de drie hoofdsets parameters (demografisch, sociaal-economisch, kwetsbare functies) per wijk zien.

- Daarbij is gewerkt met een vijfpunten ingeschatte waarderingsschaal (1 gelijkwaardig, 2 enige voorkeur, 3 voorkeur, 4. zeer sterke voorkeur, 5. grootst mogelijk verschil).
- Deze is voor alle vijf wijken ingevuld. Daarbij is tevens van de x-as naar de y-as gewerkt.
- Vervolgens hebben we alle verkregen waarderingen gemiddeld. Daarbij is voor de Binnenstad bijvoorbeeld het volgende beeld verkregen:

Binnenstad		demografie	sociaal-economisch	kwetsbare functies		Gewicht
	demografie	1,00	2,33	0,86	4,19	0,34
	sociaal-economisch	0,58	1,00	0,36	1,94	0,16
	kwetsbare functies	2,42	2,67	1,00	6,08	0,50
	som	4,00	6,00	2,22	12,22	

- Belangrijk is dat de gewichten teruggebracht werden tot een 0-1 schaal om (door dit voor alle wijken te doen) de wijken onderling vergelijkbaar te maken.
- Voor Binnenstad blijken gemiddeld de kwetsbare functies 3,125 hoger gewaardeerd te worden dan de sociaaleconomische parameters (de kwetsbare functies hebben dus een duidelijke voorkeur boven deze parameters) gevolgd door de demografische parameters en daarna sociaaleconomische parameters.

De verschillende gewichten uit Box 2 en Box 3 worden tenslotte vermenigvuldigd om de uiteindelijke kwetsbaarheid per hoofdsets parameter per wijk te bekomen.

Hierna volgt derhalve een korte beschrijving en de gewogen objectieve analyse per geselecteerde wijk, in combinatie met de subjectieve weging per wijk. In de conclusies tenslotte wordt er een

⁴⁹ De betreffende stakeholders waren: mevr. M. Breugelmans (Milieudienst, Gent), mevr. C. De Bruyne (Milieudienst, Gent) en mr. S. Verledens (dienst Stedenbouw en Ruimtelijke Planning, Gent)

totale vergelijking gemaakt tussen de vijf verschillende wijken en wordt op basis van deze gegevens de UHI meest kwetsbare wijk bepaald, alsmede de in het oog springende meest kwetsbare parameters naar wijk.

6.3.1. DE BINNENSTAD

De Binnenstad vormt het meest versteende historische centrum van Gent, slechts doorsneden door de loop van de Leie en begrensd door de Schelde. Het heeft na Rabot, 't Sluizeken, Macharius en Dampoort de hoogste inwonersdichtheid van Gent. Derhalve scoort het op verscheidene aspecten uitermate UHI kwetsbaar. Daarnaast worden de zomerse events (zoals bijvoorbeeld de Gentse Feesten of de Stadsloop Gentenaar) doorgaans in en rond de Binnenstad georganiseerd, wat aanleiding kan geven tot UHI kwetsbare situaties.



Figuur 187 : Beeld en situering binnenstad

Als we verder kijken naar de gewogen UHIe gevoeligheid van de Binnenstad op de onderscheiden parameters dan ontstaat het volgende beeld :

Tabel 30 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Binnenstad, Gent (dagstress)

DEMOGRAFISCH									
Binnenstad (SUN)									
		gevoelige leeftijden (<=4)	gevoelige leeftijden (>=65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belg/Belg			
	Waarde parameter	19,11	28,76	27,41	59,96	27,70	Som	Gewicht	
gevoelige leeftijden (<=4)	19,11	1,00	0,66	0,70	0,32	0,69	3,37	0,12	
gevoelige leeftijden (>=65)	28,76	1,51	1,00	1,05	0,48	1,04	5,07	0,18	
inwonersdichtheid	27,41	1,43	0,95	1,00	0,46	0,99	4,83	0,17	
alleenstaanden	59,96	3,14	2,08	2,19	1,00	2,16	10,58	0,37	
niet-Belg/Belg	27,70	1,45	0,96	1,01	0,46	1,00	4,89	0,17	
SOM		8,53	5,67	5,95	2,72	5,88	28,74	1,00	
SOCIAAL-ECONOMISCH									
Binnenstad (SUN)									
		ondermodaal inkomen	NWVZ						
	Waarde parameter	17,37	24,60	Som	Gewicht				
ondermodaal inkomen	17,37	1,00	0,71	1,71	0,41				
NWVZ	24,60	1,42	1,00	2,42	0,59				
SOM		2,42	1,71	4,12	1,00				
KWETSBARE FUNCTIES									
Binnenstad (SUN)									
		Speeltoernooi	Kinderopvang	Onderwijs	Ziekenhuis	Serviceflats	RVT		
	Waarde parameter	10,02	15,48	49,38	0,00	120,26	25,00	Som	Gewicht
Speeltoernooi	10,02	1,00	0,70	0,22	0,00	0,08	0,43	2,44	0,05
Kinderopvang	15,48	1,43	1,00	0,31	0,00	0,12	0,62	3,49	0,07
Onderwijs	49,38	4,54	3,18	1,00	0,00	0,38	1,97	11,07	0,22
Ziekenhuis	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Serviceflats	120,26	11,85	8,28	2,61	0,00	1,00	5,13	28,87	0,56
RVT	25,00	2,31	1,61	0,51	0,00	0,19	1,00	5,63	0,11
SOM		0,00	14,77	4,65	0,00	1,78	9,15	51,49	1,00

Tabel 31 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Binnenstad, Gent (nachtstress)

DEMOGRAFISCH								
Binnenstad (CLUHI)								
		gevoelige leeftijden (<=4)	gevoelige leeftijden (>=65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belg/Belg		
	Waarde paramete	25,71	38,70	36,88	80,69	37,28	Som	Gewicht
gevoelige leeftijden (<=4)	25,71	1,00	0,66	0,70	0,32	0,69	3,37	0,12
gevoelige leeftijden (>=65)	38,70	1,51	1,00	1,05	0,48	1,04	5,07	0,18
inwonersdichtheid	36,88	1,43	0,95	1,00	0,46	0,99	4,83	0,17
alleenstaanden	80,69	3,14	2,08	2,19	1,00	2,16	10,58	0,37
niet-Belg/Belg	37,28	1,45	0,96	1,01	0,46	1,00	4,89	0,17
SOM		8,53	5,67	5,95	2,72	5,88	28,74	1,00

SOCIAAL-ECONOMISCH				
Binnenstad (CLUHI)				
		ondermodaal inkomen		
	Waarde paramete	23,37	Som	Gewicht
ondermodaal inkomen	23,37	1,00	1,00	1,00
SOM		1,00	1,00	1,00

KWETSBARE FUNCTIES						
Binnenstad (CLUHI)						
		Ziekenhuis	Serviceflats	RVT		
	Waarde paramete	0,00	172,59	33,00	Som	Gewicht
Ziekenhuis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Serviceflats	172,59	0,00	1,00	5,23	6,23	0,84
RVT	33,00	0,00	0,19	1,00	1,19	0,16
SOM		0,00	1,19	6,23	7,42	1,00

Weliswaar scoort de Binnenstad relatief minder kwetsbaar op de gevoelige leeftijden (<=4 jaar en >=65 jaar), mede doordat de leeftijdscategorie 20-40 jarigen sterk zijn vertegenwoordigd in de Binnenstad. Dit neemt niet weg dat het aandeel alleenstaanden de gevoeligheid van de Binnenstad in theorie verhoogt.

Ondanks dat de gevoelige leeftijden (jong en oud) niet overmatig vertegenwoordigd zijn, komen er wel relatief veel kwetsbare functies voor deze groepen in de Binnenstad voor, zoals bijv. (kleuter)onderwijs. Met name de serviceflats tikken echter zwaar door in de kwetsbaarheid van de Binnenstad, niet alleen overdag, maar vooral ook gedurende de nacht.

Zoals uitgelegd in Box 3 leverde de subjectieve beoordeling voor Binnenstad dit op :

Tabel 32 : Gewogen subjectief gemiddelde van de parameter-sets voor de Binnenstad

Binnenstad	
0,16	sociaal-economisch
0,34	demografie
0,50	kwetsbare functies

Volgens de stakeholders dienen de UHI kwetsbare functies dus meer door te wegen dan de demografische, respectievelijk sociaal-economische factoren. Indien we deze weging dan toepassen op de verschillende onderdelen (dus subjectieve gewichten maal de objectieve gewichten), ontstaat het volgende totaalbeeld van de Binnenstad.

Tabel 33 : Totaalbeeld gewogen UHI kwetsbaarheid Binnenstad voor de verschillende parameters.

	Demografie					Sociaal-economisch		Kwetsbare functies					
	jonge kinderen	ouderen	armoedezekerheid	alleenstaanden	met-Beig/Beig	ondermodaal	W2/W3	laarzenen	kinderopvang	Onderwijs	Zakenhuis	Serviceflats	W7
Binnenstad													
dagstress	0,04	0,06	0,06	0,13	0,06	0,07	0,09	0,02	0,03	0,11	0,00	0,28	0,05
nachtstress	0,04	0,06	0,06	0,13	0,06	0,16					0,00	0,42	0,08

Uit bovenstaande tabel blijkt dat overdag vooral het aandeel van serviceflats doorweegt, zeker 's nachts is dit zeer merkbaar, gevolgd overdag door het aandeel alleenstaanden en onderwijs. De sociaal-economische factoren zijn zeer miniem overdag, maar ondanks het lage gewicht dat de stakeholders toebedeelden aan deze hoofdcategorie, zien we toch dat het aandeel 'ondermodaal inkomen' 's nachts aan belang wint en na de serviceflats zelfs de tweede meest kwetsbare variabele wordt ten opzichte van het UHI.

6.3.2. DAMPOORT

In Dampoort zijn de gemiddelde leeftijden en gezinnen sterk vertegenwoordigd, met een relatief groot aantal kinderen. De werkloosheidsdruk is bovengemiddeld. Het aandeel mensen dat zich in de wijk in een minder goede gezondheid voelt is ten slotte groot.



Figuur 188 : Situering en beeld Dampoort

Als we verder kijken naar de gewogen UHI gevoeligheid van Dampoort op de onderscheiden parameters dan ontstaat het volgende beeld.

Tabel 34 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Dampoort, Gent (dagstress)

DEMOGRAFISCH									
Dampoort (SARE)									
		gevoelige leeftijden (<=4)	gevoelige leeftijden (>=65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belg/Belg			
	Waarde parameter	27,15	14,19	34,78	17,64	26,25	Som	Gewicht	
gevoelige leeftijden (<=4)	27,15	1,00	1,91	0,78	1,54	1,03	6,27	0,23	
gevoelige leeftijden (>=65)	14,19	0,52	1,00	0,41	0,80	0,54	3,28	0,12	
inwonersdichtheid	34,78	1,28	2,45	1,00	1,97	1,32	8,03	0,29	
alleenstaanden	17,64	0,65	1,24	0,51	1,00	0,67	4,07	0,15	
niet-Belg/Belg	26,25	0,97	1,85	0,75	1,49	1,00	6,06	0,22	
SOM		4,42	8,46	3,45	6,80	4,57	27,70	1,00	
SOCIAAL-ECONOMISCH									
Dampoort (SARE)									
		ondermodaal inkomen	NWVZ						
	Waarde parameter	19,13	24,48	Som	Gewicht				
ondermodaal inkomen	19,13	1,00	0,78	1,78	0,44				
NWVZ	24,48	1,28	1,00	2,28	0,56				
SOM		2,28	1,78	4,06	1,00				
KWETSBARE FUNCTIES									
Dampoort (SARE)									
		Speeltoernis	Kinderopvang	Onderwijs	Ziekenhuis	Serviceflats	RVT		
	Waarde parameter	11,05	12,30	7,73	0,00	0,00	24,00	Som	Gewicht
Speeltoernis	11,05	1,00	0,90	1,43	0,00	0,00	0,46	3,79	0,20
Kinderopvang	12,30	1,11	1,00	1,59	0,00	0,00	0,51	4,22	0,22
Onderwijs	7,73	0,70	0,63	1,00	0,00	0,00	0,32	2,65	0,14
Ziekenhuis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Serviceflats	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RVT	24,00	2,17	1,95	3,11	0,00	0,00	1,00	8,23	0,44
SOM		0,00	4,48	7,13	0,00	0,00	2,30	18,88	1,00

Tabel 35 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Dampoort, Gent (nachtstress)

DEMOGRAFISCH								
Dampoort (CLUHI)								
		gevoelige leeftijden (<=4)	gevoelige leeftijden (>=65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belg/Belg		
	Waarde parameter	34,85	18,22	44,65	22,65	33,70	Som	Gewicht
gevoelige leeftijden (<=4)	34,85	1,00	1,91	0,78	1,54	1,03	6,27	0,23
gevoelige leeftijden (>=65)	18,22	0,52	1,00	0,41	0,80	0,54	3,28	0,12
inwonersdichtheid	44,65	1,28	2,45	1,00	1,97	1,32	8,03	0,29
alleenstaanden	22,65	0,65	1,24	0,51	1,00	0,67	4,07	0,15
niet-Belg/Belg	33,70	0,97	1,85	0,75	1,49	1,00	6,06	0,22
SOM		4,42	8,46	3,45	6,80	4,57	27,70	1,00
SOCIAAL-ECONOMISCH								
Dampoort (CLUHI)								
		ondermodaal inkomen						
	Waarde parameter	24,56	Som	Gewicht				
ondermodaal inkomen	24,56	1,00	1,00	1,00				
SOM		1,00	1,00	1,00				
KWETSBARE FUNCTIES								
Dampoort (CLUHI)								
		Ziekenhuis	Serviceflats	RVT				
	Waarde parameter	0,00	0,00	31,00	Som	Gewicht		
Ziekenhuis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Serviceflats	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
RVT	31,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00		
SOM		0,00	0,00	1,00	1,00	1,00		

De wijk Dampoort scoort gewogen relatief hoog op het gebied van inwonersdichtheid en de werkloosheidsdruk. Zo ook kent de verhouding niet-Belg/Belg een relatief hoog gewicht. Daarnaast scoort de wijk ook hoog op het gebied van jonge leeftijden.

De subjectieve afweging voor Dampoort levert dit resultaat op.

Tabel 36 : Gewogen subjectief gemiddelde van de parameter-sets voor Dampoort

Dampoort	
0,13	kwetsbare functies
0,39	sociaal-economisch
0,48	demografie

Volgens de stakeholders dienen de demografische factoren dus meer door te wegen dan de sociaaleconomische factoren, respectievelijk kwetsbare functies. Indien we deze weging dan toepassen op de verschillende onderdelen (dus subjectieve gewichten maal de objectieve gewichten), ontstaat het volgende totaalbeeld van Dampoort.

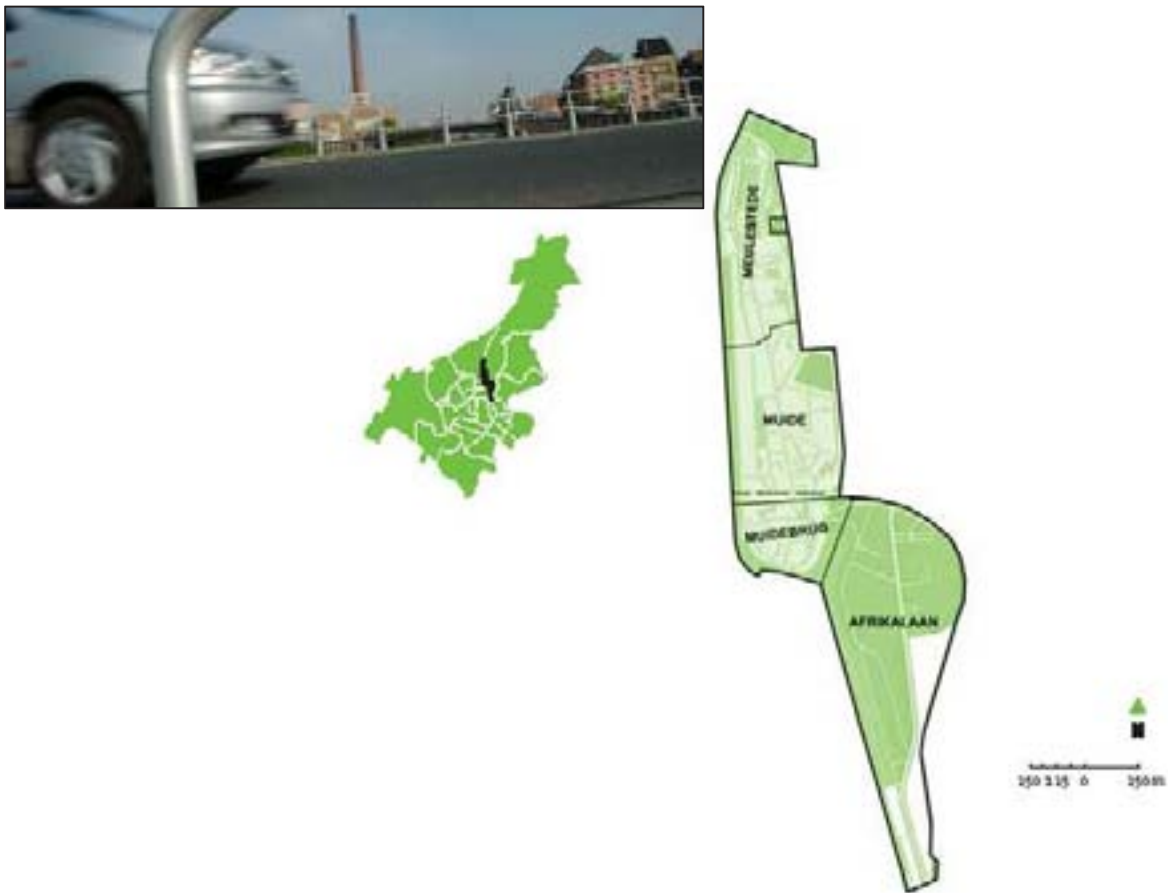
Tabel 37 : Totaalbeeld gewogen UHI kwetsbaarheid Dampoort voor de verschillende parameters

	Demografie					Sociaal-economisch		Kwetsbare functies					
Dampoort	jonge kinderen	ouderen	inwonerdichtheid	alleenstaanden	niet-belg/belg	ondermodaal	NWWZ	zwaartrekkers	kinderopvang	onderwijs	ziekenhuis	serviceflat	WZ
dagstress	0.11	0.06	0.14	0.07	0.11	0.17	0.22	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.06
nachtstress	0.11	0.06	0.14	0.07	0.11	0.19					0.00	0.00	0.13

Mede door de lage gewichten, zowel objectief als subjectief, voor de Kwetsbare functies, zijn deze zowel overdag als 's nachts niet gevoelig voor hitte. Overdag is het gewicht NWWZ relatief hoog in de wijk, mede als de ondermodale huishoudens. Daarnaast is te zien dat zowel overdag als 's nachts Dampoort kwetsbaar is op vlak van inwonersdichtheid, gevolgd door het aandeel jonge kinderen en de verhouding niet-Belg/Belg.

6.3.3. MUIDE – MEULESTEDE – AFRIKALAAN

De wijk Muide is van oorsprong de monding of complexe samenloop van de verschillende Leie-armen in Gent. Vanaf begin 19^e eeuw en vooral met het graven van het kanaal Gent-Terneuzen werd het echter steeds meer geïndustrialiseerd en onderdeel van de haven van Gent. Dit neemt niet weg dat in het gebied ook nabijgelegen kleine arbeiderswoningen voor de fabrieks- en havenarbeiders werden gebouwd. Inmiddels is de haven echter steeds meer in noordelijke richting opgerukt, en begint de wijk een onderdeel te worden van een omvattend revitaliseringsplan. Daartoe zijn nabij de oude dokken reeds eerste aanzetten geleverd. Maar juist deze studie kan er echter ook aan bijdragen dat die revitalisering meer UHI-proof wordt ingezet.



Figuur 189 : Situering en beeld Muide-Meulestede-Afrikalaan

Als we verder kijken naar de gewogen UHI gevoeligheid van Muide-Meulestede-Afrikalaan op de onderscheiden parameters dan ontstaat het volgende beeld.

Tabel 38 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Muide-Meulestede-Afrikalaan, Gent (dagstress)

DEMOGRAFISCH									
Muide (SURF)									
		gevoelige leeftijden (C=4)	gevoelige leeftijden (D=65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	riet-Belg/Belg			
	Waarde parameter	12,88	7,47	15,54	9,47	33,63	Som	Gewicht	
gevoelige leeftijden (C=4)	12,88	1,00	1,72	0,83	1,36	0,38	5,30	0,16	
gevoelige leeftijden (D=65)	7,47	0,58	1,00	0,48	0,79	0,22	3,07	0,09	
inwonersdichtheid	15,54	1,21	2,08	1,00	1,64	0,46	6,39	0,20	
alleenstaanden	9,47	0,74	1,27	0,61	1,00	0,28	3,89	0,12	
riet-Belg/Belg	33,63	2,61	4,51	2,17	3,56	1,00	13,85	0,43	
SOM		6,14	10,58	5,09	8,34	2,35	32,49	1,00	
SOCIAAL-ECONOMISCH									
Muide (SURF)									
		ondermodaal inkomen	NWWZ						
	Waarde parameter	20,53	17,37	Som	Gewicht				
ondermodaal inkomen	20,53	1,00	1,15	2,15	0,53				
NWWZ	17,37	0,87	1,00	1,87	0,47				
SOM		1,87	2,15	4,02	1,00				
KWETSBAAR FUNCTIES									
Muide (SURF)									
		Speelsterrein	kinderopvang	Onderwijs	Ziekenhuis	Serviceflats	IVT		
	Waarde parameter	23,20	4,10	10,01	0,00	0,00	0,00	Som	Gewicht
Speelsterrein	23,20	1,00	5,66	2,15	0,00	0,00	0,00	8,81	0,61
Kinderopvang	4,10	0,18	1,00	0,38	0,00	0,00	0,00	1,56	0,11
Onderwijs	10,01	0,47	2,64	1,00	0,00	0,00	0,00	4,11	0,28
Ziekenhuis	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Serviceflats	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
IVT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
SOM		0,00	9,30	3,52	0,00	0,00	0,00	14,47	1,00

Tabel 39 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Muide-Meulestede-Afrikalaan, Gent (nachtstress)

DEMOGRAFISCH								
Muide (CLUHI)								
		gevoelige leeftijden (<=4)	gevoelige leeftijden (>=65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belg/Belg		
	Waarde parameter	13,95	8,09	16,82	10,26	36,48	Som	Gewicht
gevoelige leeftijden (<=4)	13,95	1,00	1,72	0,83	1,36	0,38	5,30	0,16
gevoelige leeftijden (>=65)	8,09	0,58	1,00	0,48	0,79	0,22	3,07	0,09
inwonersdichtheid	16,82	1,21	2,08	1,00	1,64	0,46	6,39	0,20
alleenstaanden	10,26	0,74	1,27	0,61	1,00	0,28	3,89	0,12
niet-Belg/Belg	36,48	2,61	4,51	2,17	3,56	1,00	13,85	0,43
SOM		6,14	10,58	5,09	8,34	2,35	32,49	1,00
SOCIAAL-ECONOMISCH								
Muide (CLUHI)								
		ondermodaal inkomen						
	Waarde parameter	22,30	Som	Gewicht				
ondermodaal inkomen	22,30	1,00	1,00	1,00				
SOM		1,00	1,00	1,00				
KWETSBARE FUNCTIES								
Muide (CLUHI)								
		Ziekenhuis	Serviceflats	RVT				
	Waarde parameter	0,00	0,00	0,00	Som	Gewicht		
Ziekenhuis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Serviceflats	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
RVT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
SOM		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Indien thans gekeken wordt naar de UHI kwetsbaarheid van de wijk, dan valt met name het relatief hoge aandeel allochtonen op, alsmede de lage inkomens en relatief hoge aandeel werkzoekenden. Dezelfde kwetsbaarheid kan gedurende de nacht gemeten worden. Relatief in de wijk zelf lijken gedurende de dag de speelterreinen kwetsbaar, maar dit komt vooral doordat in de wijk slechts enkele kwetsbare functies gesitueerd zijn. Ten opzichte van de andere wijken is dit niet overmatig.

De subjectieve afweging voor Muide-Meulestede-Afrikalaan levert dit resultaat op.

Tabel 40 : Gewogen subjectief gemiddelde van de parameter-sets Muide-Meulestede-Afrikalaan.

Muide-Meulestede-Afrikalaan	
0,12	kwetsbare functies
0,33	demografie
0,55	sociaal-economisch

Volgens de stakeholders dienen dus de sociaal-economische factoren meer door te wegen dan de demografische, respectievelijk de kwetsbare functies. Indien we deze weging dan toepassen op de

verschillende onderdelen (dus subjectieve gewichten maal de objectieve gewichten), ontstaat het volgende totaalbeeld van Muide

Tabel 41 : Totaalbeeld gewogen UHI kwetsbaarheid Muide voor de verschillende parameters

	Demografie					Sociaal-economisch		Kwetsbare functies					
Muide	jonge kinderen	ouderen	inwon.dichtheid	alleenstaanden	niet-Belg/Belg	ondermodaal	NWWZ	Speeltoernooi	Kinderspeelplein	Onderwijs	Ziekenhuis	Serviceflat	RYT
dagstress	0.05	0.03	0.06	0.04	0.14	0.29	0.26	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.04
nachtstress	0.05	0.03	0.06	0.04	0.14	0.55					0.00	0.00	0.12

Over het algemeen in de wijk Muide, is steeds merkbaar dat vooral de sociaaleconomische factoren kwetsbaar zijn voor het hitte-eiland. Dit is duidelijk te zien uit voorgaande tabel. Vooral 's nachts stijgt het aandeel van ondermodale huishoudens sterk. Bij de demografische factoren is het grootste aandeel de verhouding niet-Belg/Belg.

6.3.4. 't SLUIZEKEN – TOLHUIS – HAM

't Sluizeken betreft het noordelijk deel dat rond 1300 bij de binnenstad is getrokken. Vooral vanaf de 18^e en 19^e eeuw is dit gebied verder geïndustrialiseerd en verstedelijkt met kleine woningen. Met Rabot kent 't Sluizeken derhalve een van de hoogste bewonersdichtheden van Gent. Anders dan de Binnenstad is het in de buurten Voormuide en Briel echter wel ruimer opgezet. Evenwel ook hier is het aandeel alleenstaanden de grootste bevolkingsgroep van de wijk, alhoewel hier deels vanwege het hogere aantal studenten. Niettemin is ook hier de werkloosheidsdruk groot, en het aandeel niet werkende, werkzoekende bovengemiddeld. Ook hier is het gezondheidsgevoel van de inwoners niet hoog.



Figuur 190 : Situering en beeld 't Sluizeken-Tolhuis-Ham

Als we verder kijken naar de gewogen UHI gevoeligheid van 't Sluizeken op de onderscheiden parameters dan ontstaat het volgende beeld.

Tabel 42 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies 't Sluizeken, Gent (dagstress)

DEMOGRAFISCH								
1 Sluizeken (SUH)								
		gevoelige leeftijden (<=4)	gevoelige leeftijden (>=65)	inwonerdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belg/Belg		
	Waarde parameter	20,36	17,36	36,13	21,08	40,39	Som	Gewicht
gevoelige leeftijden (<=4)	20,36	1,00	1,21	0,58	0,99	0,51	4,29	0,15
gevoelige leeftijden (>=65)	17,36	0,83	1,00	0,48	0,82	0,42	3,55	0,13
inwonerdichtheid	36,13	1,73	2,09	1,00	1,72	0,88	7,41	0,26
alleenstaanden	21,08	1,01	1,21	0,58	1,00	0,51	4,32	0,15
niet-Belg/Belg	40,39	1,96	2,36	1,13	1,94	1,00	8,39	0,30
SOM		6,51	7,87	3,77	6,48	3,33	27,97	1,00
SOCIAAL-ECONOMISCH								
1 Sluizeken (SUH)								
		ondermodaal inkomen	NWVZ					
	Waarde parameter	23,38	19,74	Som	Gewicht			
ondermodaal inkomen	23,38	1,00	1,18	2,18	0,54			
NWVZ	19,74	0,84	1,00	1,84	0,46			
SOM		1,84	2,18	4,03	1,00			
KWETSBAAR FUNCTIES								
1 Sluizeken (SUH)								
		Speelplein	kinderopvang	Onderwijs	Ziekenhuis	Serviceflat	RVT	
	Waarde parameter	27,37	13,92	19,14	129,74	129,74	20,00	Som Gewicht
Speelplein	27,37	1,00	1,97	1,43	0,21	0,21	1,37	6,19 0,08
Kinderopvang	13,92	0,51	1,00	0,73	0,11	0,11	0,70	3,15 0,04
Onderwijs	19,14	0,70	1,37	1,00	0,15	0,15	0,96	4,33 0,06
Ziekenhuis	129,74	4,74	9,32	6,78	1,00	1,00	6,49	29,33 0,38
Serviceflat	129,74	4,74	9,32	6,78	1,00	1,00	6,49	29,33 0,38
RVT	20,00	0,73	1,44	1,05	0,15	0,15	1,00	4,52 0,06
SOM		0,00	24,41	17,76	2,62	2,62	17,00	76,83 1,00

Tabel 43 : : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies 't Sluizeken, Gent (nachtstress)

DEMOGRAFISCH								
't Sluizeken (CLUH)								
		gewoelge leeftijden (<=4)	gewoelge leeftijden (D=65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belgfielg		
	Waarde parameter	22,12	18,31	38,18	22,24	43,25	Som	Gewicht
gewoelge leeftijden (<=4)	22,12	1,00	1,21	0,58	0,99	0,51	4,29	0,15
gewoelge leeftijden (>=65)	18,31	0,83	1,00	0,48	0,82	0,42	3,55	0,13
inwonersdichtheid	38,18	1,73	2,09	1,00	1,72	0,88	7,41	0,26
alleenstaanden	22,24	1,01	1,21	0,58	1,00	0,51	4,32	0,15
niet-Belgfielg	43,25	1,96	2,36	1,13	1,94	1,00	8,39	0,30
SOM		6,51	7,87	3,77	6,48	3,33	27,97	1,00
SOCIAAL-ECONOMISCH								
't Sluizeken (CLUH)								
		ondermodaal inkomen						
	Waarde parameter	24,67	Som	Gewicht				
ondermodaal inkomen	24,67	1,00	1,00	1,00				
SOM		1,00	1,00	1,00				
KWETSBAAR FUNCTIES								
't Sluizeken (CLUH)								
		Ziekenhuis	Serviceflats	FVT				
	Waarde parameter	136,91	136,91	21,00	Som	Gewicht		
Ziekenhuis	136,91	1,00	1,00	6,52	8,52	0,46		
Serviceflats	136,91	1,00	1,00	6,52	8,52	0,46		
FVT	21,00	0,15	0,15	1,00	1,31	0,07		
SOM		2,15	2,15	14,04	18,35	1,00		

Analyseren we de bovenstaande gewogen UHI parameters op de verschillende onderdelen, dan blijkt ook hier in deze wijk de inwonersdichtheid van de demografische factoren het meest kwetsbaar onderdeel. Belangrijker lijkt echter de aanwezigheid van kwetsbare functies, zoals de aanwezigheid van drie ziekenhuizen, serviceflats en in mindere mate de rust- en verzorgingstehuizen. Juist die lijken de wijk in bijzondere mate UHI kwetsbaar te maken.

De subjectieve afweging voor 't Sluizeken levert dit resultaat op.

Tabel 44 : Gewogen subjectief gemiddelde van de parameter-sets 't Sluizeken-Tolhuis-Ham.

't Sluizeken-Tolhuis-Ham	
0,18	demografie
0,24	sociaal-economisch
0,58	kwetsbare functies

Duidelijk volgens de verschillende stakeholders is dat voor de wijk 't Sluizeken de kwetsbare functies meer doorwegen dan respectievelijk de sociaaleconomische en demografische factoren.

Dit heeft als uiteindelijk totaalbeeld het volgende resultaat.

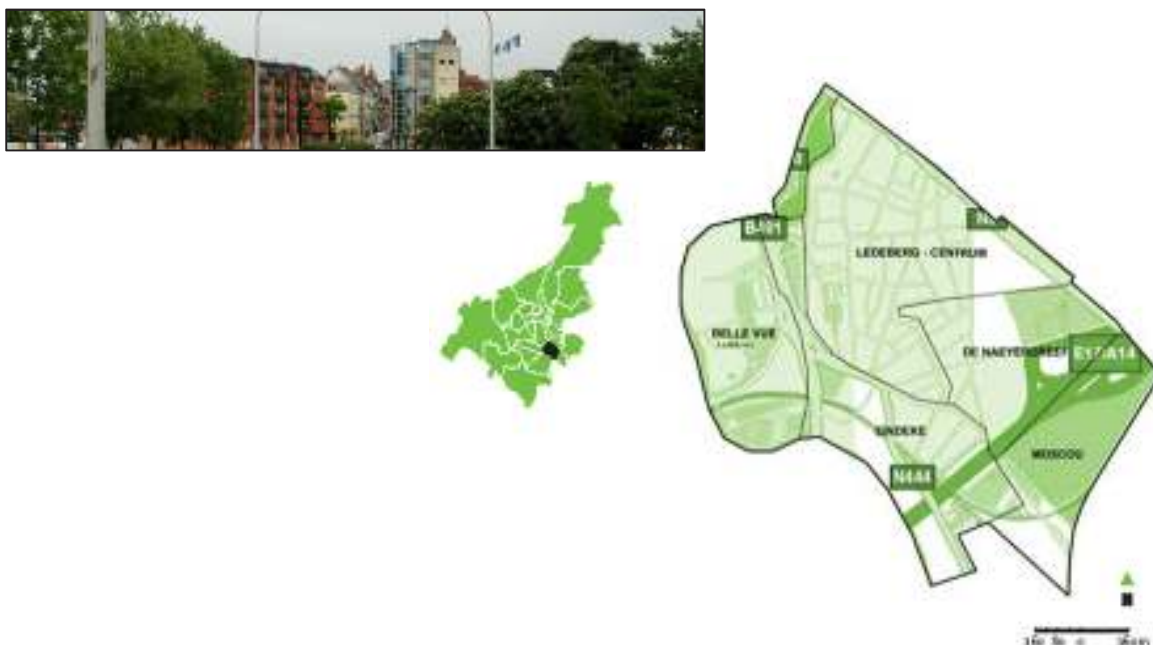
Tabel 45 : Totaalbeeld gewogen UHI kwetsbaarheid 't Sluizeken voor de verschillende parameters.

	Demografie					Sociaal-economisch		Kwetsbare functies					
't Sluizeken	jonge kinderen	ouderen	huur/dichtheid	alleenstaanden	met bij/bijg	ondermodaal	WVW2	speeltoernis	Kinderopvang	Onderwijs	Ziekenhuis	Serviceflats	RvT
dagstress	0,03	0,02	0,05	0,03	0,05	0,13	0,11	0,05	0,02	0,03	0,22	0,22	0,03
nachtstress	0,03	0,02	0,05	0,03	0,05	0,34					0,27	0,27	0,04

Duidelijk afleidbaar uit het totaalbeeld is de hoge kwetsbaarheid voor het UHI van de kwetsbare functies in deze wijk, dit zowel naar dag- als nachtstress toe. Dit is te verklaren door vanzelfsprekend het hogere aantal ziekenhuizen en serviceflats.

6.3.5. LEDEBERG

Ledeberg is een 19^e eeuwse wijk in de zuidoost hoek van Gent. Het kent grote tegenstellingen tussen comfortabel wonen en woningen met minder comfort. De Bellevue buurt bijvoorbeeld is een begin 20^e eeuwse uitbreidingswijk gebouwd volgens de tuinstadprincipes. Dit neemt niet weg dat het gemiddeld inkomensniveau van Ledeberg beneden modaal is. Het kent een bovengemiddeld aandeel allochtonen, terwijl ook de werkloosheidsdruk bovengemiddeld is. Niettemin is ook de natuurlijk aanwas in deze wijk bijna twee keer zo hoog als het stedelijk gemiddelde. Dit impliceert dat het aandeel jongeren hier relatief groot is.



Figuur 191 : Situering en beeld Ledeberg

Als we verder kijken naar de gewogen UHI gevoeligheid van Ledeberg op de onderscheiden parameters dan ontstaat het volgende beeld.

Tabel 46 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Ledeberg, Gent (dagstress)

DEMOGRAFISCH									
Ledeberg (SUH)									
		gevoelige leeftijden (C<4)	gevoelige leeftijden (D>65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belg/Belg			
	Waarde parameter	11,00	13,36	24,91	15,30	26,09	Som	Gewicht	
gevoelige leeftijden (C<4)	11,00	1,00	1,36	0,76	1,20	0,73	5,05	0,19	
gevoelige leeftijden (D>65)	13,36	0,73	1,00	0,56	0,88	0,54	3,71	0,14	
inwonersdichtheid	24,91	1,31	1,78	1,00	1,57	0,95	6,62	0,25	
alleenstaanden	15,30	0,84	1,14	0,64	1,00	0,61	4,22	0,16	
niet-Belg/Belg	26,09	1,37	1,87	1,05	1,64	1,00	6,93	0,26	
SOM		5,25	7,15	4,01	6,28	3,83	26,52	1,00	
SOCIAAL-ECONOMISCH									
Ledeberg (SUH)									
		ondermodaal inkomen	NWVZ						
	Waarde parameter	11,55	23,46	Som	Gewicht				
ondermodaal inkomen	11,55	1,00	0,83	1,83	0,45				
NWVZ	23,46	1,20	1,00	2,20	0,55				
SOM		2,20	1,83	4,03	1,00				
KWETSBAAR FUNCTIES									
Ledeberg (SUH)									
		Speeltoern	kinderopvang	Onderwijs	Ziekenhuis	Serviceflats	RVT		
	Waarde parameter	11,76	16,19	7,49	0,00	0,00	23,00	Som	Gewicht
Speeltoern	11,76	1,00	1,16	2,50	0,00	0,00	0,82	5,48	0,29
Kinderopvang	16,19	0,86	1,00	2,16	0,00	0,00	0,70	4,73	0,25
Onderwijs	7,49	0,40	0,46	1,00	0,00	0,00	0,33	2,19	0,11
Ziekenhuis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Serviceflats	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RVT	23,00	1,23	1,42	3,07	0,00	0,00	1,00	6,72	0,35
SOM		0,00	4,04	8,73	0,00	0,00	2,85	19,11	1,00

Tabel 47 : Saaty analyse Demografische, Sociaal-Economische Parameters en Kwetsbare Functies Ledeberg, Gent (nachtstress)

DEMOGRAFISCH								
Ledeberg (CLUHI)								
		gevoelige leeftijden (<=4)	gevoelige leeftijden (>=65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belg/Belg		
	Waarde parameter	24,87	18,28	32,60	20,80	34,14	Som	Gewicht
gevoelige leeftijden (<=4)	24,87	1,00	1,36	0,76	1,20	0,73	5,05	0,19
gevoelige leeftijden (>=65)	18,28	0,73	1,00	0,56	0,88	0,54	3,71	0,14
inwonersdichtheid	32,60	1,31	1,78	1,00	1,57	0,95	6,62	0,25
alleenstaanden	20,80	0,84	1,14	0,64	1,00	0,61	4,22	0,16
niet-Belg/Belg	34,14	1,37	1,87	1,05	1,64	1,00	6,93	0,26
SOM		5,25	7,15	4,01	6,28	3,83	26,52	1,00
SOCIAAL-ECONOMISCH								
Ledeberg (CLUHI)								
		ondermodaal inkomen						
	Waarde parameter	25,59	Som	Gewicht				
ondermodaal inkomen	25,59	1,00	1,00	1,00				
SOM		1,00	1,00	1,00				
KWETSBARE FUNCTIES								
Ledeberg (CLUHI)								
		Ziekenhuis	Serviceflats	RVT				
	Waarde parameter	0,00	0,00	31,00	Som	Gewicht		
Ziekenhuis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Serviceflats	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
RVT	31,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00		
SOM		0,00	0,00	1,00	1,00	1,00		

In de gewogen UHI-kwetsbaarheidsanalyse zien we dat naast (wederom) de inwonersdichtheid, vooral het aandeel allochtonen hier zwaarder doortikt. Daarnaast kent ook het aandeel NWWZ onder de sociaaleconomische factoren een groter kwetsbaarheidsgewicht dan het aandeel lage inkomensgroepen. Op het gebied van kwetsbare functies scoort de wijk niet uitzonderlijk.

De subjectieve afweging voor Ledeberg levert dit resultaat op.

Tabel 48 : Gewogen subjectief gemiddelde van de parameter-sets Ledeberg.

Ledeberg	
0,12	kwetsbare functies
0,43	sociaal-economisch
0,44	demografie

De subjectieve weging geeft de demografische en sociaaleconomische factoren praktisch hetzelfde gewicht, de kwetsbare functies krijgen een relatief klein gewicht.

Samen met de objectieve gewichten zorgt dit voor dit totaalbeeld:

Tabel 49 : Totaalbeeld gewogen UHI kwetsbaarheid Ledeberg voor de verschillende parameters.

	Demografische					Sociaal-economische		Kwetsbare functies					
Ledeberg	jonge kinderen	ouderen	huurduurzaamheid	alleenstaanden	met-Belg/Belg	onder-modaal	WOW	Speelplaatsen	Kinderspeelplaats	Ordnings	Ziektehuis	Serviceflat	WV
dagstress	0.08	0.06	0.11	0.07	0.12	0.20	0.24	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	0.04
nachtstress	0.08	0.06	0.11	0.07	0.12	0.43					0.00	0.00	0.12

Het totaalbeeld toont dat zowel overdag als 's nachts de sociaaleconomische factoren veel zwaarder doorwegen dan de demografische, ondanks hun gelijke subjectieve gewicht. Ook is duidelijk dat de kwetsbare functies weinig kwetsbaar zijn.

6.4. ALGEHELE WEGING / CONCLUSIES

Uit de literatuur komen steeds meer geluiden naar voren dat het Urban Heat Island-effect (UHI-e) niet alleen geanalyseerd mag worden naar fysieke factoren, maar dat ook aandacht gegeven zal moeten worden aan de aanwezige kwetsbaarheid voor sociale en economische factoren (Huang *et al.*, 2011). Met de hiervoor gegeven UHI kwetsbaarheid analyse is daartoe een eerste aanzet gegeven; zowel naar niveau van de stad Gent als geheel, als meer gewogen en specifiek naar de geselecteerde in situ locaties. Op basis daarvan is het nu ook mogelijk in algemene zin conclusies te trekken, op basis van een onderlinge vergelijking tussen de wijken en parameters.

In algemene zin lijkt daarbij de dagstress voor Gent zwaarder door te tikken dan de nachtstress. Maar dit komt vooral doordat overdag, meerdere kwetsbare functies, werknemers, inwoners, bezoekers en recreanten last hebben van de hitte. 's Nachts is dit stukken minder. Maar alles is relatief en nader receptief onderzoek zou moeten uitwijzen of de Gentenaar meer last van hitte heeft gedurende de nacht, dan wel de dag. De sociale controle op mogelijke oververhitting is gedurende de nacht in ieder geval aanzienlijk minder.

BOX 4

Om de vijf in detail uitgewerkte wijken met elkaar te vergelijken, moet dit gebeuren op basis van totale gewichten van de verschillende hoofdcategorieën, zonder dat deze gestandaardiseerd zijn tussen 0-1.

- Hiervoor wordt in onderstaand voorbeeld de score van 27,70 gebruikt. Dit is de totale waarde die de hoofdcategorie 'Demografie' heeft voor de wijk Dampoort.

DEMOGRAFISCH								
Dampoort (SUHI)								
		gevoelige leeftijden (<=4)	gevoelige leeftijden (>=65)	inwonersdichtheid	aantal alleenstaanden	niet-Belg/Belg		
	Waarde parameter	27,15	14,19	34,78	17,64	26,25	Som	Gewicht
gevoelige leeftijden (<=4)	27,15	1,00	1,91	0,78	1,54	1,03	6,27	0,23
gevoelige leeftijden (>=65)	14,19	0,52	1,00	0,41	0,80	0,54	3,28	0,12
inwonersdichtheid	34,78	1,28	2,45	1,00	1,97	1,32	8,03	0,29
alleenstaanden	17,64	0,65	1,24	0,51	1,00	0,67	4,07	0,15
niet-Belg/Belg	26,25	0,97	1,85	0,75	1,49	1,00	6,06	0,22
SOM		4,42	8,46	3,45	6,80	4,57	27,70	1,00

- Deze totaalwaarde die objectief berekend werd, wordt vervolgens vermenigvuldigd met de bekomen subjectieve gewichten die de verschillende stakeholders gaven aan de hoofdcategorie 'Demografie' voor de wijk Dampoort. Dit is de waarde 0,48
- Voor de hoofdcategorie 'Demografie' geeft dit ten slotte een score van 13,3 waarmee het de XX plaats heeft op vlak van demografische kwetsbaarheid ten opzichte van UHI
- Ten slotte kunnen de drie scores van elke hoofdcategorie samengegeld worden om de overall meest kwetsbare wijk te bepalen.

Als laatste is het interessant om de vijf in detail uitgewerkte wijken opnieuw naast elkaar te plaatsen. Dit levert volgend beeld op (Tabel 33).

Tabel 50 : De geselecteerde wijken onderling gewogen naar dag- en nachtstress (totaalwaarden).

KWETSBAARHEID DAGSTRESS (SUHI)

	<i>Demografisch</i>	<i>Sociaal-economisch</i>	<i>Kwestbare functies</i>	TOTAAL
BINNENSTAD	9,8	0,7	27,4	37,8
DAMPOORT	13,4	1,6	2,2	17,2
MUIDE	10,7	2,2	1,7	14,6
SLUIZEKEN	4,9	1,0	42,3	48,2
LEDEBERG	11,8	1,7	2,2	15,8

KWETSBAARHEID NACHTSRESS (CLUHI)

	<i>Demografisch</i>	<i>Sociaal-economisch.</i>	<i>Kwestbare functies</i>	TOTAAL
BINNENSTAD	9,8	0,2	2,2	12,2
DAMPOORT	13,4	0,4	0,1	13,9
MUIDE	10,7	0,6	0,0	11,3
SLUIZEKEN	4,9	0,2	6,8	12,0
LEDEBERG	11,8	0,4	0,1	12,4

De meest UHI kwetsbare wijk overdag blijkt volgens deze kwetsbaarheidsanalyse Sluizeken-Tolhuizen-Ham te zijn. Dit is echter met name het gevolg van de daar aanwezige kwetsbare functies, vooral de daar aanwezige ziekenhuizen en serviceflats. Indien deze tehuizen en flats mogelijke oververhitting van hun inwoners via adequate fysieke, sociale of gezondheidsmaatregelen goed in de hand hebben (airco, architectuur, controle, medicatie etc.), dan komen eerder andere wijken boven drijven. Overdag blijkt vooral de Binnenstad daarnaast UHI kwetsbaar te zijn. Neem daarbij in het achterhoofd de verschillende openbare evenementen, dan moet er in feite geconcludeerd worden dat op vlak van dagstress, maar ook op nachtstress, in feite de Binnenstad in de breedte een meer kwetsbare wijk is. Daarnaast valt duidelijk op dat op demografisch vlak vooral respectievelijk Dampoort, Ledeberg en daarna Muide naar boven komen. Muide blijkt uit de totaalscores laag te staan, maar dit komt voornamelijk door het afwezig zijn van kwetsbare functies. Wordt er alleen gekeken naar de demografische en sociaal-economische factoren, dan zou Muide veel hoger scoren.

Alle relatieve en gestandaardiseerde waarden samengenomen toont dit volgend beeld.

Tabel 51 : De parameters onderling gewogen naar dag- en nachtstress (relatieve waarden).

SUHI													
	Demografie					Sociaal-economisch		Kwetsbare functies					
	jonge kinderen	ouderen	inwon.dichtheid	alleenstaanden	niet Belg/Beig	ondermodaat	NWGE	Speelsterren	Kinderopvang	Onderwijs	Ziekenhuis	Serviceflats	BrT
Binnenstad	0,04	0,06	0,06	0,13	0,06	0,07	0,09	0,02	0,03	0,09	0,00	0,23	0,13
Dampoort	0,11	0,06	0,14	0,07	0,11	0,17	0,22	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,04
Muide	0,05	0,03	0,06	0,04	0,14	0,29	0,26	0,07	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00
t Sluizeken	0,03	0,02	0,05	0,03	0,05	0,13	0,11	0,04	0,02	0,03	0,21	0,21	0,07
Ledeberg	0,08	0,06	0,11	0,07	0,12	0,20	0,24	0,04	0,04	0,02	0,00	0,00	0,03

CLUHI													
	Demografie					Sociaal-economisch		Kwetsbare functies					
	jonge kinderen	ouderen	inwon.dichtheid	alleenstaanden	niet Belg/Beig	ondermodaat	NWGE	Speelsterren	Kinderopvang	Onderwijs	Ziekenhuis	Serviceflats	BrT
Binnenstad	0,04	0,06	0,06	0,13	0,06	0,16					0,00	0,32	0,18
Dampoort	0,11	0,06	0,14	0,07	0,11	0,36					0,00	0,00	0,13
Muide	0,05	0,03	0,06	0,04	0,14	0,36					0,00	0,00	0,00
t Sluizeken	0,03	0,02	0,05	0,03	0,05	0,24					0,25	0,25	0,08
Ledeberg	0,08	0,06	0,11	0,07	0,12	0,43					0,00	0,00	0,12

Wat betreft de paramaters, blijkt het grote aandeel lage inkomensgroepen in Muide de meest UHI kwetsbare factor, vooral 's nachts, op tweede plaats ook op vlak van deze parameter in Dampoort. Maar overigens blijken over het algemeen de sociaal-economische factoren wel zwaar door te tikken, naast de hiervoor reeds genoemde ziekenhuizen en serviceflats in 't Sluizeken en de Binnenstad.

Komen we met deze conclusies in het achterhoofd tot een globale kwetsbaarheidsbeoordeling dan ontstaat het volgende beeld:

- De Binnenstad blijkt over het geheel genomen de meest kwetsbare wijk. Dit komt enerzijds door de (altijd terugkomende) inwonersdichtheid en anderzijds voor de Binnenstad vooral ook het aandeel alleenstaanden. Daarnaast komen hier gedurende de zomer ook tal van sport-, cultuur- en buitenevents voor (naast het reguliere buitenleven op terrasjes en pleinen). Deze maken de Binnenstad uitermate gevoelig. Juist hier lijkt zich de meest markante ontwerpogave aan te dienen.
- Een goede tweede overdag is Muide-Meulenstede-Afrikalaan, met name vanwege de daar aanwezige kansarme en lage inkomensgroepen. Voor deze wijk is in de komende tijd evenwel een belangrijke transformatie gepland; en het lijkt derhalve zaak om in de plannen de hier aangewezen UHI zwakten van de wijk te verhelpen.
- Dampoort is echter een opvallende wijk gedurende de nacht. Dit komt met name doordat de wijk een relatief grote werkeloosheidsdruk heeft, alsmede een relatief groot aandeel kinderen.
- 't Sluizeken-Tolhuis-Ham is met name kwetsbaar vanwege de sterke aanwezigheid van voornoemde UHI-e kwetsbare functies. Ledeberg tenslotte valt over het geheel genomen in deze kwetsbaarheidsanalyse relatief mee. Maar dit kan tevens komen doordat we in deze analyse nauwelijks het UHI-effect van werkgelegenheidsconcentraties hebben kunnen meenemen of het warmte-effect van de aanwezige verkeersintensiteit. Nabij de snelwegen en een van de drukste invalswegen van de stad, zou dat toch nog wel eens zwaar kunnen doorwegen. Daarnaast kan de buurt Bellevue mogelijk een mitigerend effect hebben. Nader onderzoek is hier gewenst. Thans kunnen we op basis van deze analyse echter alleen

constateren dat vooral vanwege de sociaal-economisch parameters van de wijk, Ledeberg kwetsbaar lijkt voor oververhitting.

HOOFDSTUK 7. TOEKOMSTPROJECTIE

Bino Maiheu - VITO

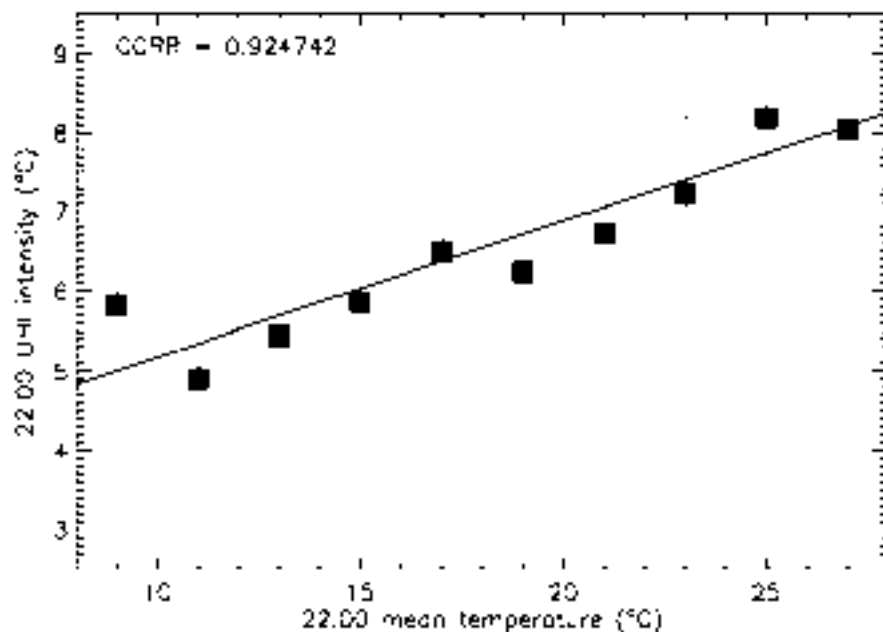
In dit onderdeel bekijken we in meer detail de evolutie van het stedelijk hitte-eiland effect rekening houdende met verwachte klimaatsverandering en evolutie van het landgebruik in Gent. Om dergelijke scenario analyses te kunnen uitvoeren dienen we ons te beroepen op een modellering gezien we niet kunnen vertrekken van meetgegevens of satelliet data die we in de toekomst zullen verzamelen. Deze toekomstprojectie wordt dus enkel voor het CLUHI effect doorerekend.

7.1. INLEIDING

7.1.1. KLIMAATSVERANDERING

De projectie bestaat uit 2 facetten. Eerst en vooral dienen we de veranderingen mee te nemen ten gevolge van het **veranderde klimaat**. Uit de IPCC (2007) rapporten en de literatuur blijkt dat de huidige concentratie broeikasgassen in de atmosfeer zal leiden tot een geschatte wereldgemiddelde temperatuursstijging van bijna 2 °C in de komende decennia. Modelmatige inschattingen variëren van 1.8 °C toename in 2090-2099 t.o.v. 1980-1999 tot zelfs 4.0°C (IPCC, 2007) voor bepaalde broeikasgas emissie scenario's. Klimaatonderzoekers verwachten ook dat het aantal hittegolven en zeer warme dagen nog verder toeneemt. Uit een preliminaire analyse van de resultaten van het ESA Urban Heat Island project⁵⁰, waarin lange historische tijdreeksen van stedelijke luchttemperatuur door VITO zijn doorerekend, blijkt dat de intensiteit van het hitte-eiland effect toeneemt bij hogere temperaturen, m.a.w. hoe warmer, hoe intenser het hitte-eiland effect. Dit wordt geïllustreerd door onderstaande grafiek, waarbij de CLUHI intensiteit in Parijs om 22:00 h UT wordt uitgezet t.o.v. de gemiddelde luchttemperatuur.

⁵⁰ <http://www.urbanheatisland.info>



Figuur 192 : De symbolen geven de gemiddelde intensiteit (en standaardafwijking) van het UHI effect in Parijs op de luchttemperatuur telkens om 22:00 UT gedurende mei - september 2003. De waarden zijn weergegeven in intervallen van 2°C van de gemiddelde luchttemperatuur. Bron: VITO – Urban Heat Islands project (ESA-DUE).

Om dergelijke klimaatsprognoses rigoureus door te rekenen, dienen we te beschikken over globale of regionale klimaatsberekeningen gedurende langere periodes (typisch 10 – 30 jaar). Die klimaatsprognoses bevatten dan de verwachte randvoorwaarden voor de toekomst en geven bijvoorbeeld aan of er in deze contreien bvb. meer of minder condities zullen optreden die een sterk SHE effect in de hand werken. Het gaat hier dus niet alleen om de temperatuur, maar bijvoorbeeld ook het relatieve voorkomen van bvb situaties met oostenwind en heldere hemel, waarvan geweten is dat die in Gent een sterker effect veroorzaken (zie § 2.1.5). Dergelijke modeluitvoer van klimaatsprognoses is echter voor dit project niet ter beschikking en het effectief nesten van het URBCLIM model, gebruikt in dit project voor de CLUHI modellering, in dergelijke klimaatsprognoses valt buiten de scope van het project.

Om dan toch een idee te krijgen van wat we in de toekomst mogen verwachten, is afgesproken te kijken naar een jaartal uit het verleden waarvoor de zomerperiode exceptioneel warm was. 2003 was duidelijk zo'n jaar en zou dus min of meer kunnen dienen als een voorbeeld van een zomerperiode waarvan we verwachten dat we er in Europa in de toekomst meer zullen te verwerken krijgen (Schär et al., 2004). Het voordeel hiervan is ook dat we eenvoudigweg de modellering kunnen aansturen met ECMWF meteo - randvoorwaarden voor 2003, volledig analoog zoals we dat deden voor de zomerperiode van 2012 (§ 4.1.2).

7.1.2. EVOLUTIE VAN HET LANDGEBRUIK IN EN OM GENT

Een tweede facet aan dergelijke toekomstprognose die 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. Dergelijke prognose specifiek voor Gent is een studie op zich en valt buiten het kader van dit project. We beschikken echter wel over de resultaten van de studie “De Vlaamse Ruimte in 4 Wereldbeelden”, uitgevoerd door VITO in opdracht van het steunpunt ruimte en wonen van de Vlaamse regering (Engelen et al., 2011). In die studie wordt een dynamisch landgebruiksmodel doorgerekend voor de periode 2010 – 2050 en dat voor een aantal macro-economische scenario’s. Voor een meer gedetailleerde bespreking van de scenario’s verwijzen we naar (Engelen et al., 2011), wat we in appendix C hebben samengevat in dit document.

Op het cellulaire niveau berekent het landgebruiksmodel jaar per jaar de verandering in het landgebruik van elke 1ha cel en genereert aldus een nieuwe landgebruikkaart per jaar. De toestandsverandering van een cel is afhankelijk van 4 elementen, zijnde vestigingsfactoren van de met het landgebruik geassocieerde socio-economische functie. Te weten:

1. de **functionele omgeving** van de cel, uitgedrukt als het landgebruik van de cellen in zijn onmiddellijke omgeving: een cirkelvormig gebied met een straal van maximaal 800 m. De afstandsafhankelijke aantrekking of afstoting tussen het landgebruik van de cel en dat van haar buurcellen, m.a.w. de wederzijdse ruimtelijke beïnvloeding. Dit is het echte dynamische element in het model. De volgende 3 elementen zijn statisch of quasi statisch maar zijn kenmerkend voor het heterogene karakter van de geografische ruimte waarin de dynamiek zich ontwikkelt:
2. de **bio-fysische geschiktheid** (het vermogen om het landgebruik te ondersteunen) van de cel. Het betreft een voor het landgebruik berekende waarde op basis van o.a. bodemtype, helling, overstromingskans, ...;
3. de **beleidsstatus** (institutionele, legale toestand) van de cel, bepaald op basis van de bestaande gewestplannen, RSV en RUPs, Natura 2000, speciale beschermingszones landschap en natuur, economische knooppunten, Voor perioden verder in de toekomst worden verschillende veronderstellingen gemaakt per scenario. In de scenario’s waarin de private belangen primeren is de rol van de beleidsstatus weinig bepalend;
4. de **ontsluiting** van de cel, berekend op basis van de verkeersinfrastructuur: wegen, waterwegen, spoor, openbaar vervoer, Het betreft een ontsluiting die specifiek wordt berekend voor elk type landgebruik, en, in de tijd kan veranderen als een functie van nieuwe projecten die gerealiseerd worden. De missing links worden in de scenario’s ingevoerd op het moment dat ze gerealiseerd zijn. Ook de lightrail- en sneltramverbindingen uit het 2020-plan van De Lijn worden verondersteld gerealiseerd te zijn in fasen. In de scenario’s waarin de private belangen primeren worden enkel die lijnen gerealiseerd waarvan men mag veronderstellen dat ze rendabel te exploiteren zijn.

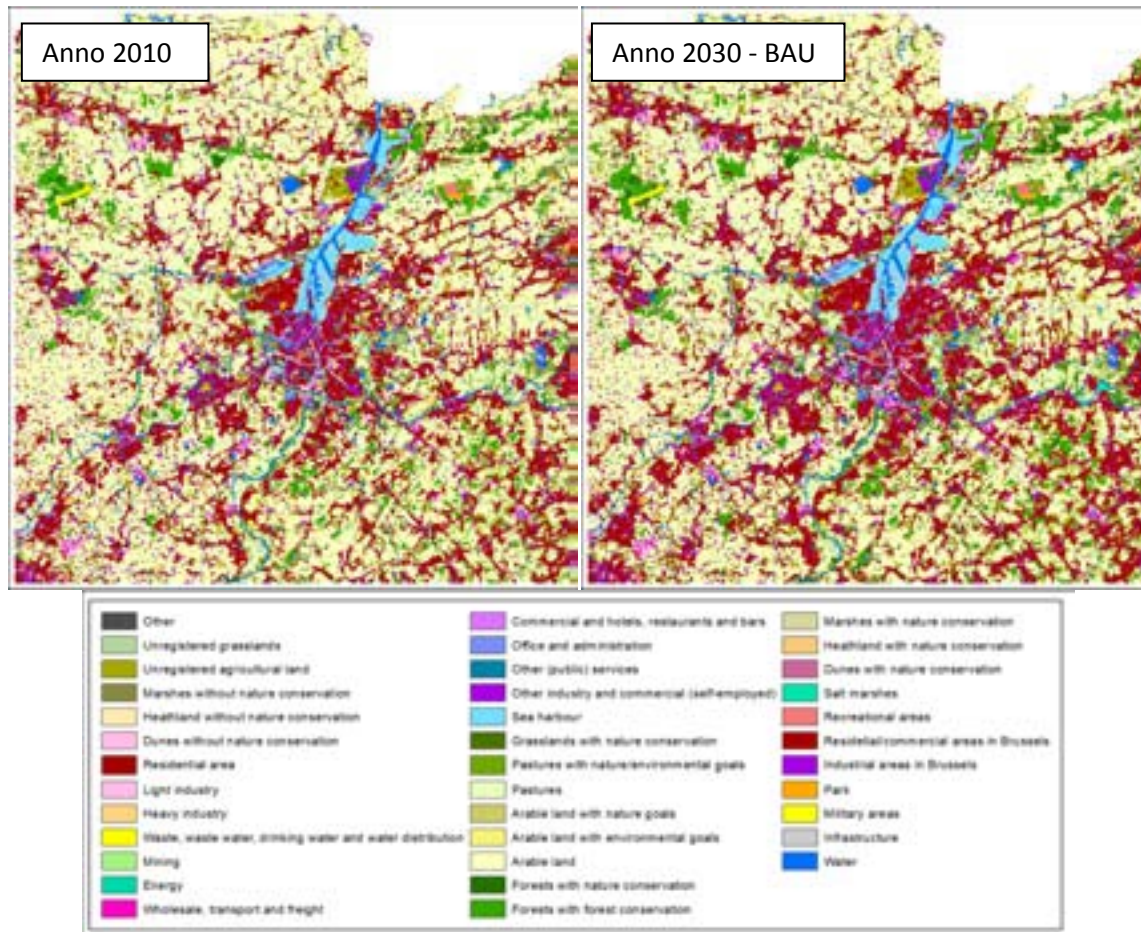
In deze studie zullen we gebruik maken van een business as usual scenario (BAU) en dat voor een projectie naar 2030. Redenen voor deze keuze zijn :

- Van 2010 naar 2030 zie je vooral een uitbreiding van woonkernen voor bijvoorbeeld Lochristi of Merelbeke, en van lintbebouwing. De rand rond Gent zelf lijkt minder sterk te veranderen/verdichten. Dat lijkt aan te sluiten bij de Structuurvisie 2030 waarin men toch streeft naar een verdichting van het stedelijk weefsel en een vrijwaring van de deelgemeenten.
- Tussen de verschillende scenario’s voor 2030 lijkt niet zo heel veel verschil voor het schaalniveau / grondgebied van Gent. Hier en daar is er wel wat verschil naar precieze invulling (bijvoorbeeld meer residential in het BAU scenario, meer industrie en commercial in het GE scenario, en nog meer in het RC scenario) maar oppervlak aan landverzegeling lijkt vrij gelijkaardig.

De huidige situatie (2010) en het BAU scenario voor 2030 werden onderaan weergegeven in Figuur 193.

Tabel 52 : Klassen in het landgebruiks model van Engelen et al.

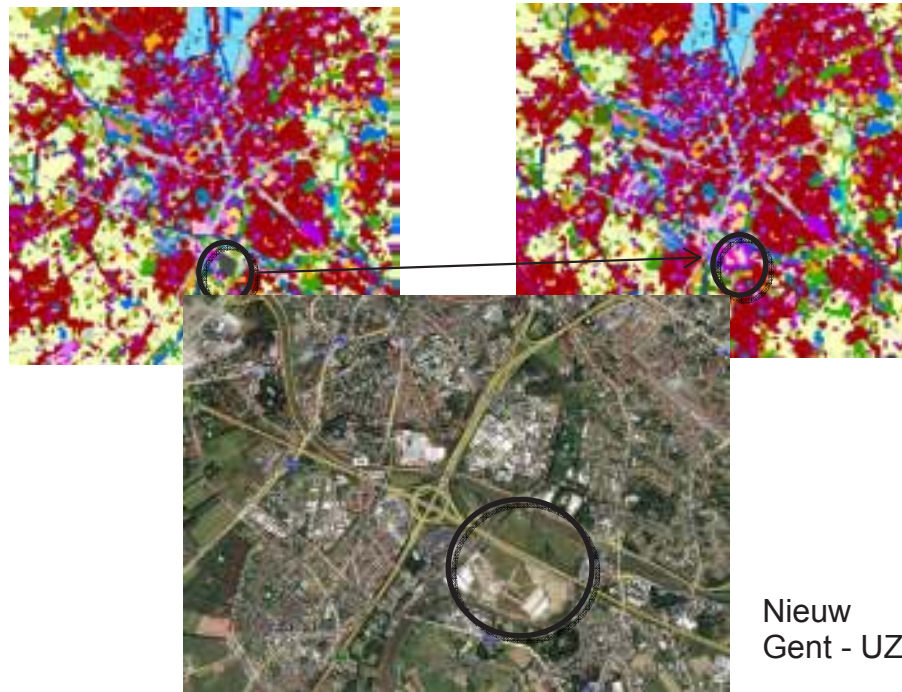
ID		ID	
0	Other	19	Pastures with nature/environmental goals
1	Unregistered grasslands	20	Pastures
2	Unregistered Agricultural land	21	Arable land with nature goals
3	Marshes without nature conservation	22	Arable land with environmental goals
4	Heathland without nature conservation	23	Arable land
5	Dunes without nature conservation	24	Forest with nature conservation
6	Residential area	25	Forest with forest conservation
7	Light industry	26	Marshes with nature conservation
8	Heavy industry	27	Heathland with nature conservation
9	Waste, waste water, drinking water...	28	Dunes with nature conservation
10	Mining	29	Salt marshes
11	Energy	30	Recreational areas
12	Wholesale, transport and freight	31	Residential/commercial areas in Brussels
13	Commercial, hotels, restaurants, bars	32	Industrial areas in Brussels
14	Office and administration	33	Park
15	Other public services	34	Military areas
16	Other industry and commercial	35	Infrastructure
17	Sea harbour	36	Water
18	Grasslands with nature conservation		



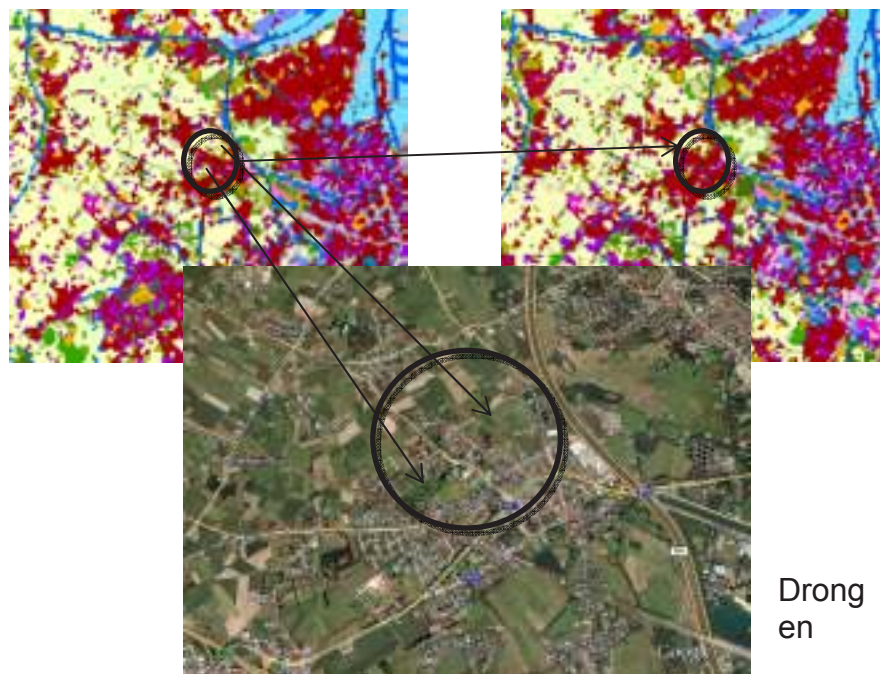
Figuur 193 : Dynamische landgebruiksmodellering voor Gent : basis jaar anno 2010 (links), rechts : business as usual scenario 2030.

In totaal zijn een 37-tal landgebruiksklassen aanwezig in deze landgebruiksprojectie. Deze werden nogmaals expliciet opgelijst in bovenstaande Tabel 52.

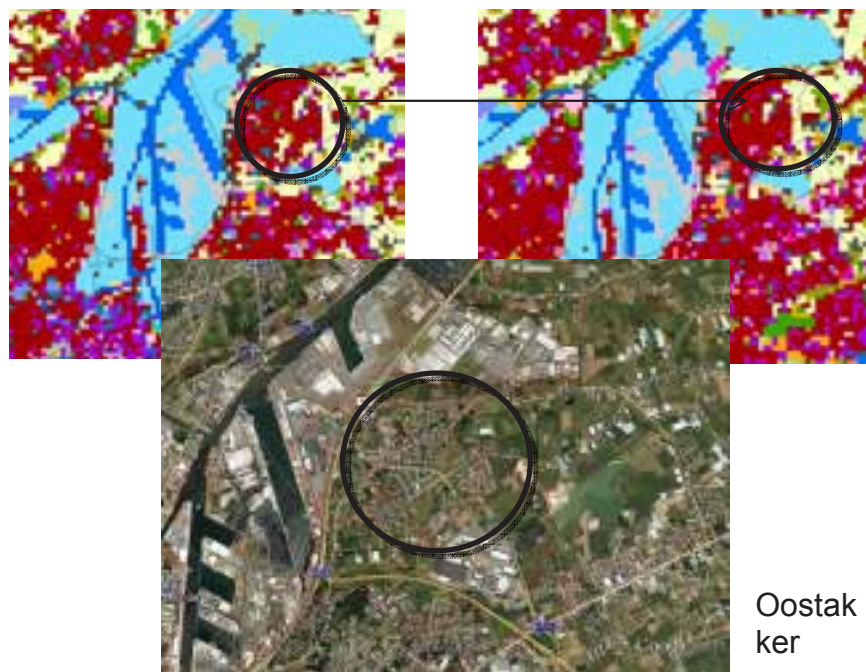
Hieronder laten we de meest opvallende verschillen zien die we in de landgebruiksprojectie voor Gent aantreffen : Nieuw-Gent/UZ, Drogen, Oostakker, The Loop.



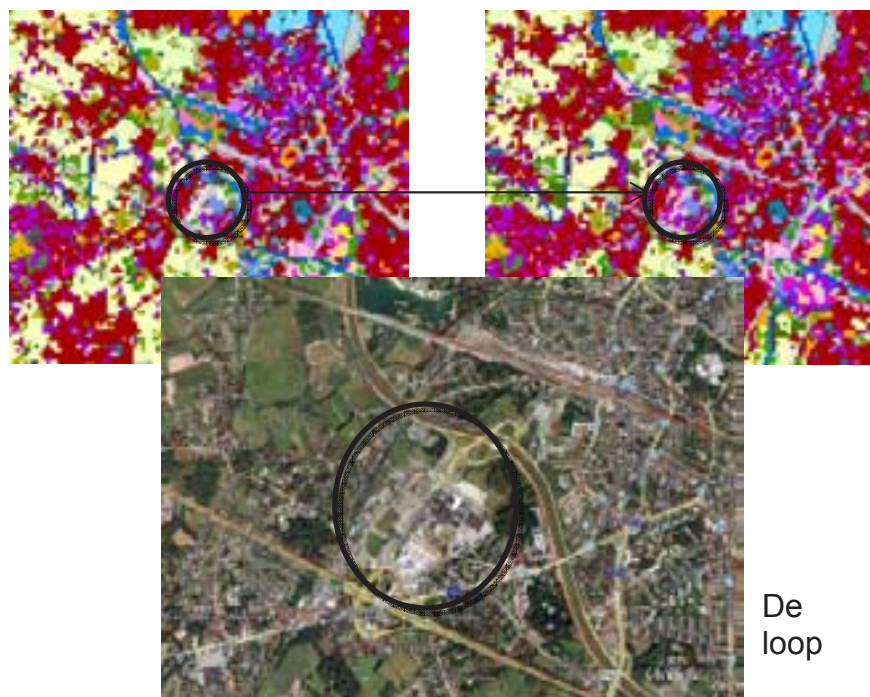
Figuur 194 : De terreinen aan de E40 ter hoogte van Zwijnaarde, die in de huidige (2010) landgebruikskaat staan ingekleurd als "other" en waarvan het ruimtelijk dynamisch model verwacht dat ze in 2030 zullen ingenomen worden door hoofdzakelijk lichte en zware industrie gecombineerd met groothandel.



Figuur 195 : In Drongen zien we dat het ruimtelijk dynamisch model verwacht dat er tussen de Treinstraat en de Antoon Catriestraat een stuk weiland zal verder ingenomen worden voor verdere verkaveling (residentieel gebied), gecombineerd met enkele kleine commerciële activiteiten.



Figuur 196 : Ook nabij het centrum van Oostakker merken we verdere verdichting op door de uitbreiding van het residentieel gebied.



Figuur 197 : Tenslotte zien we ook een toename van de groothandelsactiviteiten rond de Loop. Een evolutie die reeds enkele jaren bezig is met de komst van bvb de IKEA in Gent.

7.2. VERTALING LANDGEBRUIKSPROJECTIE NAAR URBCLIM MODELLERING

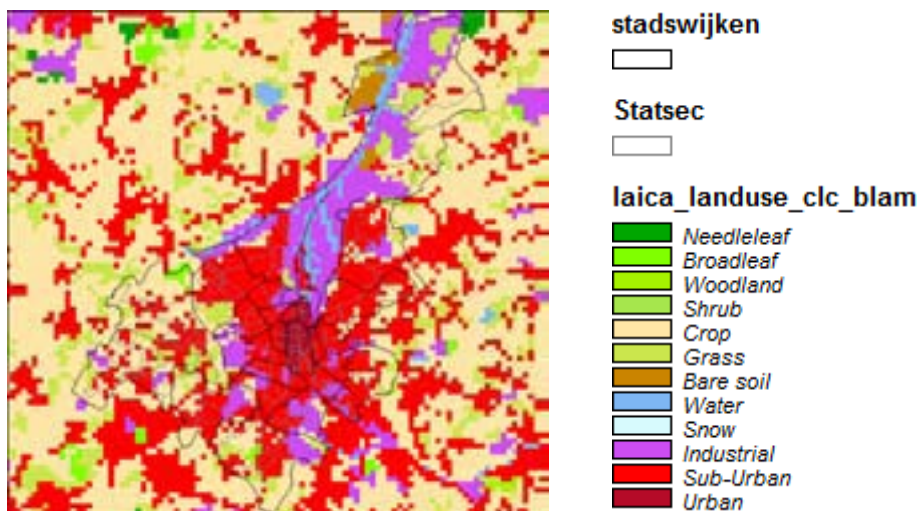
Zoals in 4.1 reeds beschreven maakt het URBCLIM model gebruik van een 12-tal landgebruiksklassen, in tegenstelling tot de meer gedetailleerder opdeling van (Engelen et al., 2011). We dienen hier dus m.a.w. een vertaling te doen van de klassen uit het ruimtelijk dynamisch model naar de URBCLIM klassen. Deze vertaling is hieronder aangegeven in Tabel 53. Voor het overgrote deel van de klassen is dit relatief eenvoudig, maar toch dienen we op een aantal zaken te letten.

- Allereerst is het zo dat de landgebruikskaart van het ruimtelijk dynamisch model op 100 m resolutie gegeven werd. Gezien de URBCLIM modellering op 250 m is, dienen we de klassen op 100 m te aggregeren naar 250 m. We doen dit door een soort “majority filter”. Dit houdt in dat we aan elke 250 x 250 m rooster cel de klasse toekennen die het meest voorkomt in de onderliggende 100 x 100 m landgebruikskaart.
- We merken verder op dat in het landgebruik van Figuur 193 geen onderscheid gemaakt wordt tussen continu en discontinue stedelijk gebied. Er is slechts 1 enkele klasse met “Residential Area”. De opdeling naar functionaliteit is weliswaar iets gedetailleerder, maar naar morfologie van het stedelijk weefsel toe is die minder aanwezig. Het centrum van Gent werd op basis van CORINE overschreven als continu verstedelijkt gebied, terwijl de overige klassen van het ruimtelijk dynamisch model als “sub-urban” dan overgehouden zijn.
- Verder hebben we ook enkele in-situ correcties doorgevoerd om zeker te zijn dat het Citadelpark er bvb. als vegetatie in zit. Dit is in deze scenarioberekening heel belangrijk omdat we expliciet de vegetatiefractie in de modellering zullen koppelen aan het landgebruik.

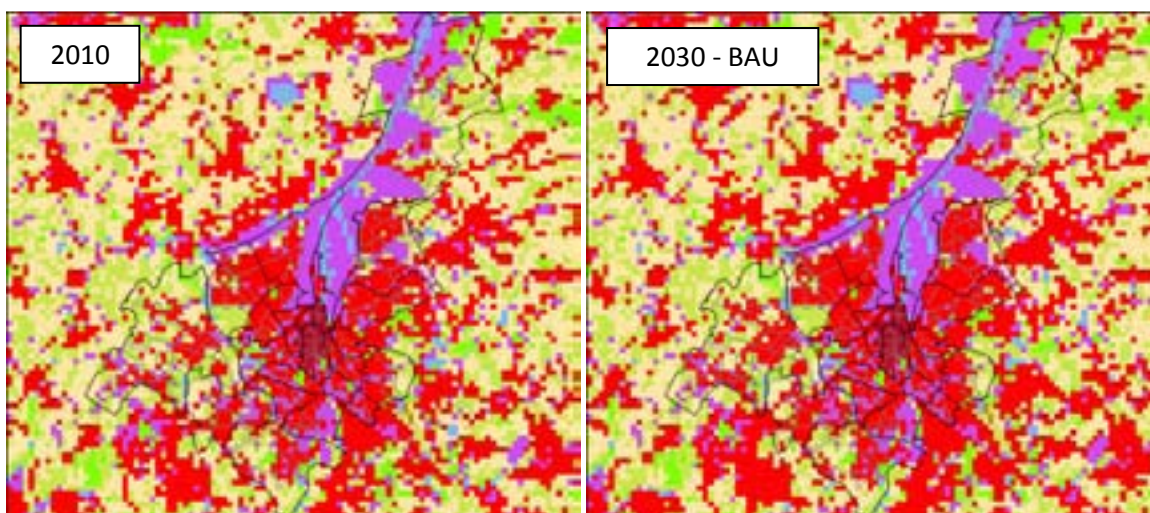
Tabel 53: Mapping van de klassen tussen het dynamisch landgebruiksmodel van Engelen et al. en de LAICa landgebruiksklassen in de URBCLIM modellering. De nummers van de klassen van het ruimtelijk dynamisch model komen overeen met deze uit Tabel 52.

LAICa klasse	Beschrijving	Klassen dynamisch landgebruiksmodel
1	Urban	Overgenomen uit CORINE
2	Sub-urban	6, 31, 12, 13, 14, 15, 30
3	Industrial	0, 7, 8, 9, 10, 11, 16, 17, 32, 35
4	Snow/ice	n/a
5	Water	36
6	Bare soil	5, 28, 29, 34
7	Grass	1, 18, 19, 20
8	Crop	2, 21, 22, 23
9	Shrub	3, 4, 26, 27
10	Woodland	n/a
11	Broadleaf	24, 25, 33
12	Needleleaf	n/a

Op basis van deze mapping kunnen we het afgeleide landgebruik nu naast de originele landgebruikskaart leggen die werd gebruikt voor de modellering van HOOFDSTUK 4.

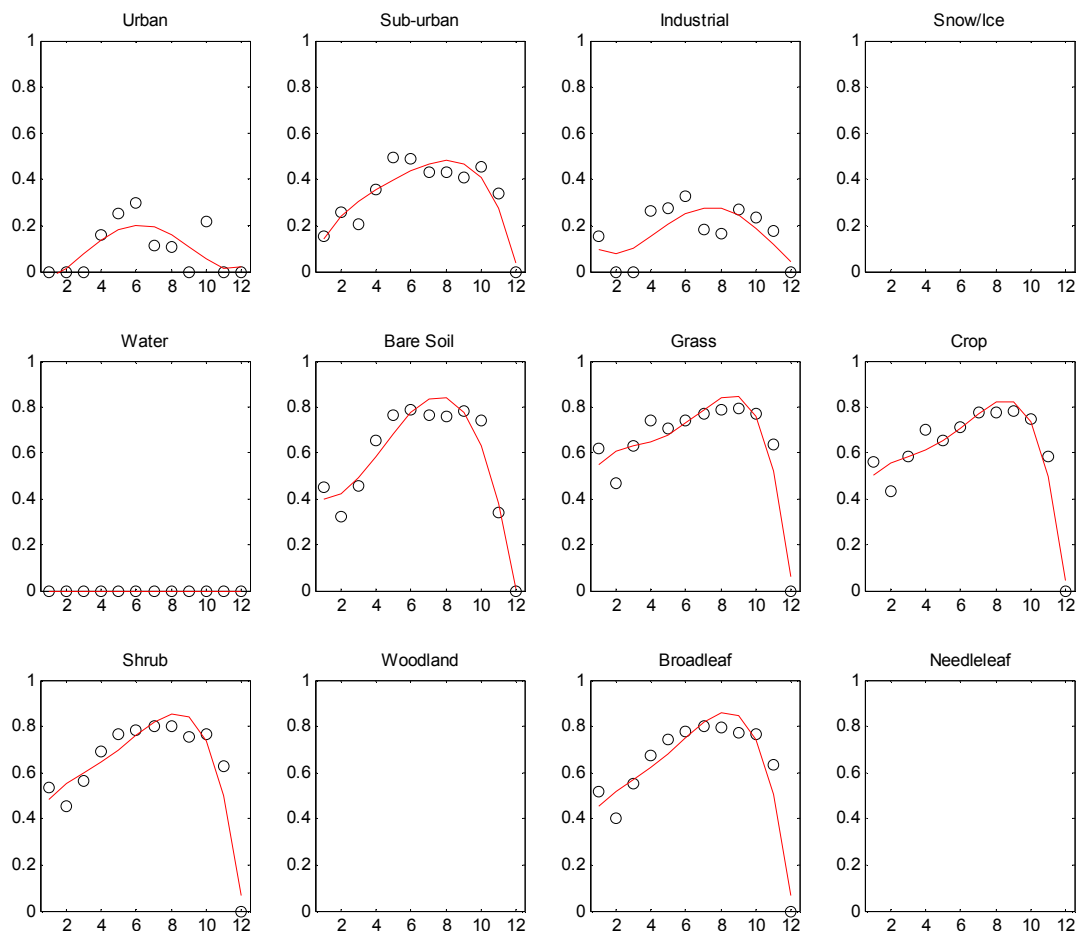


Figuur 198 : Origineel landgebruik, gebruikt in de modellering met URBCLIM zoals hoger beschreven.



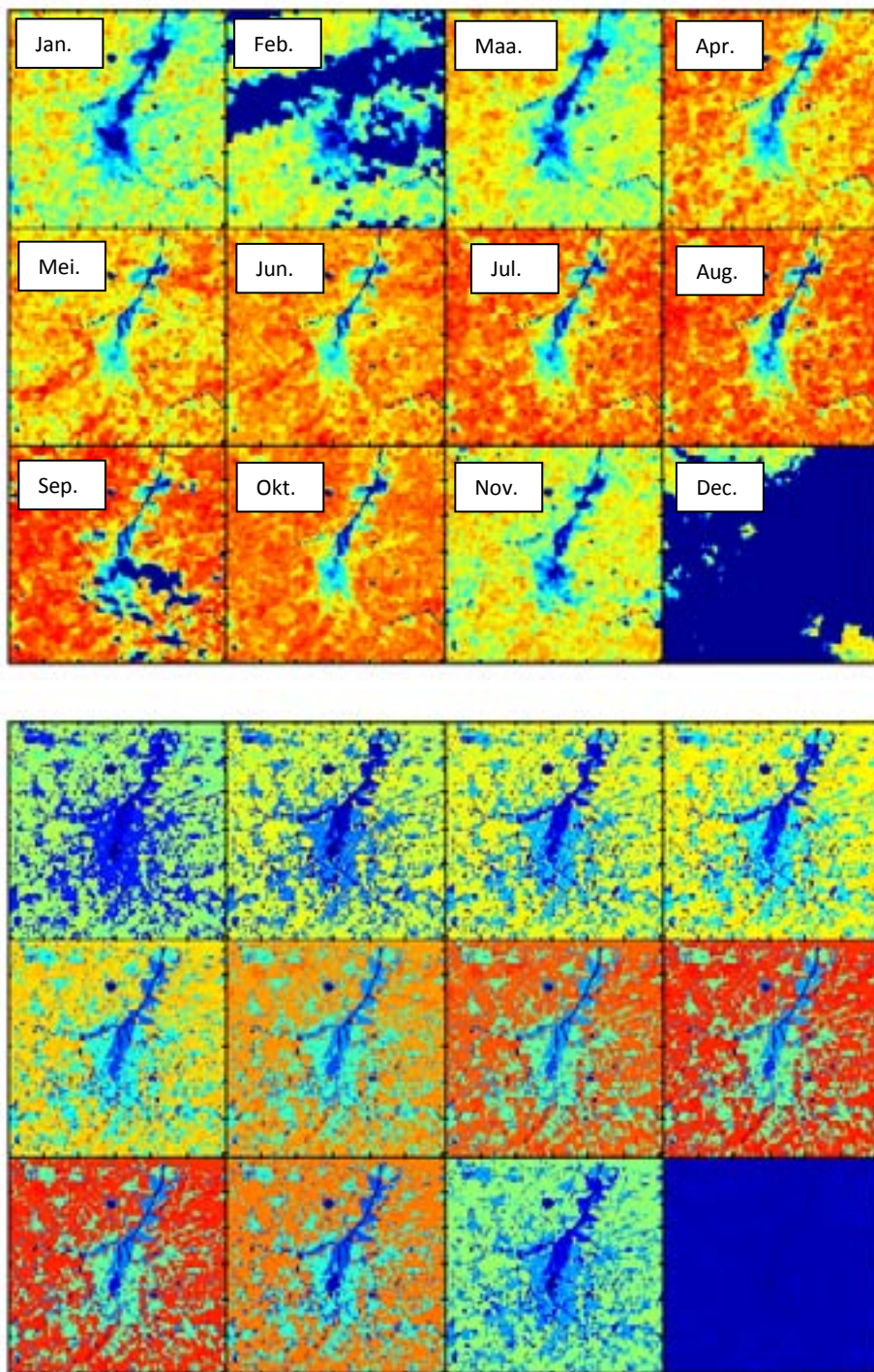
Figuur 199 : Landgebruikskarten in de LAICA klassen afgeleid op basis van de landgebruiksprojecties van (Engelen et al., 2011). Links: situatie in 2010, rechts : verwachte situatie in 2030 volgens business as usual scenario.

Voor de modellering van HOOFDSTUK 4 werd het URBCLIM model namelijk opgezet met de CORINE data als input, gebruik makende van vegetatie cover afkomstig van satellietbeelden (MODIS). Gezien deze vegetatie cover in belangrijke mate het SHE effect in Gent mee bepaalt, is het niet onbelangrijk hiervoor een onafhankelijke bron te hebben, i.e. satelliet data. Wanneer we echter spreken over toekomstprojecties, dan hebben we deze databron uiteraard niet meer ter beschikking en dienen we de “toekomstige” fractie vegetatie op een andere manier in te schatten. Dit houdt echter wel in dat we ook onze “basis” modellering op dezelfde manier dienen in te vullen zodat we enkel de verwachte verschillen inzake landgebruik en klimaat (meteo) meenemen en niet de andere benadering t.g.v. het al dan niet gebruik maken van satellietgegevens.



Figuur 200 : Karakteristieke vegetatie fractie als functie van de 12 maanden van het jaar voor de 12 URBCLIM landgebruiksklassen.

We zullen echter de satelliet data niet volledig links laten liggen, door wel gebruik te maken van de evolutie van de fractie vegetatie doorheen het jaar en dat als functie van de verschillende landgebruiksklassen. Dit is hierboven in Figuur 200 afgebeeld. Per landgebruiksklasse in URBCLIM nemen we de mediaan van de fractie vegetatie in de pixels die bij die bepaalde klasse horen. Voor de klassen “Urban”, “Sub-urban” en “Industrial” gebeurde dit op basis van een handmatige selectie van karakteristieke pixels omdat anders de ruimtelijke variabiliteit van de gereconstrueerde vegetatie cover te laag uitvalt t.o.v. de originele satelliet data. De gereconstrueerde profielen werden vervolgens met een 4^e graads polynoom gefit (rode lijnen in Figuur 200) en volgens het landgebruik (zowel het actuele scenario volgens het dynamisch model, als het toekomstig scenario voor 2030) terug ruimtelijk gespreid. We kunnen nu de originele fractie vegetatie, gebaseerd op de MODIS satelliet data, vergelijken met de gereconstrueerde grootte op basis van de profielen uit Figuur 200.



Figuur 201 : Vergelijking van de originele vegetatie fractie (boven) zoals gebruikt in het URBCLIM model voor de modellering in HOOFDSTUK 4 (gebaseerd op MODIS satelliet data) en (onder) de gereconstrueerde vegetatie fractie per URBCLIM landgebruiksklasse op basis van de profielen van Figuur 200. De schaal is voor beide figuren identiek en gaat van 0 (donkerblauw) naar 1 (rood).

Uiteraard zijn duidelijke verschillen merkbaar en zou een meer gedetailleerdere studie van de fracties vegetatie per type landgebruik hier op z'n plaats zijn om een meer getrouwe inschatting te kunnen doen van de evolutie van vegetatie in en om Gent. Dit zou ons echter te ver leiden en is

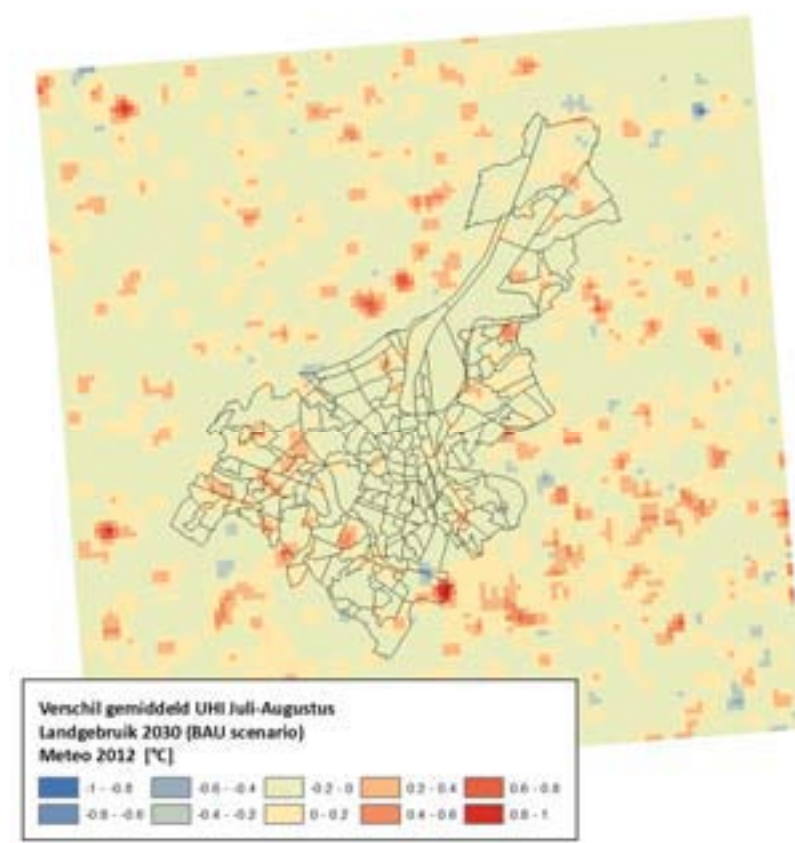
een studie op zich. Finaal zijn het vooral ook de verschillen die ons in deze toekomst projectie interesseren.

7.3. ANALYSE TOEKOMST SCENARIO

Hier zullen we nu de resultaten bespreken van de toekomstprojecties. Om een opdeling te kunnen maken tussen de effecten van het veranderende landgebruik in het BAU scenario (zie hoger) en de impact van de grootschalige meteorologische condities (klimaatsverandering), zullen we deze twee facetten apart bekijken. We focussen onze analyse op de gemiddelde SHE intensiteit om 23:00 's avonds lokale tijd gedurende de maanden juli-augustus.

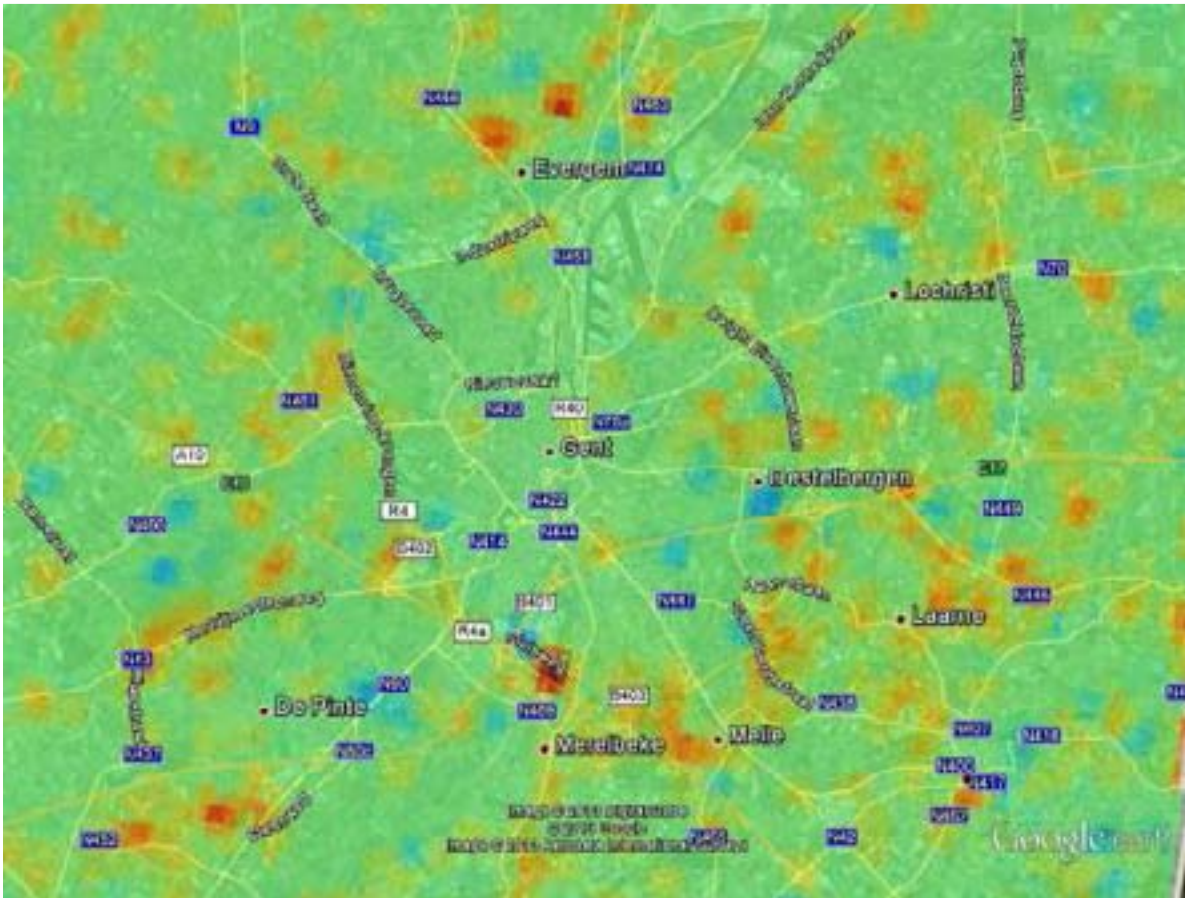
7.3.1. EFFECT VAN DE VERDERE VERSTEDELIJING

In onderstaande figuur is het verschil tussen de gemiddelde CLUHI intensiteit in de maanden Juli/Augustus (meteo 2012) om 23:00 's avonds lokale tijd weergegeven tussen het BAU landgebruikscenario voor 2030 en het huidige landgebruikscenario. De weergegeven temperatuursveranderingen zijn m.a.w. louter te wijten aan het veranderende landgebruik in het BAU scenario 2030 t.o.v. de huidige situatie volgens de modelresultaten van Engelen et al, (2012).



Figuur 202 : Verschil in gemiddelde CLUHI intensiteit voor de maanden Juli-Augustus (meteo 2012) voor het BAU landgebruikscenario in 2030 ten opzichte van het landgebruik in 2012.

In onderstaande Figuur 203 hebben we een Google Earth overlay gemaakt van datzelfde resultaat.



Figuur 203 : Google-earth overlay van de bovenstaande figuur.

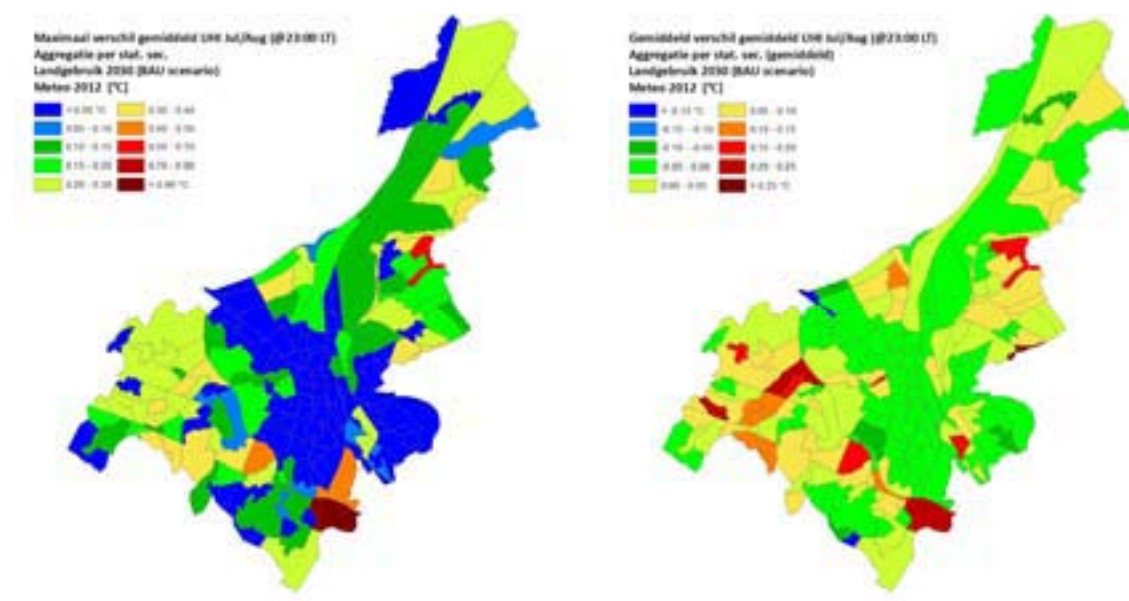
De grote meerderheid van de lokaties waar een duidelijke verandering in het gemiddelde stedelijke hitte eiland effect optreedt kent effectief een toename van het effect. We merken dat het hoofdzakelijk de buurgemeenten zijn die ten gevolge van de verdere verstedelijking een toename van het UHI effect zullen kennen. Vooral naar het Zuiden toe zien we in Merelbeke – Melle de grootste toename van het UHI effect ($0.4 - 1^{\circ}\text{C}$ gemiddeld) t.g.v. de verwachte verstedelijking in het BAU scenario 2030. Ook in het noorden in Evergem merken we enkele zones waar een verstedelijking verwacht wordt met een toename van het UHI effect van ongeveer $0.5 - 0.7^{\circ}\text{C}$ gemiddeld.

In het centrum van Gent merken we al bij al relatief weinig verschil inzake UHI intensiteit t.g.v. het veranderende landgebruik, wat wel logisch is gezien daar minder ruimte is voor verdere verstedelijking op grote schaal.

Tot slot dienen we nog op te merken dat er een zekere voorzichtigheid geboden is bij de interpretatie van de resultaten. Met name zijn deze geïdentificeerde zones het resultaat 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 Gent. De grote trends die we hieruit echter kunnen halen lijken wel relevant, met name : een toename van het UHI effect t.g.v. verstedelijking vooral in de

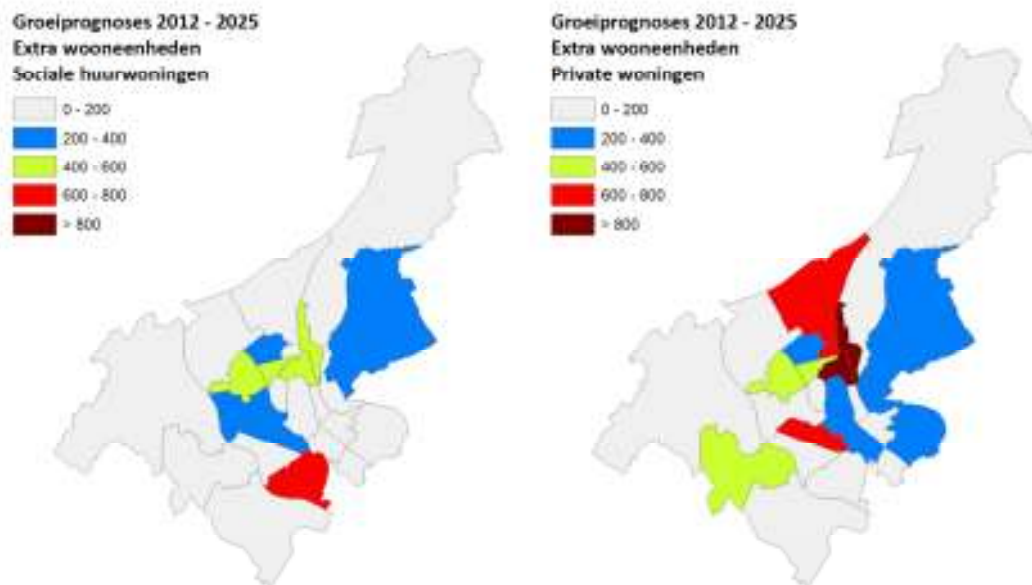
buurgemeenten van Gent, niet zozeer in Gent zelf met een toename van ongeveer een 0.5 °C tot in bepaalde gevallen 1 °C gemiddeld (om 23:00 's avonds beschouwd).

Om toch voor de administratieve grenzen van Gent even de analyse te maken, aggregeren we de resultaten naar de statistische sectoren en kunnen we afleiden in welke wijk de toename van het UHI effect het meest significant is. We tonen onder in Figuur 204 het maximale verschil en het gemiddelde verschil voor de statistische sectoren, terug voor wat betreft de gemiddelde UHI intensiteit om 23:00 's avonds (Juli/Aug, meteo 2012). We zien inderdaad dat in het overgrote deel van het centrum en ook het havengebied relatief weinig verschil te merken valt in het 2030 BAU scenario. De sector binnen de administratieve grenzen van Gent met de sterkste verwachte toename is Zwijnaarde – Industrie en Oostakker (Oostakkerveld). Ook voor Sint Denijs Westrem (Bugten) en Drongen (Hoogland/Paradijskouter) zien we relatief gesproken sterkere toenames van de UHI intensiteit.



Figuur 204 : Aggregatie van het verschil in gemiddelde UHI intensiteit om 23:00 's nachts (Juli/Augustus, meteo 2012) tussen het huidige landgebruik in Gent en het BAU scenario 2030. Links tonen we het maximale verschil (in een van de 250x250m model roosterzellen) per statistische sector, rechts het gemiddelde.

We gaven reeds aan dat de gebruikte informatie over de het toekomstig landgebruik in Gent afkomstig is van een studie die niet echt rekening houdt met lokale informatie wegens het niet beschikbaar zijn van gegevens op het benodigde detail niveau. Wel is het zo dat groeiprognose cijfers over het verwachte aantal wooneenheden voor Gent beschikbaar zijn.



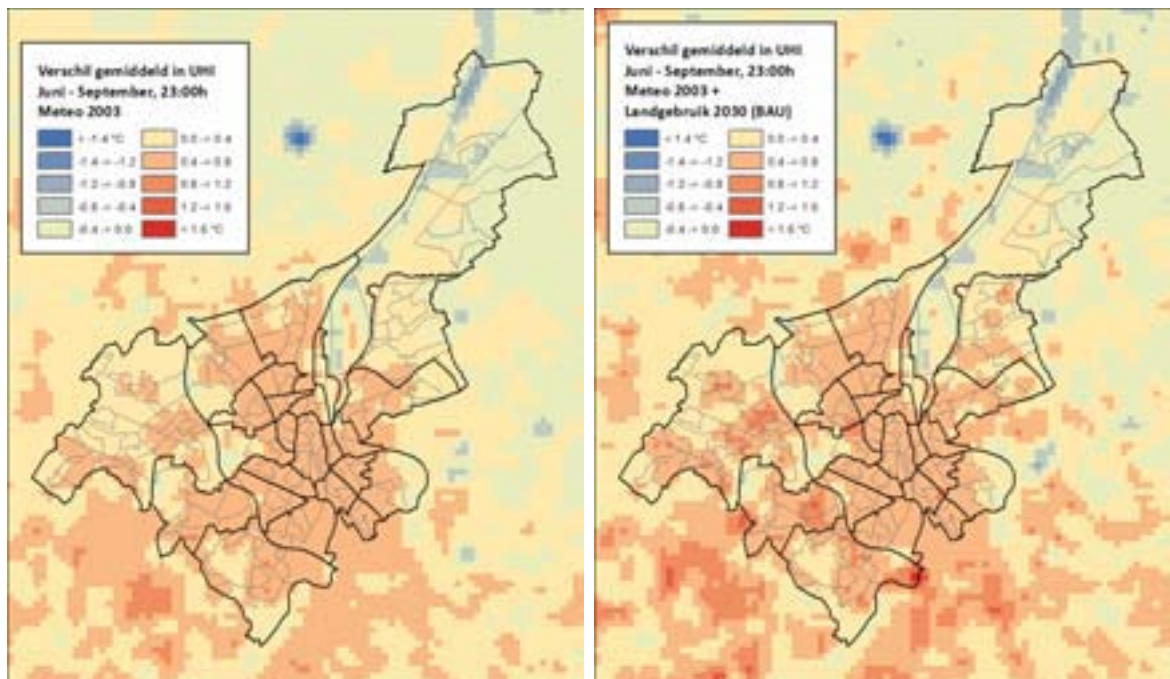
Figuur 205 : Groei prognoses voor Gent : links het verwachte aantal extra sociale huurwoningen in 2025, rechts het verwachte aantal extra private wooneenheden.

Voorals in de wijk Muide-Meulestede-Afrikalaan verwacht Stad Gent tot 1500 extra wooneenheden tegen 2025 met tussen 400 – 600 sociale huurwoningen en meer dan 800 private wooneenheden. We kunnen dus besluiten dat daar ook de kwetsbaarheid t.a.v. hittestress zal toenemen. Hoe dit exact een impact heeft op het toekomstig SHE in die wijken is moeilijk te zeggen zonder meer concrete cijfers en informatie over de inrichting van die wijken (% verhardingen, aanleg van parken / waterpartijen etc...)

7.3.2. EFFECT VAN DE KLIMAATSVERANDERING

Naast het besproken effect van de verdere verstedelijking op de CLUHI intensiteit zal er ook een toename van het stedelijk hitte eiland effect te verwachten zijn ten gevolge van de klimaatsverandering. Hiertoe, zoals hoger reeds gemotiveerd, hebben we de meteorologische condities van de zomer van 2003 als randvoorwaarde opgelegd. We bekijken hieronder het verschil in de modelresultaten.

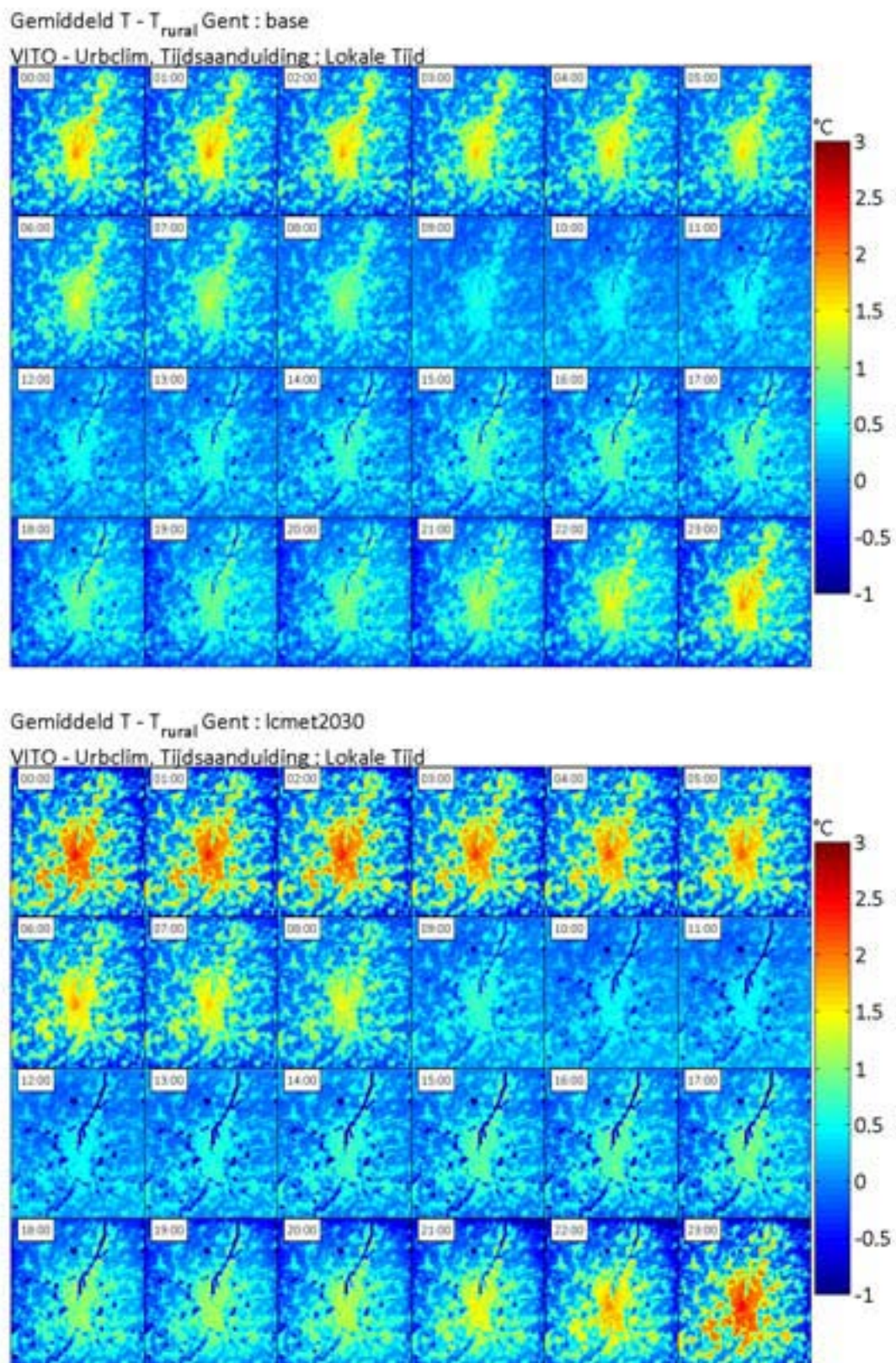
Gezien we hier uiteraard slechts 1 enkele zomerperiode in rekening brengen is de analyse gevoelig aan de exacte meteorologisch condities gedurende de beschouwde periode en dient deze analyse geenszins beschouwd te worden als een werkelijke toekomstprojectie van het verwachte UHI effect in Gent, eerder als indicatie van wat zich in de toekomst vaker zal voordoen. Bij een eerste analyse bleek dan ook dat er in de verschillen van het UHI effect met de meteo van 2003, die we als een indicatief jaar voor de toekomst behandelen, er een sterke windafhankelijkheid zat wanneer we ons beperkten tot de werkelijke zomermaanden Juli en Augustus. Daarom is in onderstaande Figuur 206 de periode Juni-September in rekening gebracht. We merken echter nog altijd een uitgesproken effect van de windrichting, wat de interpretatie enigszins bemoeilijkt.



Figuur 206 : Verschil van het gemiddelde UHI effect om 23:00 gedurende de periode Juni-September voor Gent. Links tonen we enkel het verschil in het UHI effect als gevolg van de meteo van 2003. Rechts tonen we de gecombineerde impact van de meteo van 2003 en het landgebruik in het BAU scenario voor 2030.

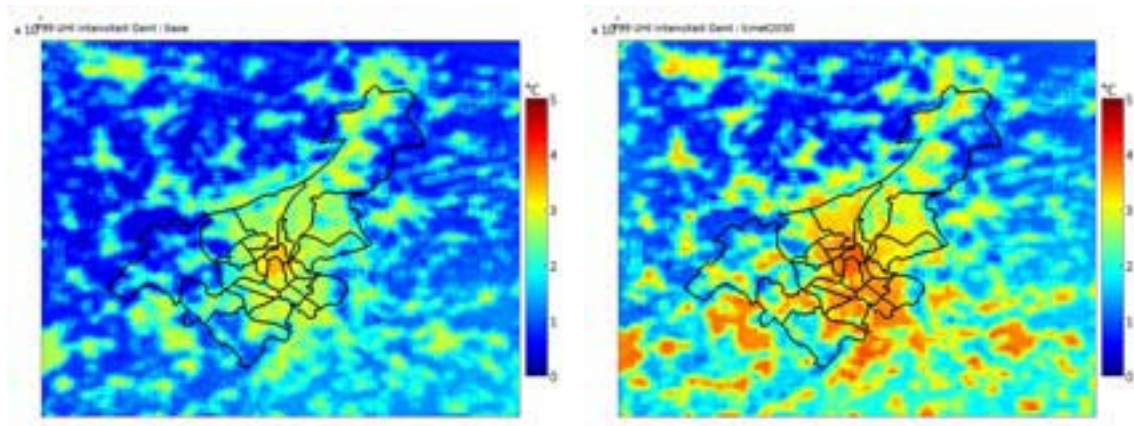
Wel kunnen we stellen dat we over het algemeen een toename van het gemiddeld UHI effect zien van ongeveer 0.4 – 0.8 °C puur als gevolg van klimaatsverandering (Figuur 206 links). Gesuperponeerd op deze toename zien we in het rechterpaneel van dezelfde figuur de toename ten gevolge van het veranderende landgebruik, waardoor in de boven (§ 7.3.1) vermeldde aandachtzones de totale stijging van de gemiddelde intensiteit van het SHE van 0.8 tot 1.6 °C vinden. In wat volgt zullen we nu enkel het gecombineerde effect beschouwen.

In onderstaande Figuur 207 zien we een vergelijking van het gemiddelde UHI effect voor elk uur van de dag, waarbij we duidelijk zien dat de sterkste toename van het UHI effect zich 's nachts voordoet.



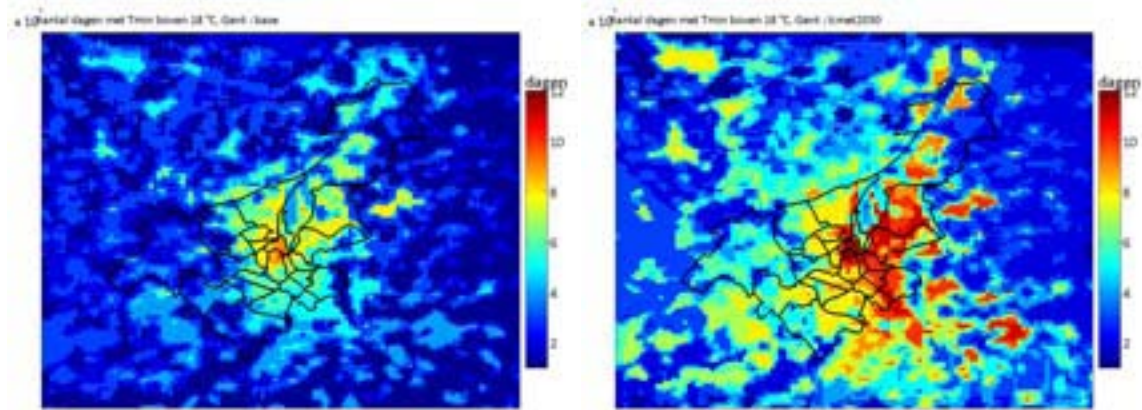
Figuur 207 : Vergelijking van het gemiddelde uurlijkse UHI effect tussen de basis run en de scenario run (landgebruik 2030, meteo 2003).

Naast het gemiddeld UHI effect op zich is het interessant te gaan kijken hoe de extreme waarden van de UHI intensiteit zijn toegenomen. Onderstaande figuur vergelijkt de 99 percentiel waarden van de UHI intensiteit waarbij we ook een duidelijke toename vaststellen (weliswaar opnieuw in interpretatie geplaagd door het effect van de windrichting gedurende deze periodes van vergelijking).



Figuur 208 : Vergelijking tussen de P99 van de UHI intensiteit (links) voor het basis scenario en rechts de P99 intensiteit voor het toekomst scenario.

Analoog zien we onderaan dat het aantal dagen met een nachtelijke minimum temperatuur in de binnenstad met een 5-tal dagen is toegenomen gedurende de periode Juni-September. Dit verschil is in hoofdzaak te danken aan de toegenomen grootschalige temperaturen voor de meteo 2003 en in mindere mate aan het veranderende landgebruik.



Figuur 209 : Vergelijking tussen het aantal dagen met een nachtelijke minimum temperatuur boven de 18 °C voor het basis scenario links en het toekomst scenario rechts.

Als besluit van deze oefening dienen we te stellen dat het moeilijk is om ruimtelijk expliciete informatie over de impact van veranderende meteorologische condities af te leiden op basis van de doorrekening van één enkele zomerperiode. Het is uiteraard niet voor niets dan men in klimaatsscenario's typisch periodes van een 10-30 jaar doorrekent. Echter kunnen we wel op basis hiervan een inschatting doen van de impact van klimaatsverandering op het stedelijk warmte

eiland effect voor Gent als geheel, met name een toename van de gemiddelde intensiteit van het UHI effect met $0.4 - 0.8$ °C, een 5-tal extra dagen met een nachtelijke minimum temperatuur boven de 18 °C en een duidelijke toename van de pieken in UHI intensiteit. Ten gevolge van de verwachte verdere verstedelijking verwachten we verder ook een toename van het UHI effect vooral in de rand van de stad, niet zozeer in het centrum.

HOOFDSTUK 8. CONCLUSIES EN BELEIDSAANBEVELINGEN

Luuk Boelens – UGent/AMRP, Bino Maiheu - VITO

8.1. CONCLUSIES

In het hiervoor afgaande is een geïntegreerd onderzoek verricht naar de gevoeligheid t.a.v. het stedelijk hitte eiland effect van de stad Gent in haar geheel en specifiek naar de verschillende wijken. Daarbij stonden een viertal vragen centraal. De antwoorden daarop zullen wij hier kort memoreren:

8.1.1. DOET HET STEDELIJK HITTE EILAND (SHE) EFFECT ZICH IN GENT VOOR EN WAAR DAN HET MEEST?

Daartoe zijn in de zomer van 2012 op drie locaties in de stad en op één referentielocatie in het ommeland temperatuurmetingen verricht. Deze puntmetingen van de luchttemperatuur werden vergeleken met de resultaten van een gebiedsdekkend model. Daarnaast is een studie gemaakt van de oppervlaktetemperatuur door middel van ASTER-satellietbeelden voor Gent en omgeving. De oppervlakte temperatuur van die ASTER beelden vertaalden we naar een maat voor dagstress, die men als het gevolg van hitte kan op lopen. Overdag is blootstelling aan en terugkaatsing van hitte vanuit de ondergrond en omgeving immers het grootst. De luchttemperatuur geeft een maat voor de nachtstress; want dan is de eventuele stress als gevolg van de (overdag) opgewarmde luchttemperatuur immers het grootst.

Uit deze berekeningen blijkt dat de opwarming van het verstedelijkte deel van Gent in vergelijking tot haar (landelijke en suburbane) omgeving wel degelijk aanzienlijk kan zijn. Soms scheelt het meer dan dertig graden Celsius voor de oppervlakte- en acht graden Celsius voor de luchttemperatuur; bij temperaturen van meer dan dertig graden het verschil tussen hinderlijk en mogelijke gezondheidsproblemen of voor sommigen zelfs de dood. Overigens dit laatste is natuurlijk altijd gerelateerd aan de algehele conditie, gezondheid en/of gebrek aan vochttoediening cq. hitte regulerende maatregelen van de betreffende persoon.

Binnen Gent worden de grootste oppervlakte temperaturen gevonden in het havengebied met z'n grote industriële terreinen. In de binnenstad zien we voornamelijk Ledeberg en Moscou, de stationsbuurt, de buurt rond het Strop, ook de Brugse Poort en Dampoort. De rol van het open water als verkoelende aders doorheen de binnenstad was verder ook heel nadrukkelijk aanwezig. Wat betreft de luchttemperaturen ligt het weer enigszins anders; hier worden de hoogste nachtelijke temperaturen gemodelleerd voornamelijk in de Binnenstad.

8.1.2. WAT ZIJN DE MEEST RELEVANTE FYSISCH OORZAKEN VOOR DIT SHE-EFFECT?

Op basis van literatuuronderzoek hebben we daartoe in eerste instantie zes mogelijke factoren geïdentificeerd:

- de sky view factor (een maat voor bebouwingsdichtheid; of hoeveel hemel men nog kan zien)
- de fractie vegetatie (zowel naar aanwezigheid, omvang, als de dichtheid van groen)
- nabijheid waterlichaam (gemeten naar de afstand tot water)
- de fractie water (vooral de omvang en maat van waterlichamen)
- de fractie verharding (ook wel sealed layer genoemd, een maat waarin de ondergrond met bebouwing of verharding is bedekt)
- de materialiteit van de openbare ruimte (welk soort materialen hier worden gebruikt).

In verschillende regressie analyses voor Gent hebben wij elk van deze fysische factoren met behulp van GIS nader onderzocht en gecorreleerd met de onder vraag 1 gevonden temperatuurwaarden. Uit deze regressie analyses bleek dat vooral de fractie verharding en daarbij vooral de verstening van de ondergrond, voor zowel de opwarming van de oppervlakte-, als de luchttemperatuur zwaar doorweegt. Alhoewel wij daarnaar wel gericht hebben gezocht, blijkt het moeilijk om op basis van de beschikbare gegevens wetenschappelijk verantwoorde uitspraken te doen over welke steensoort het meest opwarmend effect heeft. Wel lijkt asfalt zwaarder door te wegen dan bijvoorbeeld betonplaten.

De tweede doorslaggevende opwarmingsfactor voor Gent is de dichtheid van bebouwing of met andere woorden de in de stad beperkt aanwezige grote open ruimten (cq. grote sky view) en het vasthouden van de warmte in de stad, die daarmee gepaard gaat.

Wat verder in Gent en vooral in de binnenstad en enkele omliggende wijken op basis van kaartanalyses lijkt door te wegen zijn de nauwe straatjes, die nauwelijks goed gesitueerd zijn naar de mogelijk verkoelende noordwesten winden. Dit is overigens veelal gebruikelijk voor historische binnensteden, die doorgaans organisch in meerdere richtingen zijn gegroeid.

Omgekeerd blijkt uit de regressieanalyses dat een doorslaggevend verkoelend effect vooral door de aanwezige vegetatie kan komen; echter dan niet zozeer een grasveldje, maar vooral opgaand groen en met name ook de dichtheid daarvan. Een enkele boom heeft nauwelijks effect, maar literatuur geeft aan dat elke 100 m² opgaand groen reeds een reductie kan geven van 1 °C (Dimoudi and Nikolopoulou, 2003). Bovendien uit de uitgevoerde regressies op de Kouter en het St. Pietersplein blijkt dat het inruilen van 10% verharding in gras en bomen op deze pleinen tot een reductie van de luchttemperatuur van bijna een kwart graden Celsius kan leiden. Bomen kunnen daarbij bovendien overdag schaduw leveren en dagstress verminderen; en ook voor de nachtstress leiden bomen tot een minder grote opwarming van de lucht.

Daarnaast blijkt ook de aanwezigheid van water een mogelijk verkoelend effect te hebben; niet zozeer de nabijheid daarvan, maar vooral de (eventueel aanwezige grote) oppervlakte. Dat verkoelend effect is echter vooral in de lente en aan het begin van de zomer het geval. In de loop van de zomer is het aanwezige (staande) water immers sterk opgewarmd en kan het zelfs een omgekeerd opwarmend effect hebben op (vooral) de luchttemperatuur. Die (opwarmende) effecten kunnen geminimaliseerd worden indien er sprake is van stromend water of een combinatie van waterelementen met opgaand groen aan de oevers.

8.1.3. WELKE WIJKEN ZIJN HET MEEST SHE STRESSGEVOELIG EN KWETSBAAR?

Maar daarmee zijn we er nog niet. Want weliswaar weten we nu waar het SHE-effect zich voordoet en waardoor dat komt, maar nog niet of dat ook erg is. Want uit de literatuur blijkt immers dat

sommige bevolkingsgroepen, werkers en bezoekers van de stad meer gevoelig zijn voor hittestress dan andere. Dus als een bepaalde wijk mogelijk minder snel opwarmt dan andere, maar hier wel een grotere dichtheid aan meer hittestress gevoelige mensen wonen, werken of verblijven, dan zou die wijk desondanks toch meer hitte-beleidsprioriteit kunnen krijgen.

Wat dat betreft, de meest hitte-gevoelige leeftijden betreffen vooral kinderen (< 4 jaar) en ouderen (> 65 jaar). In combinatie daarmee bepaalt ook de aanwezigheid van kinderopvang en peuterzalen, vooral die met een onbeschermd speelterrein, alsmede de aanwezigheid van rust- en verzorgingstehuizen of bejaarden serviceflats de hitte-gevoeligheid van een bepaalde wijk. Hetzelfde geldt voor zieken en dus ziekenhuizen. Voorts blijkt uit literatuur dat met name lagere inkomensgroepen, werklozen, kansarmen en deels ook allochtonen, of de niet-Belgen gevoelig zijn voor hitte. Dit komt doordat zij door hun woonomstandigheden, leefpatroon of vaak ook het ontberen van kennis of (financiële) middelen om zich adequaat tegen hitte te beschermen of mitigerende maatregelen te nemen, hitte-gevoelig zijn. Bij de niet-Belgen geldt daarnaast dat zij niet altijd de lokale taal spreken om zich adequaat te informeren. Tenslotte blijkt uit de literatuur dat ook alleenstaanden gevoelig zijn voor hitte (doordat zij niet altijd door hun omgeving alert geattendeerd worden op de opkomende verschijnselen van uitdroging en hittestress). Voorts is het gewenst om inspannende lichaamsbeweging en zoveel mogelijk alcohol te vermijden op hittedagen; zoals bijvoorbeeld op de Gentse feesten, de Stadsloop, of andere inspannende (sport)events op hittedagen. Juist op deze dagen kan uitdroging en zelfs de mortaliteitgraad (potentieel) sterk toenemen.

In dit onderzoek hebben wij, op elk van deze demografische, sociaal-economische en kwetsbare functionele determinanten een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. In eerste instantie hebben we elk van deze determinanten enkelvoudig gewogen met de bij vraag 1 gevonden temperatuurverschillen naar de verschillende wijken. Daaruit kregen wij al een eerste beeld welke wijken het meest kwetsbaar zijn voor hitte-stress, gerelateerd aan de functies en bevolkingsgroepen die er gehuisvest zijn. Daaruit hebben wij een selectie van de vijf op het eerste gezicht meest kwetsbare wijken gemaakt. Deze wijken hebben wij vervolgens nog aan een verdere en meer gedegen analyse onderworpen, waarbij wij de verschillende determinanten ook onderling hebben gewogen, alsmede de 5 wijken met elkaar. Daaruit blijkt dat wat betreft de dagstress vooral **Sluizeken-Tolhuis-Ham** (met name vanwege de daar aanwezige bejaarden service flats en ziekenhuizen) en **de Binnenstad** (in de breedte en ook vanwege de dichtheid aan bezoekers en in de zomer georganiseerde events) de meest hitte-gevoelige wijken van Gent zijn. Vervolgens gaat het om :

- **Dampoort** (vooral vanwege het relatief slechte woonbestand en met de oppervlakte- en luchttemperatuur gecorreleerde dichtheid aan jonge kinderen),
- **Ledeberg** (vooral vanwege de met de oppervlakte- en luchttemperatuur gecorreleerde inwoners- en bebouwingsdichtheid en het percentage niet-Belgen) en
- **Muide-Meulestede-Afrikalaan** (vooral vanwege de met de oppervlakte- en luchttemperatuur gecorreleerde inkomensafhankelijke factoren, aandeel werklozen en kansarmen).

Wat betreft de nachtstress betreffen het dezelfde wijken, echter in een enigszins andere volgorde: Dampoort, Ledeberg, Binnenstad, Sluizeken/Tolhuis/Ham, en Muide/Meulestede/Afrikalaan.

8.1.4. NEEMT DE SHE-GEVOELIGHEID IN GENT NAAR VERWACHTING IN DE NABIJE TOEKOMST TOE OF AF?

Tenslotte hebben we onderzocht welke ontwikkelingen tot circa 2025/2030 verwacht kunnen worden en of die de voornoemde conclusies nog zouden beïnvloeden. Uit deze analyse kan evenwel in algemene zin geconstateerd worden dat de toekomstverwachtingen naar klimaat, landgebruik en verstedelijking de uitkomsten nog verder versterken cq. indringender maken. Verwacht wordt dat als gevolg van klimaatveranderingen het gemiddeld stedelijk hitte-eiland effect nog met 0,4-0,8 C tot 2030 zal toenemen (zie HOOFDSTUK 7). In de door VITO ontwikkelde landgebruik modellering worden daarbij overigens de belangrijkste wijzigingen verwacht aan de rand van de stad, vanwege de daar verwachte uitbreiding van de verstedelijking. Echter het stedelijk hitte-eiland effect is in de Binnenstad en andere delen van de stad al vaker hoger, terwijl naar verwachting ook de duur van de hitte nog verder zal toenemen. Dat tikt met name door in die delen van de stad die thans al met een sterk SHE effect op hittedagen geconfronteerd worden. Voorts zijn in dit model nog niet de laatste cijfers van de stad zelf meegenomen. Daaruit blijkt dat tot 2025 toch ook nog een aanzienlijk verdichting met een kleine 15.000 woningen in de stad zelf wordt verwacht; vooral in Muide-Meulestede-Afrikalaan, Sluizeken-Tolhuis-Ham, Brugse Poort-Rooigem, Rabot-Blaisantvest en de Stationsbuurt Noord. Gecorreleerd met de hiervoor uitgevoerde analyses betekent deze ontwikkeling alleen maar dat de hitte-gevoeligheid van de voornoemde wijken nog sterker en navranter wordt, en de noodzaak om daartoe beleid te ontwikkelen manifest.

8.2. BELEIDSAANBEVELINGEN

Om het effect van hittestress voor de gezondheid van de bevolking te beperken, en het algemene welzijn in de stad te bevorderen, is derhalve aangescherpt beleid op dit terrein nodig. Dit betreffen zowel ruimtelijke, sociaal-economische, sensibilisering, als andere organisatorische maatregelen. Want alhoewel wij, vanwege privacywetgeving, de mortaliteitsgraad in Gent als het gevolg van hitte niet hebben kunnen achterhalen, wordt uit meerdere bronnen steeds meer duidelijk dat opwarming cq. het bestaan van Stedelijke Hitte Eilanden in de (grote) stad een groot effect heeft op het welbevinden en ook de gezondheid van de bewoners, werkers en bezoekers. Vandaar dat het ook steeds meer aandacht krijgt in de beleidsplannen (deels in voorbereiding) van het Vlaams Gewest, waaronder het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen, het Klimaatbeleidsplan en de daaruit voortvloeiende acties, waaronder het Vlaanderen In Actie (VIA) traject. Zo is onlangs op het ViA-forum van 30 april j.l. bij de lancering van de vernieuwing van ViA (2013-2020) gesteld dat in het kader van de governance van stadsprogramma's (voor de 13 centrumsteden), men alleen die stadsprojecten wil gaan mee-financieren waar er sprake is van integrale duurzaamheid; met naast ruimte voor klimaat, ook (samenlevings)leefbaarheid en sociale rechtvaardigheid. Hierbij kan overigens sprake zijn van ruimtelijke win-win situaties, waarbij maatregelen tegen overstroming ook ten goede kunnen komen aan het SHE-beleid en omgekeerd. Sterker het kan zelfs de algemene aantrekkelijkheid van de stad om er te wonen, werken en verblijven krachtig vergroten. De voorhoede positie die Gent thans al op dit terrein inneemt kan daarop slim voorsorteren, door het huidige klimaatbeleid alvast uit te breiden met een krachtig SHE-luik. 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 Gent te voorkomen; de gebiedspecifieke delen de meer concrete maatregelen die ook sterk context gevoelig zijn. Vanuit de algemene lijnen die uit het (hier kort samengevatte) onderzoek naar voren komen kan men bijvoorbeeld denken aan de volgende aanbevolen beleidslijnen :

8.2.1. GENERIEKE AANBEVELINGEN

In het recente bestuursakkoord is de ambitie verwoord dat Gent haar ecologische voetafdruk dient te verkleinen en een **klimate neutrale** stad dient te worden. Daarbij ligt de focus vooral op mitigerende maatregelen. En alhoewel op verschillende onderdelen van het bestuursakkoord (bijvoorbeeld onder de kopjes ‘klimaat en duurzaamheid’, ‘mobiliteit’, ‘natuur en groen’ etc.) wel diverse actiepunten zijn aangegeven die hitte-stress ontlastend kunnen werken, is het minimaliseren van het stedelijk hitte-eiland effect nog niet expliciet benoemd. Met het oog op het bereiken van de voornoemde win-win mogelijkheden is hier extra aandacht nodig, juist ook om de in het beleidsakkoord aangegeven actiepunten op hun hittestress-ontlastende mogelijkheden ten volle uit te nutten. Hier gaat het om een én-én verhaal; mitigatie (klimate neutraal) én adaptatie (klimate robuust).

Daarbij gaat het ook over onderstaande elementen

- In het **Groenstructuurplan** van de gemeente wordt een ambitieuze uitbreiding van het openbaar groen voorzien, waarbij er sprake is van minimaal 6 nieuwe parken. Dit kadert in de algemene doelstelling dat elke Gentenaar een wijkpark (van minimaal 1 ha) krijgt op wandelafstand van zijn woning. Een aantal parken zitten reeds in de pijplijn, maar deze liggen niet altijd in de hiervoor gememoreerde SHE meest kwetsbare gebieden. Daarnaast is - in het kader van de beperking van het SHE-effect - het vooral gewenst uitbreiding en verdichting van opgaand groen (dus bomen en struiken) te koppelen aan in Gent aanwezige waterlopen van de Schelde, Leie en Lieve, inclusief verbindende kanalen. Daarmee wordt het opwarmend effect van het water (gedurende hete zomers) voorkomen. Groen is hier dan niet alleen geconcentreerd op enkele plekken, maar vooral ook gespreid langs enkele state-of-the art ‘klimaatassen’, die tevens een betere ‘doorluchtiging’ van de stad mogelijk maken en logische groene water routes creëren vanuit de stad richting het meer koele ommeland. Dit kan tevens kaderen in het structuurplan (in wording) en het groenstructuurplan, waarin reeds acht groenassen zijn geselecteerd. Deze zijn mogelijk de uitgelezen 'dragers' voor die state-of-the art klimaat assen. Up-to-date informatie over (verwachte) hittestress, alsmede de stand van het stedelijk klimaat in het algemeen, wateropvang, verkoelende plekken, badhuizen, watertappunten etc. kunnen met name ook hier voorzien worden.
- In dit kader ware het ook gewenst de **doorstroming van water** doorheen de stad te bevorderen. Waar nodig dienen bottlenecks zoveel als mogelijk verwijderd en/of verminderd te worden. Tegelijkertijd is het gewenst om langs de voornoemde ‘klimaatassen’ in natte dagen zoveel mogelijk **water vast te houden**, waar mogelijk natuurlijk te zuiveren, om deze waterreservoirs in droge dagen weer te gebruiken. Naast overstromingsbekkens kan hier ook gedacht worden aan het realiseren van (al dan niet tijdelijke) moderne water cisternes gedeconcentreerd doorheen de stad of waar mogelijk en/of tijdelijk geconcentreerd bij aanwezige ondergrondse ruimten, teneinde verkoelend water te kunnen aanwenden op hitte-dagen (zie voorbeeld Boston hieronder).



Box 1: Twee Uitwerkingen voor een klimaat-as en boven- en ondergrondse water opvang uit de Resilient City Vision 2035 voor Boston

De uitwerkingen zijn onderdeel van de Habitat renovatie plannen op Boston's grey- en brownfields. Naast een meer natuurlijke uitleg, en focus op ecologische verbeteringen, wordt in deze plannen ook voorzien in het meer klimaat robuust maken van de stad, met een bijzondere aandacht voor persoonlijke gezondheid van de bewoners en bezoekers. Daarnaast, dienen de voorstellen ook om het energie-portfolio van de stad te verbeteren via zonne-energie, biogas, en microWK generatie programma's.

- Daarnaast wenst de stad ook haar rol als Vlaamse grootstad verder op te nemen. Onderdeel daarvan is onder andere het streven om de jonge gezinnen in de stad te houden. Dit kan sporen met het streven uit het Beleidsplan Ruimte Vlaanderen (in opmaak), waarin krachtig wordt ingezet op een **ruimte neutrale** ontwikkeling van de steden. Dit neemt niet weg dat een dergelijke ontwikkeling en verdichting wel nefast kan zijn voor SHE-effecten. Afhankelijk van de precieze situatie, is nader ontwerpend onderzoek gewenst hoe een verdere verdichting gecombineerd kan worden met een beperking van het Stedelijk Hitte Eiland effect (UHI-e); of met andere woorden hoe met ruimte neutraliteit ook klimaatneutraliteit gegarandeerd kan worden.
- Last but not least, in dit generieke deel, dient men niet alleen bij ruimtelijke maatregelen te blijven, maar wordt ook een majeur effect bij de voorkoming van SHE-e verwacht door het vergroten van de sensibilisering en het **adaptievermogen** van de bevolking, werkers en (onvermoede) bezoekers aan optredende hittestress. Daartoe zijn periodieke en ook op hittedagen toegespitste communicatie en informatie nodig; met name ook richting kansarmen, allochtonen 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. Hetzelfde geldt voor de inrichting van openbare koele ruimten, badhuizen e.d. Mogelijk kan een hitterampenplan ontwikkeld worden, teneinde deze op uitzonderlijke hittedagen in te zetten.

- En tenslotte, omgekeerd, is het in het kader van klimaatneutraliteit vanzelfsprekend ook gewenst **de warmte op hitte dagen zoveel mogelijk op te vangen**, teneinde deze op koude dagen weer te gebruiken. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de inrichting van de openbare ruimte in zoveel mogelijk groene, water doorlatende tegels, die water doorlatend kunnen zijn en grondwater in de zomer kunnen opwarmen om deze in de winter weer voor verwarming te gebruiken. In een aanvullende studie zou bezien kunnen worden of daartoe (technisch, ruimtelijk en financieel) haalbare mogelijkheden voorhanden zijn in de haven, aangezien juist ook hier grote oppervlakten beton en asfalt aanwezig zijn en grote oppervlakte temperaturen berekend werden.

8.2.2. SPECIFIEKE AANBEVELINGEN

Naast deze generieke maatregelen is het gewenst meer gebiedsgerichte maatregelen te overwegen, vanzelfsprekend voor alle wijken, maar met name ook met betrekking tot de hiervoor genoemde meest hitte-gevoelige wijken. Vooral hier dient overwogen te worden of een proces van interactief ontwerpend onderzoek opgezet kan worden met betrokken actoren en bewoners, teneinde niet alleen SHE-e beperkende maatregelen te beproeven, maar ook de bekendheid met en het debat over hittestress te bevorderen. Zoals gezegd, zou het hier niet alleen om het SHE-effect gaan, maar kunnen win-win resultaten bereikt worden.

Per (hiervoor bepaalde meest kwetsbare) wijk kan hier bijvoorbeeld gedacht worden aan de volgende onderdelen.

De Binnenstad

Uit de hiervoor gegeven analyse is gebleken dat de Binnenstad in de breedte één van de meest hitte-gevoelige en -kwetsbare wijken is. Dit is vooral ook het gevolg van de ruimtelijke structuur, die sterk versteend is en nauwe stegen omvat. Karakteristiek voor Gent is voorts dat de middeleeuwse woningen bijna direct aan de rivierlopen grenzen, waardoor er nauwelijks ruimte is het verkoelend effect van water optimaal uit te nutten. Daarnaast zijn de binnenblokken in de loop der eeuwen ook sterk volgebouwd, wat de verharding sterk heeft bevorderd. Buiten het Baudelohof en het Muinkpark - en deels het Koning Albert park en het Sint Annaplein – is er weinig aaneengesloten groen in de Binnenstad te vinden. De Binnenstad kent echter wel enkele grote pleinen (gunstig voor de sky view factor), zoals het Sint Pietersplein, de Kouter, de Koren-, Boter- en Vrijdagmarkt, maar deze zijn allen ook sterk versteend. Dit komt doordat zij allen ook gebruikt worden voor stedelijke manifestaties, maar wellicht is hier een nadere differentiatie en afstemming met klimaatwensen mogelijk. Tegelijkertijd is de Binnenstad wel de plek waar 's zomers de meeste events georganiseerd worden en (hittestress onvermoede) bezoekers aan de stad rondlopen. Om die situatie te verbeteren en de Binnenstad binnen de gegeven beperkingen meer robuust te maken, kan wellicht gedacht aan de volgende mogelijkheden:

- Een meer SHE neutrale heraanleg van de pleinen en openbare ruimten, mogelijk te starten met de Vrijdagmarkt, aangezien veel van de andere pleinen recent heraangelegd zijn. Uit de uitgevoerde regressieanalyses voor het St. Pietersplein bleek immers dat een toevoeging van 20% water en groen (ipv. steen) een reductie van ongeveer 3,5 graden Celsius van de oppervlakte temperatuur (maat voor dagstress) kan hebben; hiervoor was ook al sprake van 0,25 graden Celsius reductie bij 10% herinrichting van steen voor groen, bij de luchttemperatuur (maat voor nachtstress). Dat geldt mutatis mutandis ook voor de

Vrijdagmarkt. Indien mogelijk en gegeven haar functie voor de vrijdagmarkt zelf, zou herbestrating hier heroverwogen kunnen worden met meer aandacht voor groen, stromend water, fontein, watertappunten en/of schaduw bevorderende (en daarmee vaak ook regen beschermende) ingrepen etc.

- Een consequente uitvoering van alle openlucht parkeerplaatsen in de Binnenstad met grasbeton en/of open groene tegels (reductie fractie verharding met 40-70%), niet alleen ter bevordering van de waterinlaat in de ondergrond, maar ook voor de beperking van de opwarming van de oppervlakte temperatuur. Hetzelfde kan waar mogelijk ook overwogen worden op de pleinen en openbare ruimten; waaronder bijvoorbeeld (naar haar naam) grastegels op de Graslei.
- Het zoveel als mogelijk bevorderen van groene oevers en bomenaanplant langs de rivier- en kanaallopen in de Binnenstad, teneinde het verkoelend effect van water zoveel mogelijk uit te nutten (zie ook voorbeeld Bijlokekaai). Als voorbeeld kan hier ook gewezen worden op de studie van de Groendienst rond 'Groene Oevers'. Maar waarschijnlijk is een brede uitvoering van een dergelijk groene oever programma – vanwege ruimtelijke en/of cultuur historische beperkingen - niet overal in de Binnenstad mogelijk. Als alternatief kan naar voorbeeld van o.a. Amsterdam derhalve ook gedacht worden aan 'drijvende tuinen' die al dan niet tijdelijk in de zomer op de Leie en Muinschelde gesitueerd worden.



Box 2: Enkele voorbeelden van drijvende tuinen in Amsterdam

- Bevordering van stromend water in de Binnenstad door openleggen rivierlopen (zoals De Reep), aanleg van fontein, eventueel in combinatie met kleine stadswaterlopen (Bächles) à la Freiburg, of met platen bedekt stadswaterlopen in Amien (ter voorkoming van ongelukken). Opvang van regenwater op het Plateau kan daarbij mogelijk een natuurlijke bron vormen. Daarnaast kan dit gecombineerd worden met de aanleg van watertappunten doorheen de Binnenstad; naar voorbeeld van het Malpertuus project.



Box 3: Enkele voorbeelden van 'Bächles' en Waterstraten Freiburg/Amiens
(bron Kleerekoper 2009)

- Bevordering van schaduwrijke loop- en fietsroutes door de Binnenstad, via bijvoorbeeld luifels, gebouwde constructies of een aantrekkelijk pergola-route, of routes van schaduwrijke geveltuintjes e.d. Afstemming op het lichtprogramma van de Binnenstad is hier nodig;
- Aangepast binnenblok beleid, door het afbreken of beperken van bebouwing en/of bevordering van een groene daken programma waar mogelijk cq. het herstel van het contact met de waterlopen doorheen de stad.
- Aangepaste sport- en eventprogrammering in de Binnenstad op hittedagen, in combinatie met een daarop aangepast sensibiliserings- en informatieprogramma, waaronder bijvoorbeeld uitvoering hiterampenplan, uitgifte van gratis drinkwaterflesjes bij cafés en restaurants, verkoelende tijdelijke waterfonteinen etc .

't Sluizeken-Tolhuis-Ham

Uit de voorgaande analyse bleek deze wijk een van de meest SHE-kwetsbare van heel Gent is. Dit was echter met name het gevolg van de in de wijk aanwezige ziekenhuizen en bejaarden serviceflats gecorreleerd met de berekende opwarming van de oppervlakte- en luchttemperatuur op zomerse dagen. Daarnaast blijkt echter dat, buiten Muide-Meulestede-Afrikalaan, tot 2025 de grootste verdichting in deze wijk wordt voorzien. Aanbevelingen in deze wijk hebben derhalve vooral betrekking op deze twee onderdelen, zoals bijvoorbeeld :

- Een flankerend hitte-stress ontlastend programma Ziekenhuizen/Serviceflats op hittedagen; het gaat hier vooral om het realiseren van voldoende koelruimtes in en om deze ziekenhuizen en serviceflats, het ontmoedigen van de bewoners van het doen van inspanningen op hitte dagen, het bevorderen van voldoende vochtinname, het vermijden van alcoholische dranken, koffie, suikerhoudende dranken etc., in combinatie met een extra toezicht op uitdroging en andere hitte-stress verschijnselen, zoals overmatig zweten, spierkrampen, hartkloppingen of verwardheid tot delirium etc.
- Een zoveel mogelijk UHI-neutrale aanleg binnenstedelijke verdichting; waaronder
 - Het zoveel mogelijk gebruik van reflecterende, lichte bouwmaterialen;
 - Bevordering van de ventilatie in en om de wijk door bijvoorbeeld aanleg van een overheersende oriëntatie in noordwest-zuidoost richting
 - Doorgroening van de buitenruimtes, zoveel mogelijk gecombineerd met de aanwezige wateroppervlakten aan de rand (de Nieuwe Vaart en De Dokken)
 - Gebruik groene daken, bevordering groene gevels, schaduwplekken en pergola's;
 - Zoveel mogelijk voorkoming asfalt in de buitenruimte, waar mogelijk herstel met licht gekleurde betonplaten en/of grassteen
 - 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.

Zie verder ook aanbevelingen bij Muide-Meulestede-Afrikalaan.

Dampoort

Dampoort is een derde hitte-gevoelige wijk. Deze wijk blijkt sterk SHE kwetsbaar vanwege de relatief hoge dichtheid, relatief groot aandeel woningen met een klein of (zeer) beperkt comfort en het relatief grote aandeel gezinnen met kleine kinderen. De wijk zelf is onderdeel geweest van een stapsgewijze grenswijziging en fusie van Gent met haar ommeland (in dit geval St. Amandsberg). Daarmee is de wijk ook stapsgewijs, min of meer organisch ontwikkeld. Tegelijkertijd vormde de Dampoort ook eeuwenlang de start van de belangrijkste uitval routes richting het oosten. Waar de Landschapskaart van 1980 nog een relatief groene structuur van de wijk te zien geeft, in een organische overloop met het ommeland, is dit in de loop der tijd steeds meer versteend met verkeerswegen, bebouwing van de binnenblokken en het innemen van groen door parkeerplekken. Het Structuurplan Gent van 2003 toont de ambitie om de Antwerpsesteenweg vanaf Dampoort uit te bouwen tot een hoofdstamlijn van het openbaar vervoer. Twee groenassen verbinden Dampoort (en bij uitbreiding de binnenstad) met het buitengebied langsheen een netwerk van groene publieke ruimtes.

Vanuit dat kader kunnen hier nog de volgende aanvullende SHE stress-ontlastende maatregelen voorgesteld worden :

- 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 Kortijk. Mogelijk uitbouw van het schaduwrijke en het verkoelend effect van de nog aanwezige Groene Parel 'Groot Begijnhof annex Banierpark/Bijgaardepark' (rekening houdend met de bescherming van het Begijnhof), met bomen, waterpartijen, gevelgroen, pergola's etc.

- Bevordering schaduwrijke speelterreinen voor jonge kinderen en bij de betreffende peuter- en kleuteropvang; vergroening kleine pleintjes
- Waar mogelijk (her)openstelling en (her)vergroening van binnenblokken, in combinatie met een groen daken programma en collectieve, groene tegel parkeerplaatsen (bij bijv. De Blokker/Hubo/Aldi aan de Dendermondse Steenweg).
- Herinrichting van de Dampoortknoop, samen met het realiseren van nieuwe koele verbindingen naar de Haven (Oude Dokken) en Schelde (aan de zuidrand van de wijk).

Dit alles in combinatie met de sensibilisering van de bevolking in de wijk.



Box 4: Woonerf, Ecoplus parkeren Delft/Haarlem



Box 5: De Venning Kortrijk

In de sociale aandachtswijk Venning is in 1999 gestart met de ontwikkeling van een stadsland groenzone Venning. Het project is ontwikkeld in een intensieve samenwerking met verschillende partners, waaronder de bewoners (in de vorm van het buurt comité Vaart), de lagere school Driehofsteden, de Stad Kortrijk, het OCMW, de Sociale Leerwerkplaats De Poort, het Natuurpunt Kortrijk en de Koning Boudewijnstichting. Haar deel van de grond heeft de NMBS aan deze partijen in beheer gegeven. Het stadsland groengebied omvat volkstuintjes, een voetbalveldje, een poeltje, hooilanden, educatieve vlindertuin, boekweitakker, kraakwilgenbos en een verharde smalle toegang tot de wijk. Opengesteld in 2004 heeft het er toe geleid dat de kwaliteit en dynamiek van deze kansarme woonwijk aanzienlijk werd opgewaardeerd.

Ledeberg

Ledeberg is een vierde wijk die hiervoor als SHE kwetsbaar geïdentificeerd werd; dit vooral als gevolg van het relatief grote aandeel niet-Belgische bewoners van de wijk, laag gemiddeld inkomensniveau en relatief hoge werkloosheidsdruk. Ruimtelijk bestaat de wijk echter uit sterk verschillende delen, waaronder de Bellevue, (het sterk verdichte) Ledeberg zelf en het industriepark Moscou, geflankeerd door het Adolf Papeleuropark, Park De Vijvers en het Keizerpark; sterk gescheiden door grootschalige infrastructuren, waaronder allereerst de spoorweg met vroeger een aansluiting naar het (gesloopte) station Gent-Zuid, en later de autosnelweg E17, inclusief de fly-over richting Zuid. Thans is deze fly-over evenwel aan een ingrijpend onderhoud toe en wordt overwogen deze op een meer duurzame en hoogwaardige manier in het stedelijk landschap in te passen. Hierdoor ontstaan ook mogelijkheden om de relatie tussen de verschillende wijkdelen te herstellen, in combinatie met SHE-e ontlastende maatregelen. Naast de voornoemde voorstellen voor de andere wijken kan hierbij specifiek voor Ledeberg ook gedacht worden aan:

- Waar mogelijk uitnutting/uitbreiding eilandvorming langs de Franse Vaart. Dit gebied waar thans onder meer het Keizerpark en het NDX-terrein te vinden is gebruikt optimaal de koeling op hitte dagen vanwege het opgaand groen en de rivierlopen aan weerszijden. De overgang richting Ledeberg zelf wordt daartoe echter nauwelijks benut en is ook sterk versteend. Niettemin is het potentieel wel goed gelegen vanuit het principe van een (groen/blauwe) klimaatassen langs de Schelde. Daarbij kan overwogen worden om de groene eilandvorming van de Franse Vaart ook richting Bellevue/Meierij en Oud Gentbrugge uit te breiden, teneinde daarmee het verkoelend effect en de doorluchting van de stad verder te bevorderen.
- Bevordering urban farming/volkstuinjes in binnenhoven (waar mogelijk) en langs de grote infrastructuren als de spoorwegberm Gent St.Pieters-Dampoort, E17 en her aan te leggen Fly-over, inclusief aanliggende niche- en restruimtes; naar voorbeeld van het Integraal Stadslandbouwplan voor de Schilderswijk Den Haag. Hiermee ontstaat ook de mogelijkheid het Keizerpark, Molenbergpark, Park De Vijvers en het Adolf Papeleuropark met koele groene routes met elkaar te verbinden.
- Daarnaast zijn de binnenterreinen van vooral Ledeberg Centrum sterk volgebouwd met allerhande hallen van groothandel, retail, opslag, onderwijs, annex parkeerruimten etc. Deze hallen hebben grotendeels platte daken. Om het SHE-effect op hitte dagen te minimaliseren kan aanbevolen worden vooral hier een groen daken programma uit te voeren. Vanwege het grote aantal platte daken, vaak ook in de binnenruimten zou dat met name in Ledeberg Centrum, in combinatie met een ecologische heraanleg van de parkeerterreinen naar verwachting een markant hitte-stress ontlastend effect kunnen hebben.
- 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.



Box 6: Foodscape Schilderswijk Den Haag

Foodscape Schilderswijk (een aandachtswijk met meer dan 90% allochtone bewoners in Den Haag) is in 2009 gestart met een subsidie vanuit het architectuurcentrum Stroom, maar inmiddels zelf bedruipend. Inzet was dat voedsel kan bijdragen aan een mooiere en meer gastvrije omgeving met gezondere mensen, waar de gemeentelijke productie van voedsel resulteert in een hechte gemeenschap. Daarnaast zou het bijdragen aan een meer klimaatneutrale en duurzame stad. Doorheen de wijk zijn diverse foodscapes geïnstalleerd bestaande uit kruiden gazons, fruitbomen en bessenstruiken. Het plezier van de gemeentelijke tuinieren, onderhoud en koken, wordt hier gecombineerd op een informele manier met stadslandbouw en het collectieve onderhoud van de openbare ruimte. De actieve participatie van de lokale bevolking heeft de wijk in een prachtige, sociaal en klimaatbestendige plek veranderd, waar mensen lekker en vers voedsel kunnen oogsten.

Muide-Meulestede-Afrikalaan

Tenslotte Muide-Meulenstede-Afrikalaan; SHE-kwetsbaar als gevolg van de kleine woningen, hoge dichtheid en aandeel allochtonen en kleine kinderen. In deze wijk wordt evenwel een krachtige revitalisering voorzien, te beginnen met de Oude Dokken en de Voorhaven. De maatregelen die hier worden voorgesteld (vooral ook de openlegging van de havens en het herstel van het contact met het water) beperken naar verwachting reeds het SHE-effect. Deze plannen voor de Oude Dokken en Voorhaven kunnen waar mogelijk nog verder geoptimaliseerd worden door een SHE-bestendige invulling van de openbare ruimte en de maximalisering van het verkoelend effect van het aanwezige water; via de combinatie van dicht en opgaand groen nabij het water (ipv een enkele boom en enkel harde kade muren). Verder kan juist ook hier gedacht worden aan:

- grote fonteinen of stromende waterpartijen in de Oude Dokken en/of doorheen de wijk;
- waar mogelijk doorsteken van het water naar en in de wijk;
- uitvoering van watertappunten en een aangepast openbaar drinkwaterplan
- uitvoering van het experiment 'leefstraten' in combinatie met het collectief parkeren aan de rand van de wijk (zo mogelijk met dubbelgebruik van de parkeerterreinen van de aanliggende bedrijven).

- versterking van groene oevers door subsidiebeleid of aangepaste regelgeving voor de aanleg van de woonboten van de kaaïen, en
- verbreding cq. bestendiging van urban farming.

Voorts zou juist ook hier gedacht kunnen worden aan een stapsgewijze, organische klimaat robuuste projectinvulling, waarbij stap voor stap verdergaande urbanisatie klimaat neutraal wordt gecompenseerd.

LITERATUURLIJST

- ACSM. (1987). Position stand on the prevention of thermal injuries during distance running. Medical science sports exercise, 19.
- Aertsens J., De Nocker L., Lauwers H., Norga, K., Simoens I., Meiresonne L., Turkelboom F en Broekx S. Daarom groen ! Waarom u wint bij groen in uw stad of gemeente. Literatuurstudie uitgevoerd in opdracht van : ANB – Agentschap voor Natuur en Bos.
<http://www.natuurenbos.be/Home/Natuurbeleid/Groen/Investeer%20in%20groen.aspx>
- Allaert, G. (1981). Naar een warmtekaart voor België. Toepassing van het ruimtelijk informatiesysteem in het perspectief van stadsverwarming. Vierde Deelrapport. Gent: Universiteit Gent.
- Allaert, G. (2009). Ruimte en planning. Van Planningstheorie tot Vlaamse planningspraktijk. Gent: Academia Press.
- Allaert, G., Bouwer, L., De Sutter, R., Gulinck, H., Meire, P., Van Damme, S., . . . Van Eetvelde, V. (2012). Ccaspar. Klimaat in Vlaanderen als ruimtelijke uitdaging. Gent: academia press.
- Aminou DMA, Jacquet Bernard, Pasternak Frederick. Characteristics of the Meteosat Second Generation (MSG) radiometer/imager: SEVIRI. In: Desachy J, Schreiber U, Haigh JD, Fujisada H, Cecchi G, Kohnle A, et al., editors. December 31, 1997. p. 19–31.
- Aminou DMA, Luhmann HJ, Hanson C, Pili P, Jacquet B., Bianchi S, Coste P, Pasternak F., Faure F. Meteosat Second Generation A comparison of on-ground and on-flight Imaging and Radiometric Performances of SEVIRI on MSG-1. 2002.
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. International Journal of Climatology, 23(1), 1-26.
- Ashie Y, Kono T. Urban-scale CFD analysis in support of a climate-sensitive design for the Tokyo Bay area. International Journal of Climatology 2011;31:174–88.
<http://doi.wiley.com/10.1002/joc.2226>.
- Baik, J.-J., Kim, Y.-H. and Chun, H.-Y.: Dry and Moist Convection Forced by an Urban Heat Island, Journal of Applied Meteorology, 2001; 40(8), 1462–1475
- Barsi J a. Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. Proceedings of SPIE 2005;5882:58820E–58820E–7.
<http://link.aip.org/link/?PSI/5882/58820E/1&Agg=doi>.
- Barsi J a., Barker JL, Schott JR. An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a single thermal band earth-sensing instrument. IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No.03CH37477) 2003;00:3014–6.
<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1294665>.
- Bartlett, S. (2008). Climate Change and Urban Children: Impacts and implications for adaptation in low-and middle-income countries. Environment and urbanization, 20(2), 501.

- Basu, R. and Samet J.M., Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence, *Epidemiologic Reviews* 24(2002), pp. 190-202.
- Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., Davidson, O., . . . Kattsov, V. (2007). IPCC, 2007: climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I. II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.< <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm> >.
- Bouchama, A., & Knochel, J. P. (2002). Heat stroke. *New England Journal of Medicine*, 346(25), 1978-1988.
- Bowler D., Buyung-Ali L, Knight T. M. and Pullin, A.S. Urban greening to cool towns and cities : A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Planning* 97 (3) 2010, pp. 147 - 155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Brouwers, J., Peeters, B., Willems, P., Deckers, P., De Maeyer, P., De Sutter, R., & Vanneuville, W. (2009). Milieuraapport Vlaanderen 2009: Milieuverkenning 2030. Klimaatverandering en waterhuishouding.
- Buyantuyev, A., & Wu, J. (2010). Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape ecology*, 25(1), 17-33.
- Bytowski, J. R., & Squire, D. L. (2003). Heat illness in children. *Curr Sports Med Rep*, 2(6), 320-324.
- CDC. (1993). Heat-related deaths--United States Morbidity and Mortality Weekly Report (Vol. 42, pp. 558-560): Center for Disease and Control Prevention.
- Clark, G. E. (1998). Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, MA., USA. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 3(1), 59.
- Chapman L, Thornes JE. Real-Time Sky-View Factor Calculation and Approximation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 2004;21:730–41. [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0426\(2004\)021<0730:RSFCAA>2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0426(2004)021<0730:RSFCAA>2.0.CO;2).
- Choi M, Jacobs JM, Kustas WP. Assessment of clear and cloudy sky parameterizations for daily downwelling longwave radiation over different land surfaces in Florida, USA. *Geophysical Research Letters* 2008;35:L20402. <http://www.agu.org/pubs/crossref/2008/2008GL035731.shtml>.
- Coll C, Galve JM, Sanchez JM, Caselles V. Validation of Landsat-7/ETM+ Thermal-Band Calibration and Atmospheric Correction With Ground-Based Measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2010;48:547–55. <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5208377>.
- Coutts, A. M., Tapper, N. J., Beringer, J., Loughnan, M., & Demuzere, M. (2013). Watering our cities: The capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context. *Progress in Physical Geography*, 37(1), 2-28. doi: 10.1177/0309133312461032

- Debontridder, L., De Sutter, R., & Allaert, G. (2010). Klimaatveranderingen in Vlaanderen en mogelijke invloeden op ruimte & leefomgeving. Ruimte.
- Dematte J.E. et al., Near-Fatal Heat Stroke during the 1995 Heat Wave in Chicago, *Annals of Internal Medicine* 129(1998), pp. 173-181.
- Demuzere M, De Ridder K., Van Lipzig NPM. Modeling the energy balance in Marseille: Sensitivity to roughness length parameterizations and thermal admittance. *Journal of Geophysical Research* 2008;113:1–19. <http://www.agu.org/pubs/crossref/2008/2007JD009113.shtml>.
- De Ridder K., Lauwaet D., Maiheu B. An urban boundary layer climate model, In preparation, 2013*
- De Ridder Koen. Testing Brutsaert's temperature roughness parameterization for representing urban surfaces in atmospheric models. *Geophysical Research Letters* 2006;33:L13403. <http://www.agu.org/pubs/crossref/2006/2006GL026572.shtml>.
- De Ridder Koen, Schayes G. The IAGL Land Surface Model. *Journal of Applied Meteorology* 1997;36:167–82. <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0450%281997%29036%3C0167%3ATILSM%3E2.0.CO%3B2>.
- Desforges, J. F., & Simon, H. B. (1993). Hyperthermia. *New England Journal of Medicine*, 329(7), 483-487.
- Dimoudi A, Nikolopoulou M. Vegetation in the urban environment : microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 2003;35:69–76.
- D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., de' Donato, F., Menne, B., Katsouyanni, K., Kirchmayer, U., et al. (2010). The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environmental health : a global access science source*, 9, 37. doi:10.1186/1476-069X-9-37
- Dodman, D. (2008). Institutional Capacity, Climate Change Adaptation and the Urban Poor. *IDS bulletin*, 39(4), 67-74.
- Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Dietz, J., Bland, T., Sutton, P.C., Kroehl, H.W., 1999. Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Light Imaging Data of Human Settlements. *Remote Sensing of Environment*, 68, 77-88.
- Engelen G, Poelmans L, Uljee I, Kok J De, Esch L Van. *De Vlaamse Ruimte in 4 Wereldbeelden*. 2011.
- Erell E, Pearlmutter D, Williamson T. *Urban Microclimate - Designing the Spaces Between Buildings*. 2011.
- Gillespie AR, Rokugawa S, Hook SJ, Matsunaga T, Kahle AB. Temperature / Emissivity Separation Algorithm Theoretical Basis Document , Version 2 . 4. Jet Propulsion. 1999.
- Giridharan, R., Ganesan, S., & Lau, S. (2004). Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 36(6), 525-534.

- Giridharan, R., Lau, S., Ganesan, S., & Givoni, B. (2007). Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong. *Building and Environment*, 42(10), 3669-3684.
- Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D., & Corvalán, C. (2006). Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. *The Lancet*, 367(9528), 2101-2109.
- Harlan, S. L., Brazel, A. J., Prashad, L., Stefanov, W. L., & Larsen, L. (2006). Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science & Medicine*, 63(11), 2847-2863.
- Hoffmann, P., Schlünzen, K. H. and Rosenhagen, G.: Observational study of the urban heat island and the urban impact on precipitation of Hamburg, in *The seventh International Conference on Urban Climate*, pp. 29–31., 2009.
- Huang, G., Zhou, W., & Cadenasso, M. L. (2011). Is everyone hot in the city? Spatial pattern of land surface temperatures, land cover and neighborhood socioeconomic characteristics in Baltimore, MD. *Journal of environmental management*, 92(7), 1753-1759.
- Ingle, R., & De Sutter, R. (2011). Assessment of the spatial impacts of climate change on flemish region of belgium. Paper presented at the 5th Aqua Congress, New Delhi, India.
- IPCC 2007 ,Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. (Available at www.ipcc.ch)
- Jacobs AFG, Heusinkveld BG, Kraai A, Paaijmans KP. Diurnal temperature fluctuations in an artificial small shallow water body. *International journal of biometeorology* 2008;52:271–80.
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2668566&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- Jimenez-Munoz JC, Cristobal J, Sobrino J a., Soria G, Ninyerola M, Pons X. Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval From Landsat Thermal-Infrared Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2009;47:339–49.
<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4689350>.
- Kalkstein, L. S., & Greene, J. S. (1997). An evaluation of climate/mortality relationships in large US cities and the possible impacts of a climate change. *Environmental health perspectives*, 105(1), 84.
- Kazmierczak, A. (2012). Heat and social vulnerability in Greater Manchester: a risk-response case study. *EcoCities*, The University of Manchester.
- Killingsworth, B., Director, P. S., Lemay Sr, N. L., Peng Sr, T., & Director, S. (2011). The Urban Heat Island Effect and concrete's role in mitigation. *Concrete in focus*, 10(6).
- Kilbourne, E. M. (1997). Heat waves and hot environments. The public health consequences of disasters, 245-269.

- Klinenberg, E. (2003). *Heat wave: a social autopsy of disaster in Chicago*: University of Chicago Press.
- Knowlton, K., Knowlton, M., Rotkin Ellman, G., King, H., Margolis, D., Smith, G., . . . English. (2008). The 2006 California Heat Wave: Impacts on Hospitalizations and Emergency Department Visits. *Environmental health perspectives*, 117(1), 61.
- Kolokotroni, M., & Giridharan, R. (2008). Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. *Solar Energy*, 82(11), 986-998.
- Kosatsky, T. The 2003 European heat waves, *Euro Surveill.* 10(2005).
- Kovats, R. S., & Kristie, L. E. (2006). Heatwaves and public health in Europe. *European Journal of Public Health*, 16(6), 592-599.
- Kustas WP, Norman JM, Anderson MC, French AN. Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index–radiometric temperature relationship. *Remote Sensing of Environment* 2003;85:429–40.
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425703000361>.
- Lagouarde J, Moreau P, Irvine M, Bonnefond J-M, Voogt JA, Sollicec F. Airborne experimental measurements of the angular variations in surface temperature over urban areas: case study of Marseille (France). *Remote Sensing of Environment* 2004;93:443–62.
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425704000033>.
- LoVecchio, F., Stapczynski, J., Hill, J., Haffer, A., Skindlov, J., Engelthaler, D., . . . Duprey, Z. (2005). Heat-related mortality—Arizona, 1993–2002, and the United States, 1979–2002. *Mortality and Morbidity Weekly Report*, 54, 628-630.
- Luber, G., & McGeehin, M. (2008). Climate change and extreme heat events. *American journal of preventive medicine*, 35(5), 429-435.
- Lugo-Amador, N. M., Rothenhaus, T., & Moyer, P. (2004). Heat-related illness. *Emergency medicine clinics of North America*, 22(2), 315-328.
- Maiheu B., Hendrickx M. en Goossens R., CLIMAQS Deliverable D3.3, Incorporation in ENVI-Met of –D terrain. 2010 VITO Report 2010/RMA/045
- Maloley, M. (2010). *Thermal Remote Sensing of Urban Heat Islands: Greater Toronto Area*.
- Markham BL, Storey JC, Williams DL, Irons JR. Landsat sensor performance: history and current status. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2004;42:2691–4.
<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1369366>.
- Marmor, M. (1978). Heat wave mortality in nursing homes. *Environmental Research*, 17(1), 102-115. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0013-9351\(78\)90065-8](http://dx.doi.org/10.1016/0013-9351(78)90065-8)

- Masson, V., Lion, Y., Peter, a., Pigeon, G., Buyck, J. and Brun, E.: "Grand Paris": regional landscape change to adapt city to climate warming, *Climatic Change*, 769–782, doi:10.1007/s10584-012-0579-1
- McGeehin, M. A., & Mirabelli, M. (2001). The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States. *Environmental health perspectives*, 109(Suppl 2), 185.
- McMichael, A. J. (2006). Climate change and human health: present and future risks. *Lancet* (London, England), 367(9513), 859.
- Mote, T. L., Lacke, M. C. and Shepherd, J. M.: Radar signatures of the urban effect on precipitation distribution: A case study for Atlanta, Georgia, *Geophysical Research Letters*, 2007; 34(20), L20710, doi:10.1029/2007GL031903
- Nakamura Y, Oke T. Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment* 1988;22:2691–700.
- Markvart T., Casta  zer L. (2003). *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. Elsevier. ISBN 1-85617-390-9.
- NASA. (2013, 26/03/2013). Measuring Vegetation (NDVI & EVI). from http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.
- Oke T.R., *Boundary layer climates*. Routledge; 2nd edition 1988 (ISBN 978-0415043199)
- T.R. Oke, D.G. Johnson, D.G. Steyn and I.D. Watson, Simulation of surface urban heat island under ideal conditions at night – Part 2: Diagnosis and causation., *Bound. Layer. Meteor.* 56(1991), pp. 339-358.
- Oltra-Carri   R, Sobrino J a., Franch B, Nerry F. Land surface emissivity retrieval from airborne sensor over urban areas. *Remote Sensing of Environment* 2012;123:298–305. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425712001265>.
- Pataki, D. E., Carreiro, M. M., Cherrier, J., Grulke, N. E., Jennings, V., Pincetl, S., . . . Zipperer, W. C. (2011). Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1), 27-36.
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438(7066), 310-317.
- Pelicaen J, 2010 *Zwemwater profile Blaarmeersen Zwemsportzone Gent*. Zwemwaterprofiel volgens Europese richtlijn 2006/7/EC. VMM. Zie <http://www.kwaliteitzwemwater.be/sites/default/files/zwemwaterprofiel/2012zwemwaterpr ofiel gent blaarmeersen zwemsportzone.pdf>

- Poumadère, M., Mays, C., Le Mer, S., & Blong, R. (2005). The 2003 heat wave in France: dangerous climate change here and now. *Risk analysis*, 25(6), 1483.
- Prata AJ. A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 1996;122:1127–51.
<http://doi.wiley.com/10.1002/qj.49712253306>.
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, D. M., Sailor, D., & Taha, H. (1995). Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings*, 22(3), 255-265.
- Rotach MW, Vogt R, Bernhofer C, Batchvarova E, Christen a., Clappier a., et al. BUBBLE – an Urban Boundary Layer Meteorology Project. *Theoretical and Applied Climatology* 2005;81:231–61.
<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00704-004-0117-9>.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
- Sarkar A, De Ridder Koen. The Urban Heat Island Intensity of Paris: A Case Study Based on a Simple Urban Surface Parametrization. *Boundary-Layer Meteorology* 2010;138:511–20.
<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10546-010-9568-y>.
- Schär C, Vidale PL, Lüthi D, Frei C, Häberli C, Liniger MA, Appenzeller C. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 2004;427:3926–8.
- Schuman, S. H. (1972). Patterns of urban heat-wave deaths and implications for prevention: data from New York and St. Louis during July, 1966. *Environmental Research*, 5(1), 59-75.
- Semenza, J. C., Rubin, C. H., Falter, K. H., Selanikio, J. D., Flanders, W. D., Howe, H. L., & Wilhelm, J. L. (1996). Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *New England Journal of Medicine*, 335(2), 84-90.
- Semenza, J.C., McCullough, J.E., Flanders, Z.D., McGeehin M.A. and Lumpkin J.R., Excess Hospital Admissions During the July 1995 Heat Wave in Chicago, *Am. J. Prev. med* 16(1999).
- Skamarock WC, Klemp JB, Gill DO, Barker DM, Duda MG, Wang W, Powers JG. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. 2008.
- Smoyer, K. E., Rainham, D. G., & Hewko, J. N. (2000). Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980–1996. *International Journal of Biometeorology*, 44(4), 190-197.
- Solazzo E, Britter RE. Transfer processes in a simulated urban street canyon. *Boundary-Layer Meteorology* 2007;124:43–60. <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10546-007-9176-7>.
- Stathopoulou M, Cartalis C. Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation. *Remote Sensing of Environment* 2009;113:2592–605.
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425709002375>.

- Toparlar Y., Computational Analysis of Climate Change Adaptation Measures at the Building and Street Scale Focused on Evaporative Cooling : Case Study for Bergpolder Zuid. 2012, MSc Thesis Technische Universiteit Eindhoven – Dep. Building Physics and Services.
- Thrush, D., Burningham, K., & Fielding, J. (2005). Flood Warning for Vulnerable Groups: A review of the literature. Bristol: Environment Agency (EA).
- Thorsson S, Lindberg F, Eliasson I, Holmer B. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Climatology* 2007;27:1983–93. <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1537>.
- US-EPA. Reducing Urban Heat Islands : Compendium of Strategies - Urban Heat Island Basics. 2013. Available at: <http://www.epa.gov/heatisd/resources/pdf/BasicsCompendium.pdf>.
- Van Weverberg, K., De Ridder, K., & Van Rompaey, A. (2008). Modeling the contribution of the Brussels heat island to a long temperature time series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(4), 976-990.
- VLM. (2011). Landinrichtingsproject Leie en Schelde: Groenpool Vinderhoutse Bossen: Vlaamse LandMaatschappij.
- Voogt JA, Oke TR. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 2003;86:370–84. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425703000798>.
- Vos, P. E. J., Maiheu, B., Vankerkom, J. and Janssen, S.: Improving local air quality in cities: To tree or not to tree?, *Environmental Pollution*, doi:10.1016/j.envpol.2012.10.021
- Weischelgartner, J. (2001). Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited. *Disaster prevention and management*, 10(2), 85-94.
- Weng Q. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment* 2004;89:467–83. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425703003390>.
- Wong, N. H. and Chong, A. Z. M.: Performance evaluation of misting fans in hot and humid climate, *Building and Environment*, 45(12), 2666–2678, doi:10.1016/j.buildenv.2010.05.026
- Yang, L., Huang, C., Homer, C. G., Wylie, B. K., & Coan, M. J. (2003). An approach for mapping large-area impervious surfaces: synergistic use of Landsat-7 ETM+ and high spatial resolution imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(2), 230-240.
- Yuan, F., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote sensing of Environment*, 106(3), 375-386.
- Zakšek K, Oštir K. Downscaling land surface temperature for urban heat island diurnal cycle analysis. *Remote Sensing of Environment* 2012;117:114–24. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425711002872>.

BIJLAGE A : METHODIEK VOOR EXTRACTIE VAN GEBOUWHOOGTES UI X,Y,Z PUNTMETINGEN

In deze bijlage beschrijven we beknopt hoe men op basis van een dataset van x,y,z puntmetingen de gebouwen hoogtes kan afleiden en wegschrijven als attribuut in een 2D shapefile met gebouwen contouren (en dan later evt. converteren naar 3D shapefile). Het is niet de bedoeling om een gedetailleerd vorm van elk gebouw af te leiden, maar per gebouw een eenvoudige inschatting te geven van de hoogte van het dak t.o.v. het straatniveau om enkele verdere GIS analyses te kunnen uitvoeren zoals bvb afleiden van sky view factoren etc...

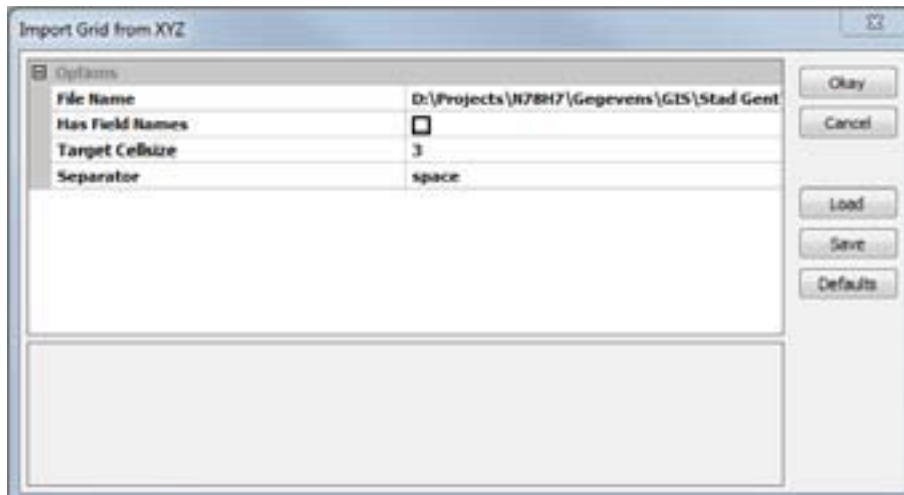
We gebruiken hiervoor SAGA-GIS (ik gebruik v2.0.8), zie : <http://www.saga-gis.org/>, <http://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/SAGA%20-%202.0/SAGA%202.0.8/>

- We beginnen met de AGIV data
 - o *.veg bestanden : x,y,z coördinaten van daken & vegetatie elementen
 - o *.grd bestanden : zou het maaiveld moeten voorstellen -> referentie niveau, echter niet altijd even eenduidig, zeker in stedelijk gebied
- Op zich is dit een heel uitgebreide dataset, in een eerste stap hebben we de data samengevoegd tot enkele grote bestanden op basis van de prefix in de bestandsnaam, voor Gent concreet (linux bash script) :

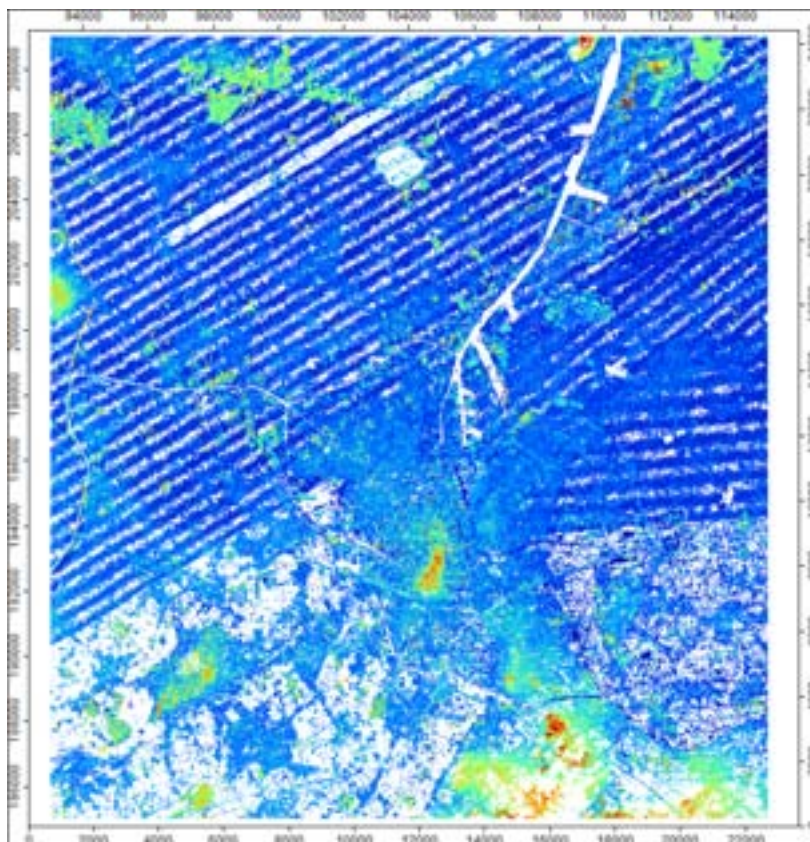
```
#!/bin/bash

for tag in DHM1P8D3 DHM1P10D1 DHM2P9D1 DHM2P10D1 DHM2P10D3 DHM2P10D7 DHM3P3D4 DHM3P3D5
DHM3P3D6 DHM3P3D8; do
    echo $tag
    cat $tag* >> $tag.xyz
done
```

- De resulterende .xyz bestanden bevatten dan alle punten per DHM bekken (DHMx) en perceel (PxDx), we doen dit voor de .veg en .grd bestanden apart...
- De gebouwen hoogtes kunnen best op basis van de .veg x,y,z coördinaten worden afgeleid, dus die gaan we in SAGA-gis inlezen en converteren naar een raster. De resolutie van het raster dien je zelf te kiezen, best lijkt me om voor 2.5 – 3 m te gaan. Import in SAGA via de module
 - o Import/Export – Grids > Import Grid from XYZ
- Selecteer dan de filename, de gewenste resolutie, de AGIV bestanden hebben geen Fields Names, dus dat mag je uitvinken en de Separator is “space”. De Target Cellsize zet je dus op 2.5 of 3 m

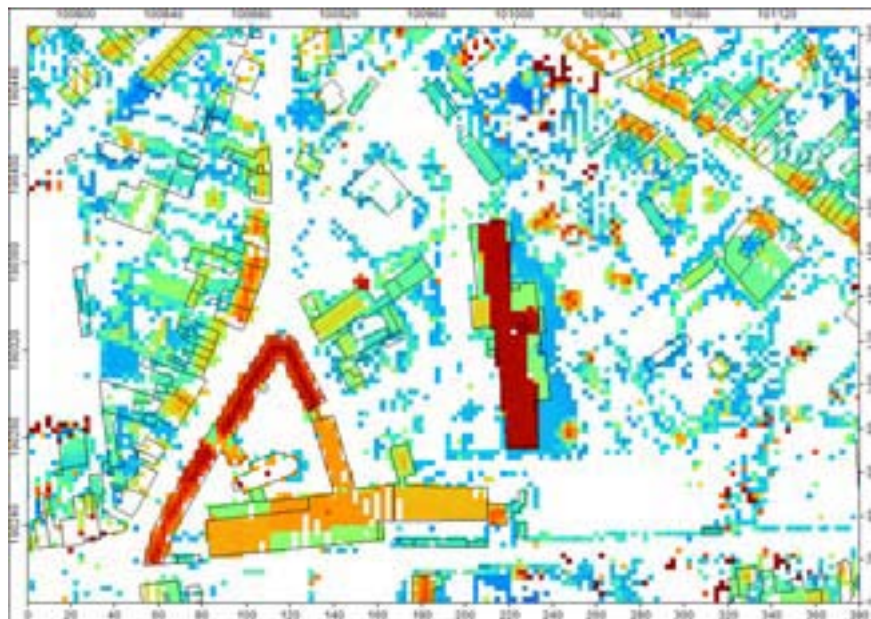


- Dan krijg je onder de “Data” tab een nieuw raster met de verrasterde hoogtemetingen.
- Voor het samenvoegen van verschillende DHMx bekkens kan je de bekomen rasters per bekken eenvoudig via de module **“Grid – Tools > Merging”** samenvoegen. Selecteer de lijst van de rasters en kies ervoor om een nieuw output raster aan te maken. Voor overlappende gridcellen wordt standaard het gemiddelde genomen en erwordt een spline interpolatie techniek gebruikt om de rasters te matchen op hetzelfde grid.
- Best maak je dan 1 groot rasterbestand aan voor gans gent op basis van deze merge. Die ziet er dan zo uit :

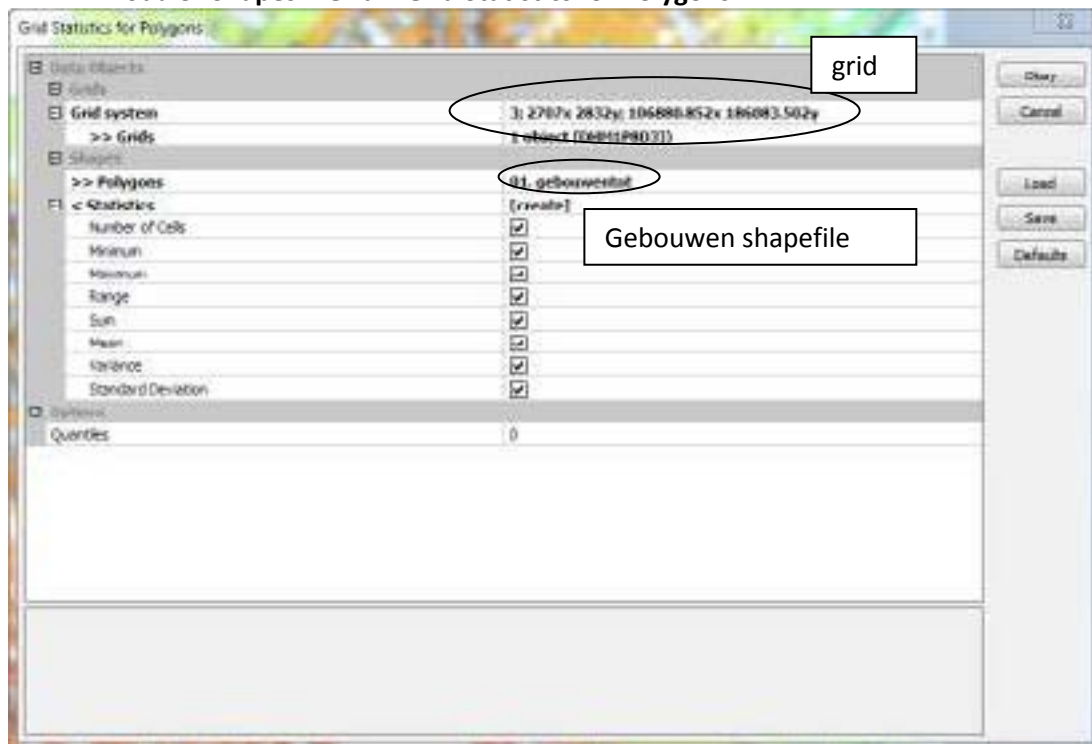


- Hierover kan je dan een shapefile met de gebouwen contouren leggen en per polygon enkele statistieken berekenen van de onderliggende pixels (zoals dan bvb de gemiddelde

hoogte, de min, max, std, mediaan etc van de pixels). Deze worden dan als attributen in de shapefile weggeschreven.



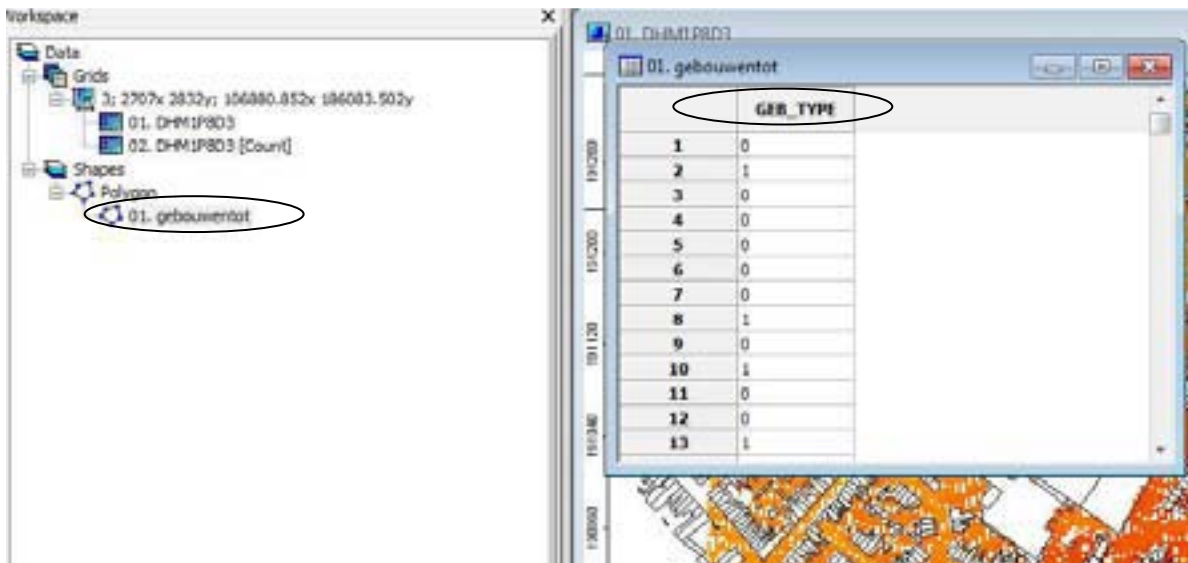
- Shapefile laden via het **“File > Shapes > Load”** menu Deze statistieken bereken je via de module **“Shapes – Grid > Grid Statistics for Polygons”**



Bij statistics kan je aanvinken wat je exact berekent, onder quantiles kan je percentielen ook berekenen van de pixelwaarden binnen elke contour van de shapefile.

Die statistieken worden dan als attribuut in een nieuwe shapefile weggeschreven, die vind je dan ook in de Data tab, en kan je dan save door er rechts op te klikken. Een goeie tip is het hernoemen van de attribuut fieldnames die aangemaakt worden (die kunnen nogal lang zijn en bevatten “[” “]” karakters, waardoor bvb die shapefiles iets lastiger hanteerbaar zijn in bvbv ESRI ArcGIS).

Hernoemen van de attributen kan via rechts te klikken op de shapefile in de Data tab, vervolgens in het menu te kiezen voor **“Attributes > Show”**, en daarna in de tabel rechts te klikken vanboven op een fieldname en te kiezen voor **“Rename Fields”**.



Dan krijg je een window te zien waarin je aan elk attribuut een andere naam kunt geven.

Op die manier kan je dus een shapefile construeren met de gemiddelde (maximale etc) hoogte van de onderliggende verrasterde pixels als attribuut

Deze stappen kunnen makkelijk herhaald worden voor bvb het terrein model zodat voor elk van de gebouwen ook een maaiveld hoogte wordt afgeleid, in dat geval bvb dan de minimum hoogte van elke pixel nemen. Het is wel zo dat in de .grd files de gebouwen eruit zijn geknipt, dus is het best na de verrastering even de missing values onder de gebouwen te reconstrueren mbv de pixels in de straten. Dit kan op verschillende manieren (interpolatie), manier waarvan ik relatief content ben voor deze toepassing : **“Grid – Tools > Close Gaps”**.

Tenslotte nog even aanhalen dat alles van SAGA gis ook gescript kan worden Shell scripts (Linux) of DOS .bat files. Een voorbeeld van een dergelijke .bat file onder windows is :

```
@ECHO OFF

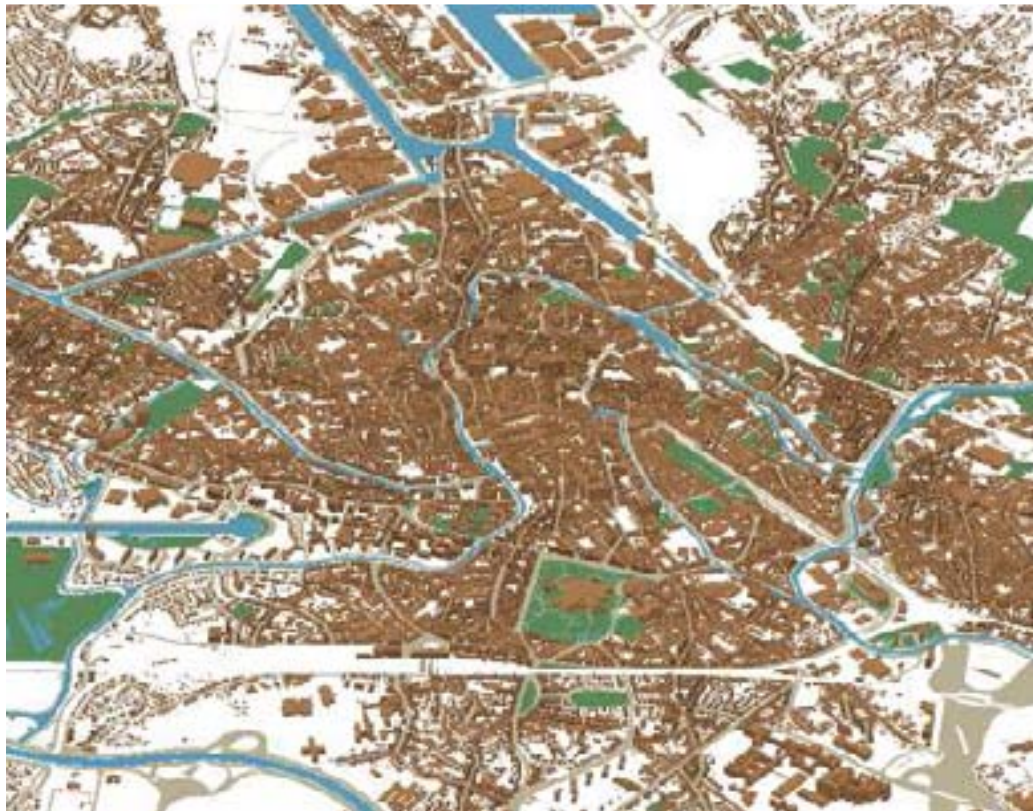
SET SAGA_MLB = "C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\Modules"
SET PATH = %PATH%;C:\;C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8"

"C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\saga_cmd.exe" io_grid "Import Grid from XYZ" -GRID=DHM1P10D1 -
FILENAME=DHM1P10D1.xyz -CELLSIZE=2.5 -SEPARATOR=0
"C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\saga_cmd.exe" io_grid "Import Grid from XYZ" -GRID=DHM1P8D3 -
FILENAME=DHM1P8D3.xyz -CELLSIZE=2.5 -SEPARATOR=0
"C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\saga_cmd.exe" io_grid "Import Grid from XYZ" -GRID=DHM2P10D1 -
FILENAME=DHM2P10D1.xyz -CELLSIZE=2.5 -SEPARATOR=0
"C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\saga_cmd.exe" io_grid "Import Grid from XYZ" -GRID=DHM2P10D3 -
FILENAME=DHM2P10D3.xyz -CELLSIZE=2.5 -SEPARATOR=0
"C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\saga_cmd.exe" io_grid "Import Grid from XYZ" -GRID=DHM2P10D7 -
FILENAME=DHM2P10D7.xyz -CELLSIZE=2.5 -SEPARATOR=0
"C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\saga_cmd.exe" io_grid "Import Grid from XYZ" -GRID=DHM2P9D1 -
FILENAME=DHM2P9D1.xyz -CELLSIZE=2.5 -SEPARATOR=0
"C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\saga_cmd.exe" io_grid "Import Grid from XYZ" -GRID=DHM3P3D4 -
FILENAME=DHM3P3D4.xyz -CELLSIZE=2.5 -SEPARATOR=0
"C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\saga_cmd.exe" io_grid "Import Grid from XYZ" -GRID=DHM3P3D5 -
FILENAME=DHM3P3D5.xyz -CELLSIZE=2.5 -SEPARATOR=0
"C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\saga_cmd.exe" io_grid "Import Grid from XYZ" -GRID=DHM3P3D6 -
```

```
FILENAME=DHM3P3D6.xyz -CELLSIZE=2.5 -SEPARATOR=0  
"C:\Program Files (x86)\Saga\2.0.8\saga_cmd.exe" io_grid "Import Grid from XYZ" -GRID=DHM3P3D8 -  
FILENAME=DHM3P3D8.xyz -CELLSIZE=2.5 -SEPARATOR=0  
  
PAUSE
```

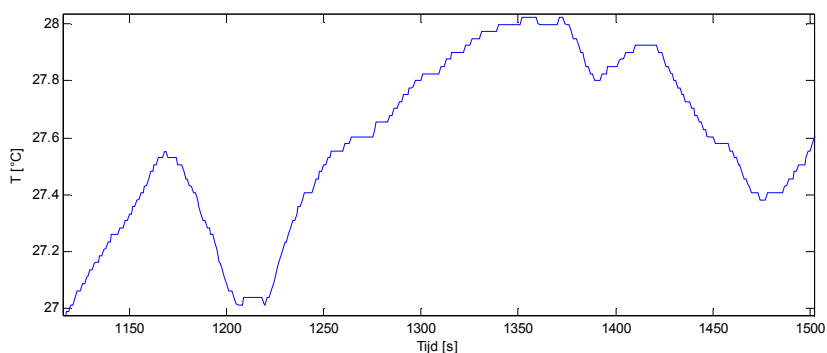
Op die manier kan je de verwerking van de xyz bestanden tot rasters op de gekozen resolutie ook automatiseren. (Wel enkele paden aanpassen in de heading...).

De resulterende hoogtes werden eenvoudig dan in ArcScene ingelezen en gevisualiseerd als hoogte tot waar de features geëxtraheerd worden :

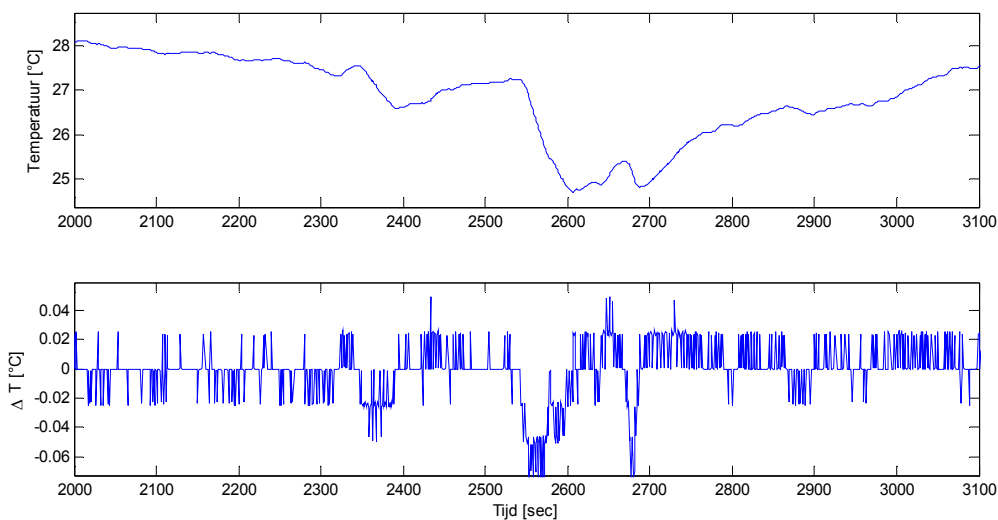


BIJLAGE B : BEREKENING VAN DE NUMERIEKE AFGELEIDE VAN DE EINDIGE RESOLUTIE TEMPERATUURSMETINGEN VOOR DE MOBIELE TRANSSECTEN

Onderstaande grafieken illustreren het probleem. Door de einde resolutie van de luchttemperatuursensoren en het feit dat we elke seconde een meting uitvoeren krijgen we, wanneer we inzoomen op de ruwe metingen een stapjes functie te zien (zie Figuur 210). Wanneer we op basis hiervan de numerieke afgeleide berekenen door het verschil te nemen tussen opeenvolgende samples, krijgen we een zeer noisy pattroon te zien met nogal wat waarden die 0 zijn of gelijk aan de resolutie van de luchttemperatuursmeting (+/-). Slechts wanneer de temperatuur significant stijgt/daalt over 1 second (i.e. meer dan de resolutie van het sensor) krijgen we een bruikbare afgeleide (zie Figuur 211). Ook het berekenen van de eerste orde afgeleide op basis van meer dan 2 samples biedt hier geen oplossing.

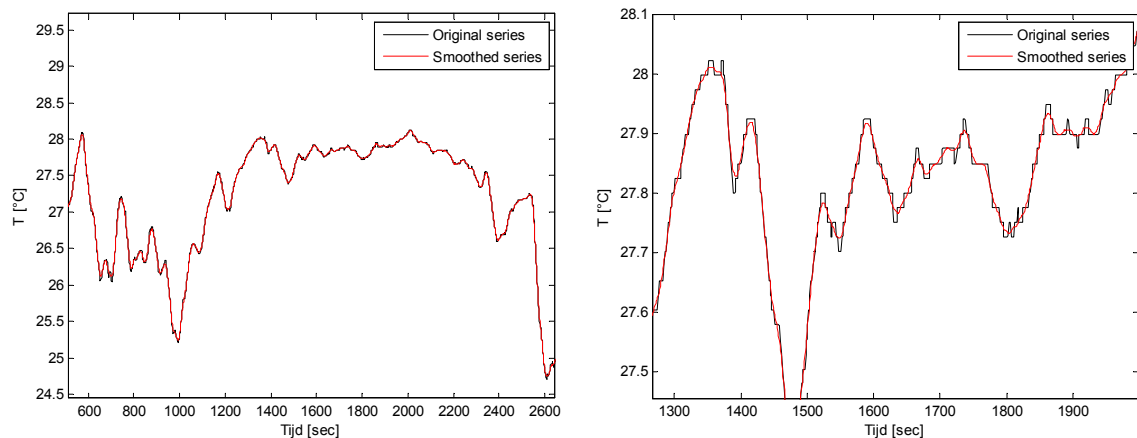


Figuur 210 : Stapjes patroon bij inzoomen op de luchttemperatuurs metingen met eindige resolutie.



Figuur 211 : Illustratie van het probleem bij naïeve berekening van de afgeleide van de temperatuursmeting. Door de eindige resolutie en de hoge sampling rate zijn nogal wat waarden in de afgeleide gelijk aan 0 of gelijk aan de resolutie van de meting.

We dienen dus m.a.w. een soort smoothing toe te passen van de originele meetdata vooraleer we de afgeleide goed kunnen berekenen. Op zich kan dit op verschillende manieren, maar de eenvoudigste is uiteraard een moving average filter toe te passen. Dit is in feite niets anders dan een low-pass filter welke de snelle veranderingen in de data (i.e. noise) weg filteren. Uiteraard moeten we zien dat we niet te veel van de variatie wegfilteren. Een rigoureuze fourier of wavelet analyse zou hierbij uitkomst kunnen bieden, maar het probleem van de cut-off filter frequentie blijft hierbij bestaan. We hebben ons in deze dus beperkt tot een trial-and-error methode. De beste balans tussen een stabiele afgeleide en correcte weergave van het verloop van de snelste temperatuursvariaties werd gevonden bij een filter van 15 samples (of seconden) breed rond het beschouwde sample. We bedoelen hiermee dus dat we elke temperatuursmeting vervangen door het gemiddelde van de het sample zelf en de 7 samples vóór én de 7 samples na het beschouwde sample. Het is belangrijk op te merken dat we dit voor deze correctie enkel en alleen voor de berekening van de afgeleide van de gemeten temperatuur doen ! Het resultaat hiervan is hieronder in Figuur 212 geïllustreerd.



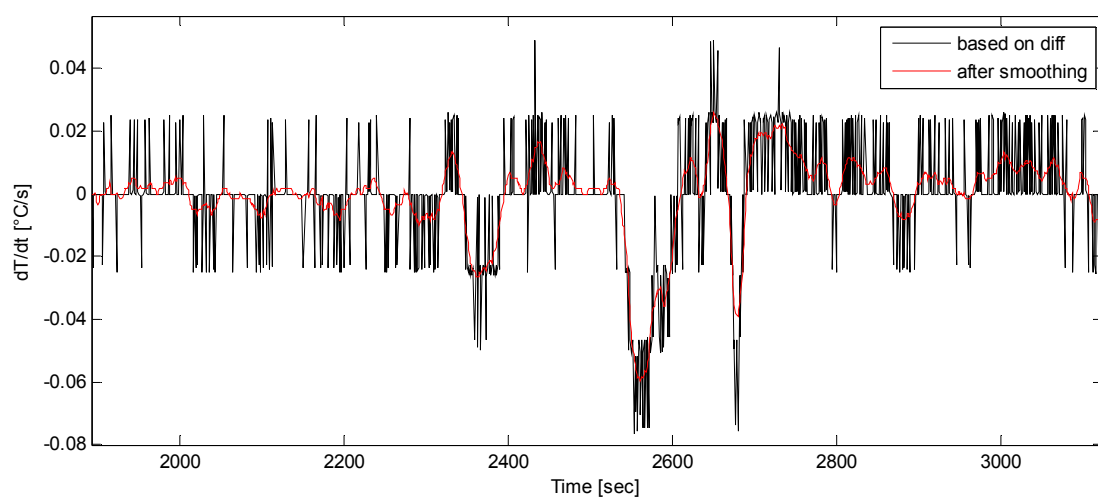
Figuur 212 : Gesmoothe tijdsreeks waarvan de de tijdsafgeleide voor de response correctie is berekend. Rechts is een uitvergroting te zien van dezelfde metingen.

Uit de figuur links merken we duidelijk dat de verschillende “features” in de temperatuursmetingen mooi bewaard blijft, maar dat we toch de hoog frequente “ruis” t.g.v. de eindige resolutie van de sensor wegsMOOTHEN.

Om de tijdsafgeleide te berekenen maken we gebruik van de 5-punts benadering :

$$T'[n] \approx \frac{1}{12} (T[n-2] - 8T[n-1] + 8T[n+1] - T[n+2])$$

In onderstaande Figuur 213 vergelijken we de resulterende afgeleide en die berekend op basis van een eenvoudig verschil tussen opeenvolgende samples.



Figuur 213 : Vergelijking tussen dT/dt berekend rechstreeks op de ruwe data (zwarte lijn) of na smoothing (rode lijn)

BIJLAGE C : KORTE BESCHRIJVING MACRO – ECONOMISCHE SCENARIO'S VOOR LANDGEBRUIKS PROJECTIE IN DE MODELLERING VAN HET TOEKOMSTIG UHI EFFECT IN GENT.

Onderstaande bijlage geeft kort weer hoe we de verschillende landgebruiksscenario's zien die werden doorgerekend in het kader van de studie : *De Vlaamse Ruimte in 4 Wereldbeelden*, Guy Engelen, Lien Poelmans, Inge Uljee, Jean-Luc de Kok en Leen Van Esch Studie uitgevoerd in opdracht van: Steunpunt Ruimte en Wonen VITO Ref: 2011/RMA/R/363 December 2011. Voor de toekomst prognose in deze studie is geopteerd voor het Business-As-Usual scenario.



Strong Europe

In Strong Europe is er veel aandacht voor internationale samenwerking. De Europese instituties worden succesvol hervormd en landen geven een deel van hun soevereiniteit op. Daarmee wordt Europa een invloedrijke speler op het economische en politieke wereldtoneel, en internationale milieuvraagstukken kunnen gecoördineerd aangepakt worden. Europa doet enige concessies aan de Verenigde Staten, die daarna het Kyotoverdrag ratificeren. Turkije treedt toe tot de Europese Unie. Het sociaal-economisch beleid is net als in het scenario Regional Communities gericht op solidariteit en op een gelijkmatige inkomensverdeling, al vinden er wel enige hervormingen plaats. Door deze hervormingen, door hogere investeringen in onderwijs en onderzoek, en door de grotere markt groeit de arbeidsproductiviteit meer dan in Regional Communities. Ook de economische groei en de bevolkingsgroei, vooral door immigratie, zijn in dit scenario hoger.

Global Economy

In Global Economy breidt de EU zich nog verder naar het oosten uit. Naast Turkije worden ook landen als Oekraïne lid. De WTO-onderhandelingen zijn succesvol, en daar vaart de internationale handel wel bij. De deelnemende landen integreren echter niet in politiek

opzicht. Internationale samenwerking op andere gebieden dan handelsvraagstukken mislukt. Net als in Transatlantic Market benadrukt de overheid in dit scenario de eigen verantwoordelijkheid van burgers. Vergeleken met Transatlantic Market groeit de arbeidsproductiviteit in dit scenario nog extra door de sterke wereldwijde economische integratie. De groei van zowel de materiële welvaart als van de bevolking (vooral door immigratie) is in dit scenario dan ook het hoogst. Net als in Transatlantic Market komt er geen overeenkomst om grensoverschrijdende milieu-vraagstukken aan te pakken. Dit en de wereldwijde hoge economische groei leiden tot forse milieuvervuiling. Wel leidt de hoge groei tot lokale milieu-initiatieven.

Regional Communities

In Regional Communities hechten landen sterk aan hun eigen soevereiniteit. Daardoor slaagt de Europese Unie er niet in om institutionele hervormingen door te voeren. Ook mondiale handelsliberalisatie komt niet van de grond, waardoor de wereld uiteenvalt in een aantal handelsblokken. Internationale milieuvraagstukken worden niet aangepakt. Toch is de milieudruk relatief laag, omdat de bevolkingsgroei en de economische groei bescheiden zijn. De collectieve sector wordt in dit scenario nauwelijks hervormd. Collectieve regelingen blijven in stand, waarbij de nadruk erop ligt de inkomens gelijkmatig te verdelen en solidair te zijn. Door geringere prikkels in de sociale zekerheid en de hoge belasting- en premietarieven is de arbeidsparticipatie relatief laag en de werkloosheid hoog. Minder concurrentie remt de noodzaak voor bedrijven om te innoveren. De verbrokkelde markten belemmeren dat kennis zich snel verspreidt, en door de kleine inkomensverschillen is de stimulans om te investeren in onderwijs beperkt. De arbeidsproductiviteit stijgt jaarlijks maar weinig en de economische groei is gering.

Transatlantic market

In Transatlantic Market wordt de uitbreiding van de Europese Unie geen politiek succes. Daarvoor hechten landen te veel aan hun soevereiniteit: ze lossen problemen liever op nationaal niveau op. Wel wordt de handel tussen de Verenigde Staten en Europa vérgaand geliberaliseerd, waardoor op termijn een nieuwe interne markt ontstaat. Dit scenario kenmerkt zich door een overheid die de eigen verantwoordelijkheid van burgers benadrukt. De verzorgingsstaat wordt ingeperkt en publieke voorzieningen worden versoerd. Hierdoor neemt de inkomensongelijkheid toe. Doordat de macht van vakbonden afneemt, wordt de arbeidsmarkt flexibeler. Door de versoering van de sociale zekerheid groeit de arbeidsparticipatie, de internationale concurrentie verhoogt de prikkel om te innoveren, en de grotere inkomensverschillen maken studeren aantrekkelijk. De groei van de arbeidsproductiviteit en de economische groei zijn hoger dan in het scenario Strong Europe, terwijl de bevolking slechts matig toeneemt. Grensoverschrijdende milieuvraagstukken worden in dit scenario niet opgepakt. Lokale milieu-initiatieven gericht op bijvoorbeeld geluid- en stankoverlast kunnen zich wel voordoen.

Business as usual scenario (cfr. 3.3 van bron document)

Dit beschrijft een waarschijnlijke ontwikkeling van Vlaanderen tot 2050, onder de aanname dat de huidige waargenomen en gekende trends zich zullen voortzetten. De noodzakelijke

gegevens werden direct, of via een tussenberekening, ontleend aan Vlaamse en Federale statistische- en GIS-bronnen. Ook werd het model voor het BAU-scenario gecalibreerd aan de hand van sociaaleconomische gegevens en modeluitkomsten die beschikbaar kwamen uit MIRA-S-2009 scenario oefeningen (Gobin et al., 2009). In het bijzonder werd het model gecalibreerd met de resultaten van de PLANET (Desmet et al., 2008) en SELES (Gavilan et al., 2006) modellen. De veranderingen in natuurlijke landgebruiken zijn gebaseerd op de aannames van de NARA-S-2009 studie (Dumortier et al., 2009).

BIJLAGE D : STAKEHOLDER WORKSHOP

In deze appendix wensen we even stil te staan bij de resultaten van het stakeholder overleg met medewerkers van verschillende stadsdiensten, waarop een aantal additionele interessante zaken naar voren kwamen. We onderscheiden 2 types maatregelen : fysieke maatregelen en sociaal economische. Het dient gezegd dat bij een aantal van de hoger genoemde maatregelen de uitvoering problematisch kan zijn gezien het financiële kostenplaatje of de praktische haalbaarheid. In die zijn was de brainstorm een nuttig instrument om enkele zaken ook op hun haalbaarheid af te toetsen.

D.1. FYSIEKE MAATREGELEN

- **Het verder promoten van geveltuintjes** : momenteel geeft de Stad Gent reeds een premie van 25 EUR voor een geveltuintje bij het aanvragen van een vergunning. Er zou echter kunnen nagedacht worden over een eenvoudige meldprocedure i.p.v. een vergunning. Daarbij moet echter wel de nodige aandacht kunnen geschonken worden aan het verder opvolgen, bvb bij huurhuizen waar eventuele nieuwe huurders misschien geen “groene” vingers hebben, of aandacht voor zwerfvuil wat kan gepaard gaan met dergelijke geveltuintjes. Een belangrijk punt is ook dat de vrije doorgang moet kunnen blijven gegarandeerd worden en de uitvoering van nutswerken niet mag gehinderd worden. In deze context kan burgerparticipatie eventueel via buurtwerk ook gestimuleerd worden als kosten-efficiënte maatregel voor de stad. Een goed voorbeeld is het burger-initiatief in de Brugse Poort voor het onderhoud van geveltuintjes (zie: <http://www.detuinmuur.be> , initiatief van Piet Recour). Door het laten overgroeien van een stuk van de straat kunnen dergelijke geveltuintjes ook voor schaduw zorgen en dus niet alleen bijdragen tot een hoger evapotranspiratie en een betere energie huishouding binnenshuis, maar ook tot het reduceren van de stralingsbelasting van de voetgangers .
- Door in het bouwreglement de verplichting op te nemen dat platte daken (>150 m²) bij nieuwbouw of grote renovaties nuttig dienen ingezet te worden hetzij voor wateropvang of voor **groendaken**, kan men Stad Gent reeds vooruitstrevend noemen op vlak van SHE – maatregelen. Een optie zou kunnen zijn deze lijn door te trekken naar bestaande gebouwen : het provinciehuis, de kinopolis, Artevelde hogeschool, het Plateau-gebouw van de UGent, waar enkele binnenkoer gebouwen aanwezig zijn met een plat dak, de Belgacom gebouwen, de Opera, etc...
- Het idee om **Bächels** (kleine, open, waterkanaaltjes in het openbaar domein) aan te leggen zoals in Freiburg lijkt niet echt haalbaar in Gent. Door de grote hoeveelheid fietsers kan dit gevaarlijk zijn voor ongevallen. In Freiburg is door de natuurlijke topografie en het koude bergwater dit een kosten-efficiënte oplossing maar voor Gent is dit veel minder vanzelfsprekend. Wel zou er kunnen nagedacht worden (zoals ook hierboven is aangegeven) over het aanleggen van fontein en het bevorderen van drinkwaterstandjes.
- Het **weghalen van verhardingen** is niet overal even vanzelfsprekend. “Gras op de graslei” lijkt een leuk idee, maar door het intensieve gebruik is dit in de praktijk waarschijnlijk minder haalbaar. Wel zou kunnen nagedacht worden over het stimuleren van onverharde speelplaatsen in scholen.

- iets wat in bovenstaande beleidsaanbevelingen minder onder de aandacht kwam is het **haven gebied**. Gezien daar volgens de resultaten van § 5.1 veel verharding zit, lijkt dit ook een prominente zone om in te zetten op het weghalen van verhardingen door bvb waterdoorlatende verharding of groentegels.

D.2. SOCIAAL ECONOMISCHE MAATREGELEN

- Er wordt uitgegaan van het feit dat de **horeca** een voorstander is van meer groen. Gevelgroen is immers ook goed voor akoestische isolatie en reflecteert minder geluid van drukke terrassen. Vanuit die optiek zou men café's en restaurants kunnen inschakelen in sensibiliserings acties tijdens episodes van extreme hitte door het gratis ter beschikking stellen van water of het wijzen op de gevaren van alcohol consumptie op hete dagen. De vraag blijft natuurlijk in hoeverre de economische belangen van volle terrasjes dan niet gaan doorwegen.
- Een ander interessante piste bestaat erin het stedelijk klimaatsaspect en te integreren met een aantal **kunstprojecten**. Zo heeft de Vooruit ondermeer een app rond groene routes doorheen de stad.
- Het idee van een "**hitte-ambtenaar**" wordt ook naar voor geschoven als een persoon die zeer gerichte communicatie naar de bevolking kan verzorgen tijdens periodes van extreme hitte en kan werken rond sensibiliseren van de Gentenaars in het algemeen. Dergelijk persoon kan het uitrollen van een plan faciliteren waarbij alle kwetsbare zones bereikt worden (via lokale mensen + buurtbewoners) , of pro-actief inzetten om bij die mensen isolatie (ook voor hitte) aan te bevelen (als no-regret maatregelen).

D.3. AANWEZIGHEIDSLIJST

Tenslotte geven we voor de volledigheid nog even de lijst met deelnemers mee.

Deelnemers stadsdiensten :

- Jasmin Lauwaert, kabinet schepen Heyse (Milieu, Klimaat, Energie en Noord-Zuid)
- Roel Vanderbeuren, kabinet schepen Watteeuw (Mobiliteit en Openbare Werken)
- Sofie Custers - Groendienst
- Inge De Roose – Gezondheidsdienst
- Anke Hermans – Milieudienst
- Bieke Mangeleer – staf Rumodo
- Simon Verledens - Stedenbouw en Ruimtelijke Planning
- Renaat Coene - Dienst Wegen, Bruggen en Waterlopen
- Ilse Verschoore – directeur Dienst Coördinatie
- Willem Gobeyn – staf Bevolking en Welzijn - Lokaal Sociaal Beleid
- Kenny De Marteleire - Integratiedienst
- Jan Schiettekatte - directeur Educatieve Diensten
- Bert Schollaert – Dienst Economie
- Liesbeth Bultinck – Dienst Stedelijke Vernieuwing en Gebiedsgerichte Werking

- Piet Recour – directeur Interne Dienst voor Preventie op het werk

Project team:

Intern (stad Gent)

- Cathy De Bruyne - Milieudienst
- Maaïke Breugelmans - Milieudienst
- Jeroen Mercy – Milieudienst

Extern

- Bino Maiheu – VITO - Unit RMA - Environmental Modelling
- Luuk Boelens – UGent Afdeling Mobiliteit en Ruimtelijke Planning
- Karel Van den Berghe – UGent Afdeling Mobiliteit en Ruimtelijke Planning

BIJLAGE E : KORTE DISCUSSIE ONTWERPENDE PRINCIPES

Het kwantificeren van de effecten van specifieke mitigerende maatregelen en het afwegen van de onderling relatieve impact van de maatregelen is niet eenvoudig, zeker voor wat betreft de invloed op de luchttemperatuur. De meeste praktisch haalbare maatregelen zoals het aanleggen van groene zones of waterpartijen spelen zich af op microschaal (orde van een paar 10-talen m). Het gebeurt zelden (tenzij bij grote stadsontwikkelings projecten) dat de schaal van de maatregelen de grootte orde van enkele 100 m (de ruimtelijke resolutie van het kaartmateriaal) overstijgt. Enkele resultaten van microschaal studies zijn beschikbaar in de literatuur maar het is veelal zo dat het ontbreekt aan rigoureuze validatie van de resultaten zodat de wetenschappelijke onderbouwing relatief onzeker is. In de praktijk worden dus m.a.w. meestal no-regret maatregelen toegepast gezien het beslissingskader voor het uittekenen van ontwikkelingsprojecten ook meestal ruimer is dan enkel het stedelijke klimaatsaspect.

Desalniettemin kunnen we hier pogen enkele ontwerpende principes oplijsten en enkele voorbeelden aan te halen van maatregelen die een gedocumenteerde impact hebben op reductie van de luchttemperatuur of het verminderen van hittestress. In het kader van dit project is het echter niet mogelijk een volledig overzicht van de literatuur te presenteren. We vermelden in deze context ook Aertsens et al, (2012), welk een literatuurstudie bevat over de baten van groen in de stad.

Het is belangrijk eerst en vooral in deze context een afweging te maken van wat men wil bereiken. Stedelijk microklimaat heeft met name een impact op verschillende niveaus :

- Menselijke activiteiten : mensen die zich begeven in de ruimte tussen de gebouwen
 - o Hittestress overdag : voornamelijk door stralingsbelasting
 - o Hittestress 's nachts : verhoogde luchttemperatuur
- Energie performantie van de gebouwen zelf.

Al te vaak worden deze door elkaar gehaald en ze zijn vaak niet compatibel. Onderstaande foto (Figuur 123) illustreert dit mooi. Hoewel de wit geschilderde muren er voor zorgen dat de muren minder vlug opwarmen en het dus binnenshuis koeler blijft (met verminderde energievraag voor airco tot gevolg), zal de ruimte tussen de gebouwen minder aangenaam zijn om te vertoeven overdag wegens de hogere stralingsbelasting door de verhoogde reflectie van zonlicht.



Figuur 214 :Illustratie van wit geschilderde huisjes in een typisch mediterrane setting.

Verder is het ook zo dat we een onderscheid kunnen maken tussen verschillende types “Park Cool Islands” of park koelte-eilanden. Onderstaande tabel is een adaptatie uit Errell et al, (2011).

Tabel 54 : Verschillen tussen 2 types park cool islands (PCI).

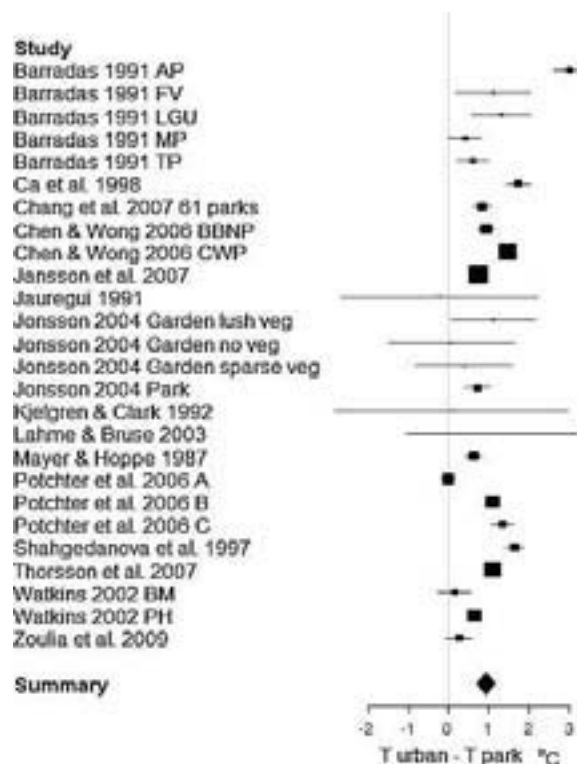
	Daytime PCI	Night-time PCI
Type of park	Irrigated park with substantial tree cover	Dry parks with sparse tree cover (grass field)
Mechanisms involved	Evaporation and shading: tree shade the surface, while grass is typically cooler than paved surfaces if well irrigated	Long-wave radiant cooling : sky view factor close to unity
Temporal pattern : time of maximum intensity	Afternoon (forest type) or early evening (garden, savannah and multi-use types)	Several hours after sunset
Comments		May be warmer during the day than neighboring urban areas !

We weten dat parken zowel voor lucht- (vooral ‘s nachts) als oppervlakte temperatuur een koelte eiland kunnen zijn. Een *park cool island* dat zich overdag manifesteert wordt voornamelijk gekenmerkt door een substantiële fractie bomen die voor evaporatie en vooral schaduw zorgen. Een nachtelijk *park cool island* is dan voornamelijk het type park dat gekenmerkt wordt door weinig bomen, maar uitgestrekte open grasvlaktes met hoge sky view factor. Dit type park cool island komt in hoofdzaak tot ontwikkeling na zonsondergang doordat het efficiënt ook warmte kan verliezen door IR straling. Voor een park met veel bomen zullen deze bomen ook bijdragen tot het afblokken van de openhemel en dus de uitstraling bemoeilijken. Het is echter zo dat overdag dergelijke types parken bij grote droogte en afwezigheid van bodemvocht zelfs heter kunnen zijn

dan hun stedelijke omgeving. Gezien de grote warmtecapaciteit van een versteende omgeving kan het dus zijn dat een droog park dat aan de volle zon is blootgesteld iets sneller opwarmt, terwijl het iets langer duurt voor de versteende omgeving (omgekeerd zal zo'n park dan ook wel vlugger afkoelen). De verschillen in luchttemperatuur blijven uiteraard beperkt.

Voor wat betreft de effecten van grootte van dergelijke parken kunnen we eerste en vooral stellen dat individuele bomen geen significant effect hebben op de luchttemperatuur. Wel kunnen ze bijdragen tot het reduceren van de stralingsbelasting door schaduw. Metingen van gereduceerde luchttemperaturen zijn gedocumenteerd voor parken van $\sim 200 \text{ m}^2$ en numerieke simulaties (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003) geven effecten van $1 - 2 \text{ }^\circ\text{C}$ reeds vanaf een 10-tal meter. Hun resultaten lijken te suggereren dat voor elke 100 m^2 een reductie van $1 \text{ }^\circ\text{C}$ in luchttemperatuur kan optreden en voor elke 10 % toename van de verhouding groen/bebouwd een reductie van $0.8 \text{ }^\circ\text{C}$ kan gevonden worden in luchttemperatuur, waarbij het effect afneemt bij hogere windsnelheden. Het is echter zo dat de auteurs zelf aangegeven dat deze resultaten eerder als trend dan als richtlijn dienen geïnterpreteerd te worden wegens de grote onzekerheid en de beperkte validatie van de resultaten.

In Bowler et al, (2010) wordt een systematisch review gepresenteerd van het empirisch bewijs van vergroeningsstrategieën op de luchttemperatuur *overdag*. Onderstaande Figuur 215 geeft een overzicht van de verschillende empirische metingen van het temperatuursverschil tussen een park en de versteende omgeving. We dienen hier wel te vermelden dat we geen zicht hebben of de metingen uit de verschillende studies actief geventileerd waren of niet en wat de nauwkeurigheid ervan is.

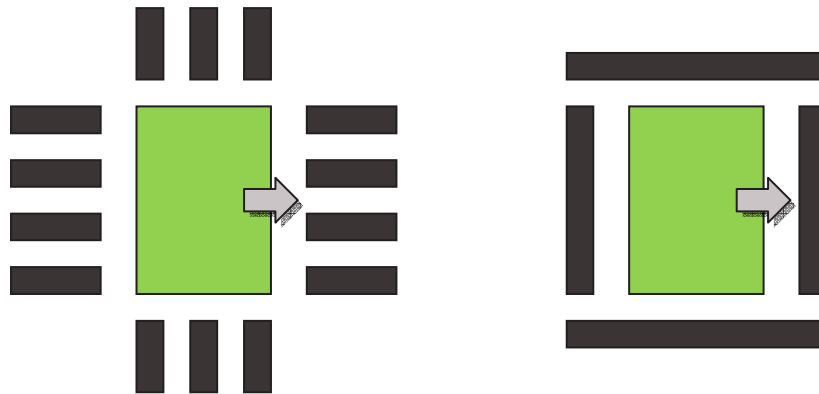


Figuur 215 : Samenvatting van het empirisch bewijs van het verschil in luchttemperatuur tussen een park en een stedelijke omgeving tijdens de dag.

Gemiddeld gesproken vonden de auteurs dat een stadspark 0.94 °C koeler is overdag dan de versteende omgeving. Een opvallend citaat uit de conclusies is echter :

"The current evidence base does not allow specific recommendations to be made on how best to incorporate greening into an urban area. Further empirical research is necessary in order to efficiently guide the design and planning of urban green space, and specifically to investigate the importance of the abundance, distribution and type of greening. Any urban greening programme implemented would need to be appropriately designed and monitored to continue to evaluate benefit to human health through reducing temperature."

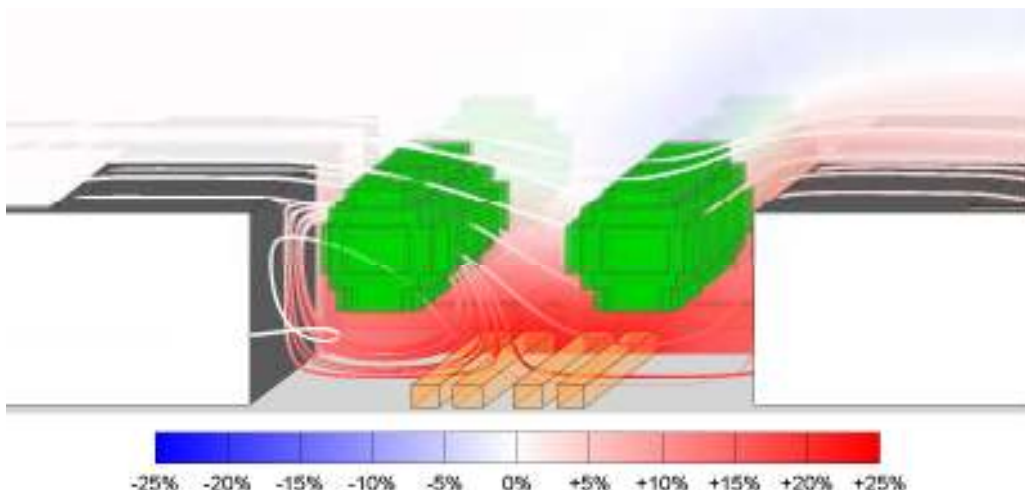
Principieel en algemeen kan men verder wel stellen dat de invloed van een park gemaximaliseerd zal worden door de inrichting van de omringende ruimte zodat het park niet volledig is ingesloten. Onderstaande figuur illustreert dit :



Figuur 216 : Illustratie inrichting van een groene zone en maximalisatie van het effect door het bevorderen van de ventilatie vanaf het park.

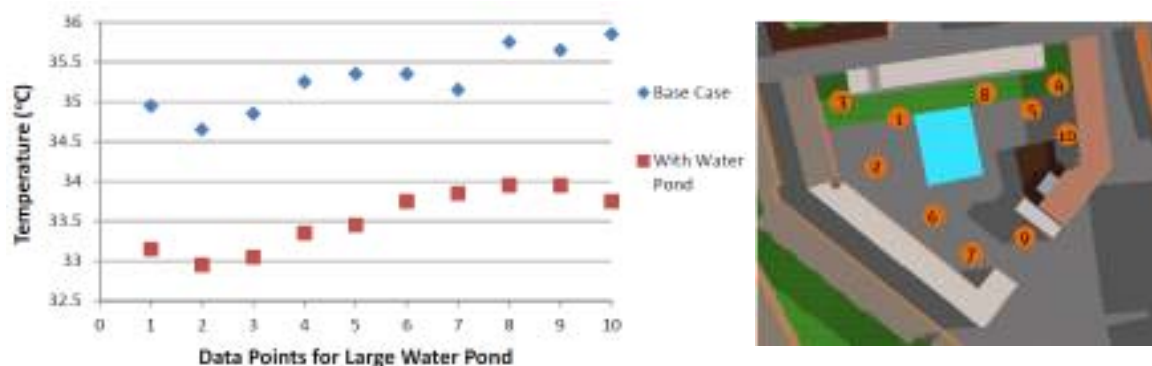
Bij het inplanten van bomen dient men echter op te letten voor schaduwvorming. Men zou kunnen stellen dat bladverliezende soorten enigszins te verkiezen zijn doordat ze in de zomer een maximaal effect hebben en voor schaduw zorgen terwijl ze in de winter het zonlicht doorlaten. Men dient er echter rekening mee te houden dat laaghangende takken ook nog voor relatief veel schaduw kunnen zorgen. Het is verder ook niet altijd zo dat het vallen van de blaren samenvalt met het seizoen waarin mensen het verwarming typisch aanschakelen, en dus baat kunnen hebben bij extra zon op hun gevel. Zeker bij passieve woningen dient men hiermee rekening te houden. Gedetailleerde bezonningsstudies kunnen m.a.w. hier een betere blik op geven en zijn bijgevolg aan te raden om de zaak te optimaliseren.

Tenslotte wensen we nog aan te geven dat stedelijk klimaat niet altijd compatibel is met effecten van vegetatie op de luchtkwaliteit. In recent werk (Vos, P. et al, 2012) is aangetoond dat het inplanten van bomen in drukke street canyons nefast kan zijn voor de luchtkwaliteit doordat de ventilatie sterk gehinderd wordt (Figuur 217). Het aanplanten van bomen voor de reductie van hittestress geschiedt met andere woorden beter in locaties waar geen sterke emissiebronnen aanwezig zijn : voetgangers zones, parkeerterreinen, pleinen. In straten met sterke emissiebronnen kan men beter gevelgroen aanbrengen of verhardingen wegnemen. Recente studies lijken te suggeren dat gevelgroen potentieel interessant kan zijn voor verbeteren van de luchtkwaliteit, hoewel hierrond nog heel veel vraagtekens en onzekerheid heerst.



Figuur 217 : Effect van vegetatie in streetcanyons : verhoging van de elementaire koolstof (de meest schadelijke component van fijn stof) concentraties door een reductie van de windsnelheid en hindering van ventilatie.

Koeling kan vervolgens ook bekomen worden door verdamping, bvb. door aanleggen van een vijvertje. Toparlar, (2012) stelde op basis van een CFD studie voor een heel hete dag een reductie van 1.4 – 2.0°C vast van de luchttemperatuur rond een waterpartij op een binnenkoer (schets hieronder) :



Figuur 218 : Schets van een waterpartij op een binnenkoer gesimuleerd in een Computation Fluid Dynamics (CFD) model voor een heel hete dag voor een case studie in Rotterdam. Bron: Y. Toparlar, TU/Eindhoven.

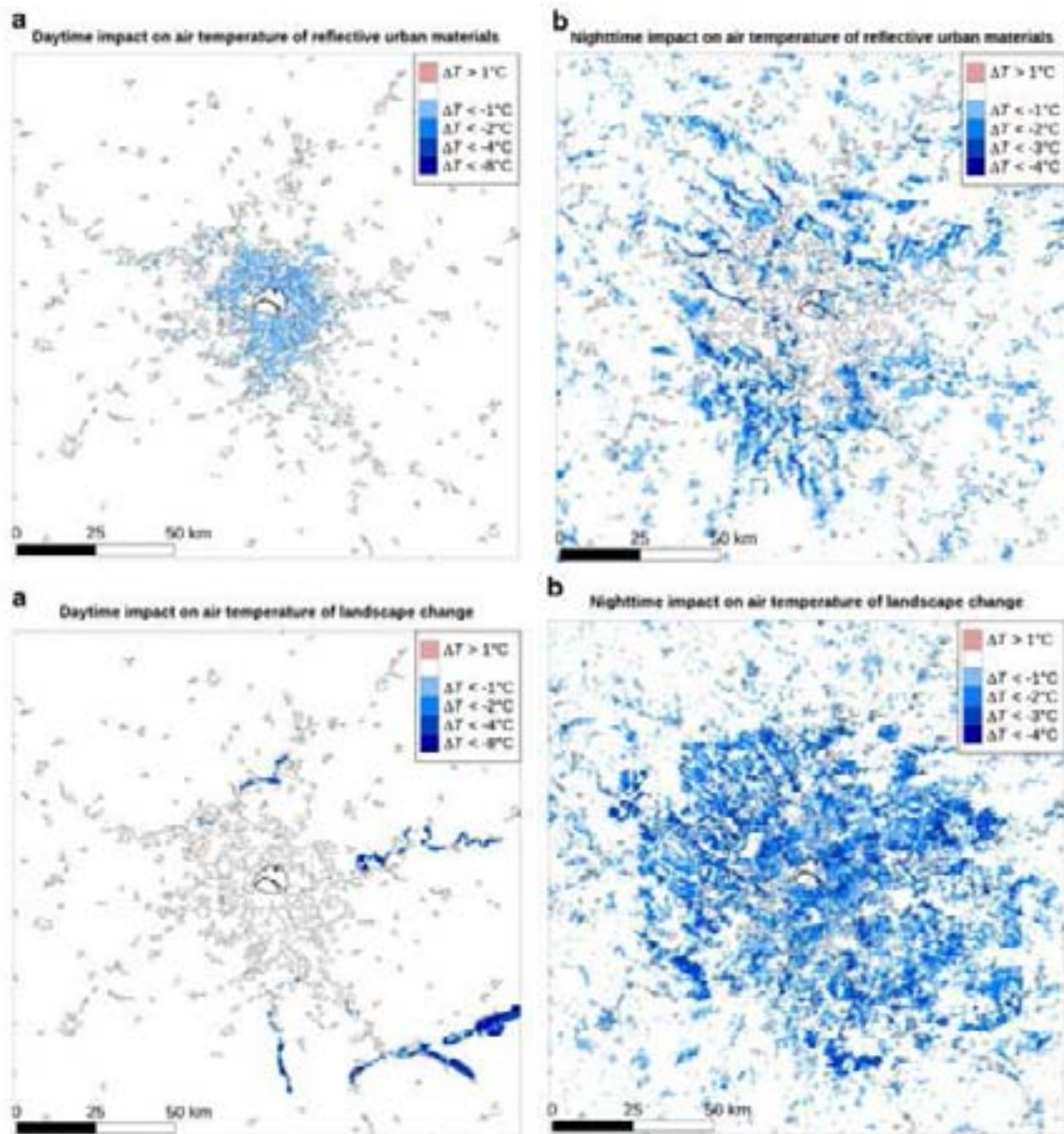
Wong & Chong, (2010), stelden vast dat vernevelaars de luchttemperatuur kunnen verlagen met een vergelijkbare hoeveelheid, met name ~ 1.5 °C. Ze stelden ook door enquête een betere reductie van hittestress vast bij het gebruik van *misting fans* t.o.v. zogeheten *misting lines* (resp. Figuur 219 links en rechts). De achterliggende reden hiervoor is de verhoogde windsnelheid door de actieve ventilatie, waardoor meer verdamping optreedt. Een belangrijk nadeel van dergelijke technieken is echter dat men een duidelijke toename van het aantal bacteriën en schimmels vaststelde door de verhoogde vochtigheid. We dienen er wel bij te vertellen dat deze studie in een heet en vochtig klimaat plaatsvond.



Figuur 219 : Enkele fotos van de meetopstelling uit Wong & Chong (2010).

Als slot is het nog even interessant om stil te staan bij een heel uitgebreide studie, uitgevoerd over Parijs (Masson et al, 2012), waar 10 teams van onderzoekers en stedenbouwkundige experts een set richtlijnen formuleerden voor klimaat adaptie in Parijs. Enerzijds geven de auteurs aan dat het effect van groendaken op de luchttemperatuur nog niet echt wetenschappelijk bewezen is, wat de moeilijkheid nogmaals onderstreept om de effecten van dergelijke maatregelen te kwantificeren en wetenschappelijk robuust te maken. In hun adaptatie plan “Grand Paris” stellen de onderzoekers voor om landschaps veranderingen te combineren met meer reflectieve coatings voor de gebouwen. Voor wat betreft de landschaps veranderingen gaat het ondermeer om de aanleg van 1400 km² bosgebied en 300 km² water oppervlak rondom de stad en voor wat betreft de reflectieve coatings ging men uit van witte daken die 80 % van het zonlicht reflecteren ipv 15 %, en lichter gekleurde wegen : 45 % ipv 25 % reflectie voor de muren en 30 % ipv 8 % reflectie voor de wegen. Die coatings werden in de simulaties aangebracht in de voorsteden rond het historisch centrum van Parijs. We kunnen stellen dat beide set maatregelen van heel extensieve aard zijn. Hierdoor verwacht men het lucht-SHE in Parijs te reduceren met 2-3 °C.

Interessant zijn onderstaande figuren die resultaat zijn van de studie. Die tonen aan dat het aanbrengen van reflectieve coatings op zich meer effect heeft op de luchttemperatuur overdag dan de uitgebreide vergroenende maatregelen in de rand van de stad, die overdag weinig verschil opleveren. Wel is het zo dat die uitgebreide vergroenende maatregelen in de rand van de stad ‘s nachts ook voor een reductie van de luchttemperatuur zorgen in het centrum (met 1-2 °C), hoewel daar lokaal geen vergroenende maatregelen waren geïmplementeerd. De onderzoekers schrijven dit toe aan het zogeheten *city-breeze* effect. Door de warme temperaturen gaat de lucht boven het centrum van de stad stijgen, waardoor de koelere lucht wordt aangezogen uit de rand. Meer details in Masson et al, (2012).



Figuur 220 : Effect van enkel extensieve maatregelen door gerekend in het kader van een klimaatsadaptatie studie voor Parijs. Bron: Masson et al, 2012. Bovenaan zien we het effect op de luchttemperatuur overdag (links) en 's nachts (rechts) van het aanbrengen van reflectieve coatings op daken, muren en straten. Onderaan, eveneens links voor overdag en rechts voor 's nachts het effect op de luchttemperatuur van enkele vergroenende en "verblauwende" landschap ingrepen zoals het inplanten van 1400 km² bosgebied en 300 km² wateroppervlak rond Parijs.