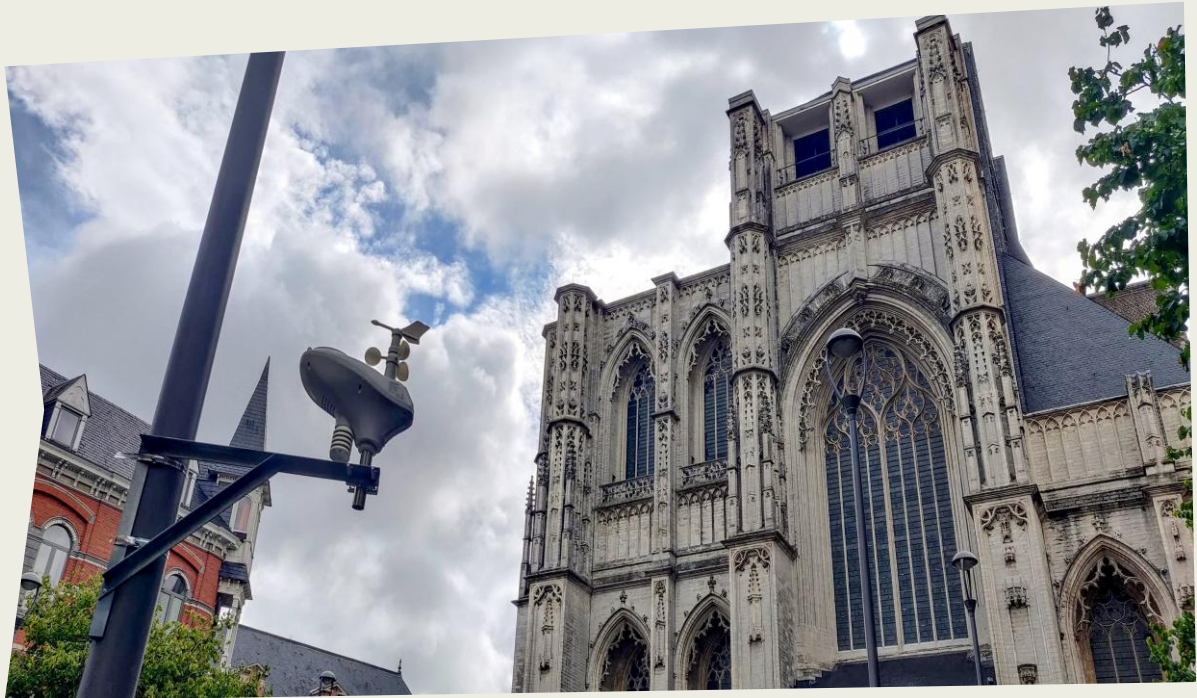


STEDELIJKE BOSSEN OF STEDELIJKE SAVANNES? SLIMME VERKOELING AFGESTEMD OP TIJD EN PLAATS

18 DECEMBER 2024 door Eva Beele, Raf Aerts, Maarten Reyniers, Ben Somers



Hoge temperaturen in steden vormen een aanzienlijk gezondheidsrisico. Mensen die aan extreme hitte worden blootgesteld, kunnen hittestress ervaren, wat kan leiden tot vermoeidheid, slaapproblemen en zelfs hart- en vaatziekten (De Troeyer et al., 2020; lungman et al., 2023). Door de klimaatverandering zullen we te maken krijgen met hogere gemiddelde temperaturen, met ook vaker voorkomende en intensere hittegolven tot gevolg (IPCC, 2023). Vooral in steden is dit problematisch, omdat de temperaturen daar door het hitte-eilandeffect vaak hoger zijn dan op het platteland. In België heeft de zomer van 2022 bijvoorbeeld geleid tot 2291 extra overlijdens door overmatige hitte (Sciensano, 2022). Deze ernstige gevolgen zien we vooral bij kwetsbare groepen, waaronder kinderen, ouderen (Demoury et al., 2022), mensen met fysieke of mentale aandoeningen (Ebi et al., 2021; Liu et al., 2022), en mensen uit sociaaleconomisch kwetsbare omgevingen (Rocha et al., 2024).

Stedelijke groene ruimtes worden vaak gepromoot als een natuurlijke oplossing om de temperatuur te verlagen door middel van evapotranspiratie en schaduw (Gillerot et al., 2024; Wong et al., 2021). Toch ontbreken duidelijke beleidsrichtlijnen over welk type, welke hoeveelheid en welke spreiding van stedelijk groen het meest effectief zijn om temperaturen binnen de stad te verlagen. Daarnaast is het onduidelijk of deze verkoelende strategieën moeten worden aangepast op basis van de specifieke

locatie in de stad en/of het tijdstip van de dag (Bartesaghi Koc et al., 2018). Deze vragen onderzochten we in een studie in Leuven gedurende de zomer van 2022, waarbij we luchttemperatuurmetingen koppelden aan gedetailleerde gegevens over landgebruik op verschillende ruimtelijke en temporele schalen.

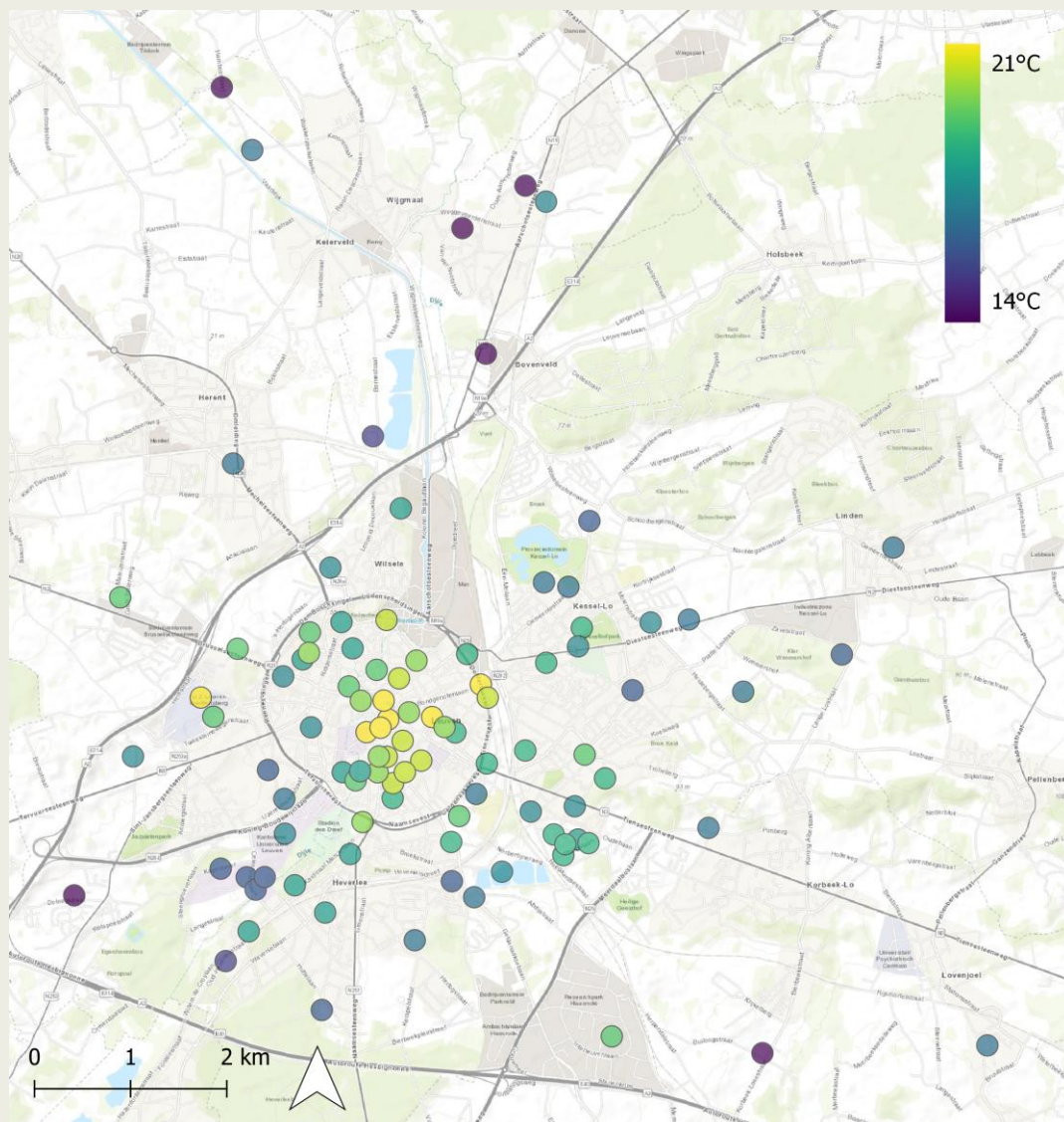


Figuur 1: Voorbeeld van een Leuven.cool weerstation geïnstalleerd in de Naamsestraat, Leuven. Het weerstation meet luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, windrichting, windsnelheid, neerslag, radiatie en UV (credit: Maarten Reyniers).

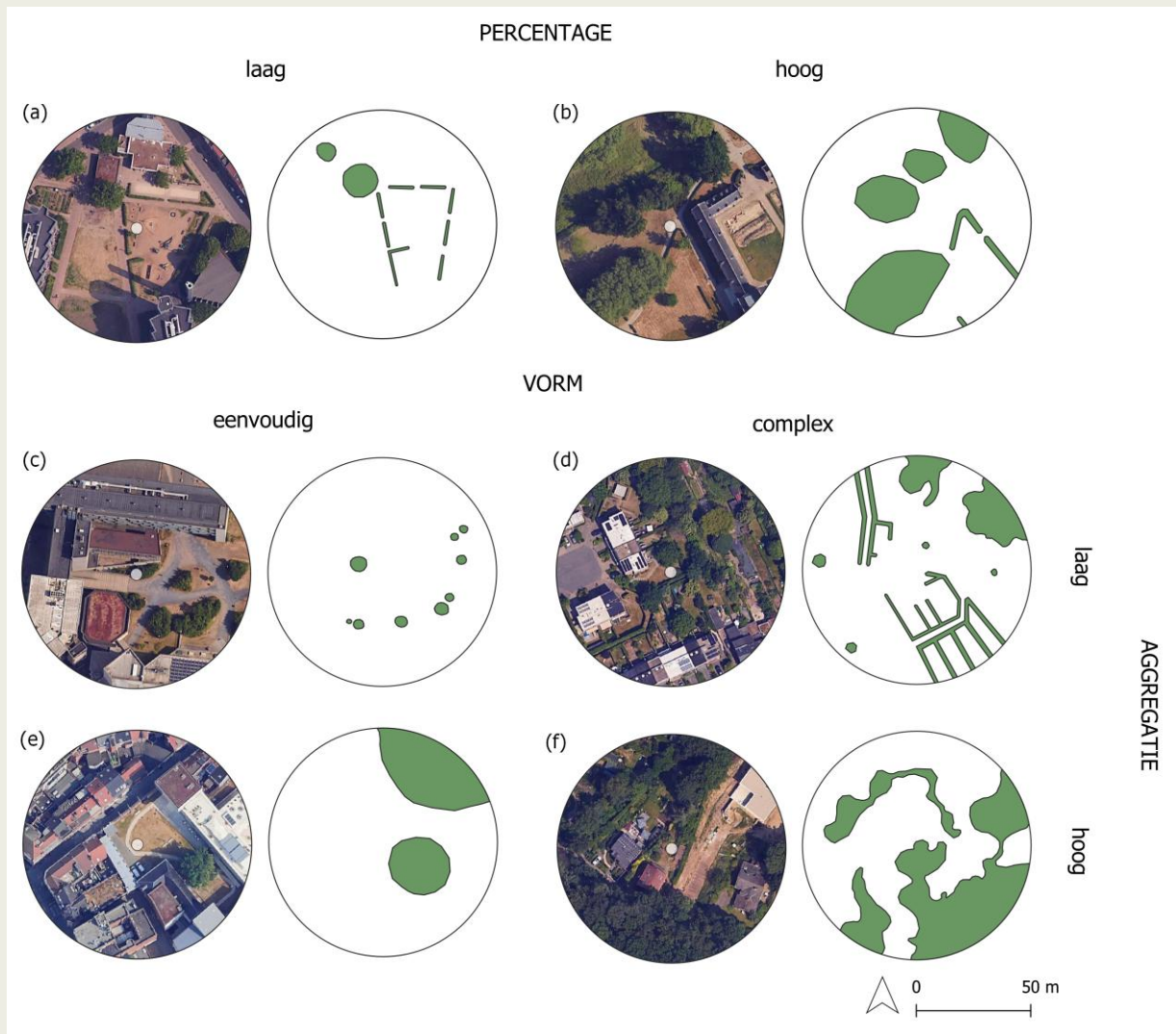
BURGERWETENSCHAP EN FIJNMAZIGE KLIMAATGEGEVENS:

LEUVEN.COOL IN ACTIE

Vanaf de zomer van 2019 zijn we gestart met de uitbouw van een citizen science (burgerwetenschap) netwerk van weerstations in en rond Leuven, genaamd Leuven.cool (Figuur 1). Deze weerstations werden geplaatst in zowel private tuinen als op het openbaar domein. Dit netwerk, bestaande uit een 100-tal weerstations, maakt het mogelijk om weerparameters te meten met zowel een hoge ruimtelijke (op verschillende locaties) als temporele (een waarneming om de vijf minuten) resolutie (Beele et al., 2022b). De temperatuurdata ondergingen een kwaliteitscontrole en correctie die gericht was op het minimaliseren van kalibratieproblemen, ontwerpfouten van het weerstation, en communicatie- en softwarefouten, die vaak inherent zijn aan dit soort data (Beele et al., 2022a). De gecorrigeerde gegevens maken het mogelijk om dag- en nachttemperaturen en temperatuurverschillen binnen Leuven nauwkeurig in kaart te brengen. Zo zien we 's nachts bijvoorbeeld een gemiddeld temperatuurverschil tot 7°C tussen het centrum van Leuven en deelgemeenten Heverlee of Wijkmaal (Figuur 2). Landbedekkingsdata werden verzameld in buffers (50 m en 250 m) rond elk weerstation op basis van veldinventarisaties en bestaande landbedekkingskaarten. In deze studie lag de focus op bomen versus grassen en struiken. We berekenden het percentage, de aggregatie en vormcomplexiteit van elk type binnen de vooropgestelde bufferzones. Voorbeelden van deze metrieken worden geïllustreerd in Figuur 3.



Figuur 2: De gemiddelde luchttemperatuur 's nachts gemeten door de Leuven.cool weerstation gedurende de periode 8-14 augustus 2022. We zien een temperatuurverschil van 7°C tussen het centrum van Leuven en de omliggende deelgemeenten Heverlee en Wijkmaal, maar ook binnen de stadsring zien we duidelijke temperatuurverschillen.

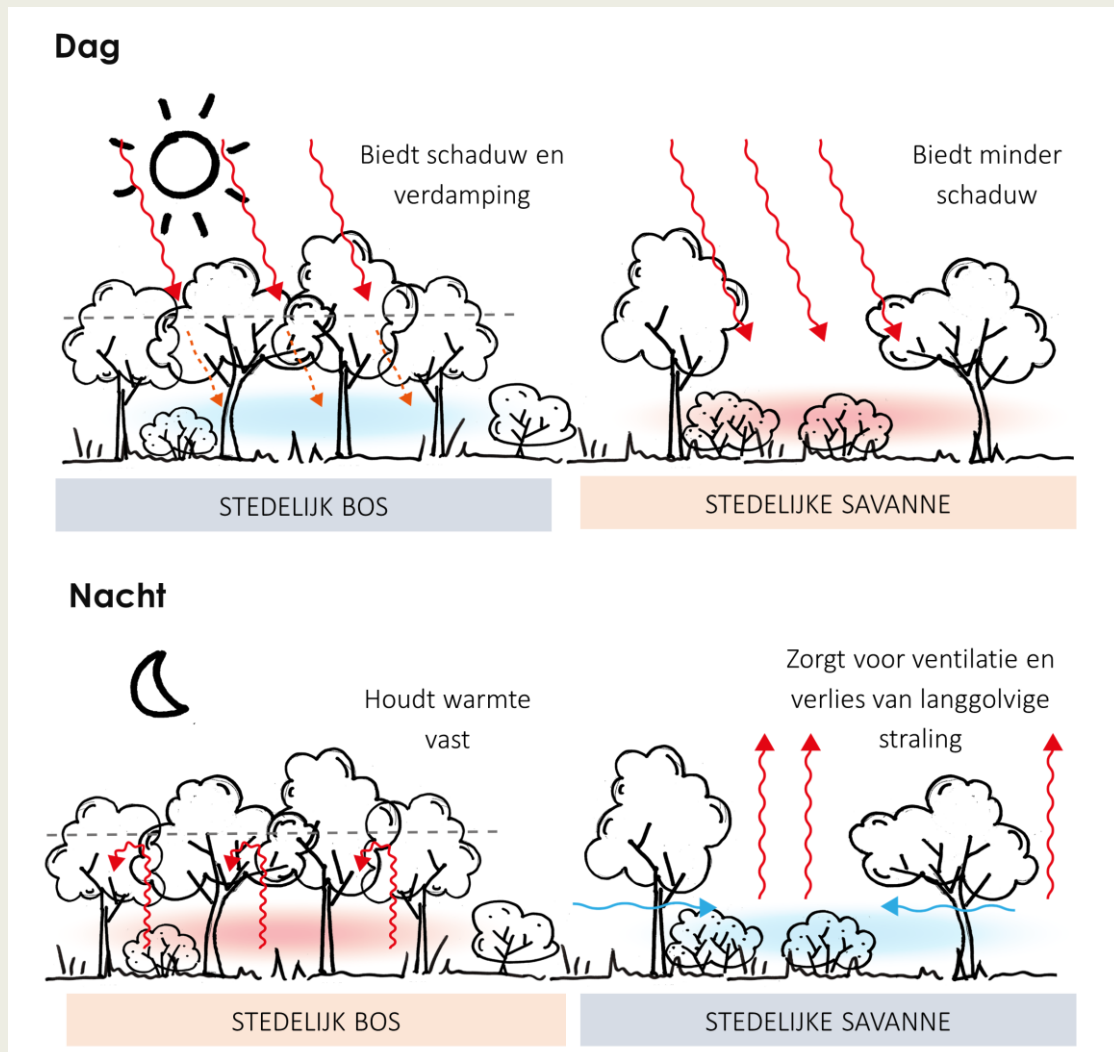


Figuur 3: Praktijkvoorbeelden en conceptuele vormen ter illustratie van verschillende waarden voor de landschapsmetrieken die in deze studie gebruikt werden. In de bovenste rij figuren wordt een laag percentage boombedekking (a) afgezet tegen een hoog percentage (b). In de middelste en onderste rij worden verschillen in vorm en aggregatie geïllustreerd. De vorm is telkens eenvoudig in de linkerkolom (c + e), en complex in de rechterkolom (d + f). De mate van aggregatie daarentegen is laag in de middelste rij (c + d), en hoog in de onderste rij (e + f).

VERKOELING GEDURENDE DE DAG VERSUS NACHT

Uit de resultaten blijkt dat bomen voornamelijk overdag verkoeling bieden door schaduw en verdamping. Bomen kunnen de inkomende zonnestraling opvangen en zo schaduw bieden aan de onderliggende oppervlaktes. Verder verdampen ze ook water via de huidmondjes van hun bladeren; hiervoor gebruiken ze energie uit de omgeving en bijgevolg zal de luchttemperatuur dalen. Een hoge aggregatie van bomen zal de koeling verder bevorderen. Dit soort systeem kan beschreven worden als een stedelijk bos, met een hoge bedekkingsgraad en dichte aggregatie van bomen. Dit verkoelend effect van stadsbossen is een gekend effect en uitvoerig beschreven in de literatuur. Een minder bekend resultaat dat uit onze studie ook naar voren kwam, is dat gedurende de nacht lage vegetatie, bestaande uit gras en struiken, efficiënter

is dan stadsbossen in het koelen van een stadsomgeving. Dit kan mogelijks verklaard worden door hun hoge reflectie- en ventilatiegraad; hierdoor wordt de warmte-opname gedurende de dag beperkt en kan de aanwezige warmte 's nachts makkelijk opnieuw ontsnappen. Dit in tegenstelling tot het stedelijk bos, waar deze warmte als het ware gevangen blijft onder het bladerdek van de bomen. Idealiter streeft men naar een stedelijk savanne systeem bestaande uit aangesloten lage vegetatie in combinatie met verspreide bomen. Deze complementaire strategieën worden geïllustreerd in Figuur 4.



Figuur 4: Overzicht van tegenstrijdige koelstrategieën gedurende de dag en nacht, waarbij stedelijke bossen (links) met een hoog percentage geclusterde bomen worden aanbevolen voor verkoeling overdag, en stedelijke savannes (rechts) met onderling verbonden graslanden en struiken, gecombineerd met losstaande bomen, worden aanbevolen voor nachtelijke verkoeling.

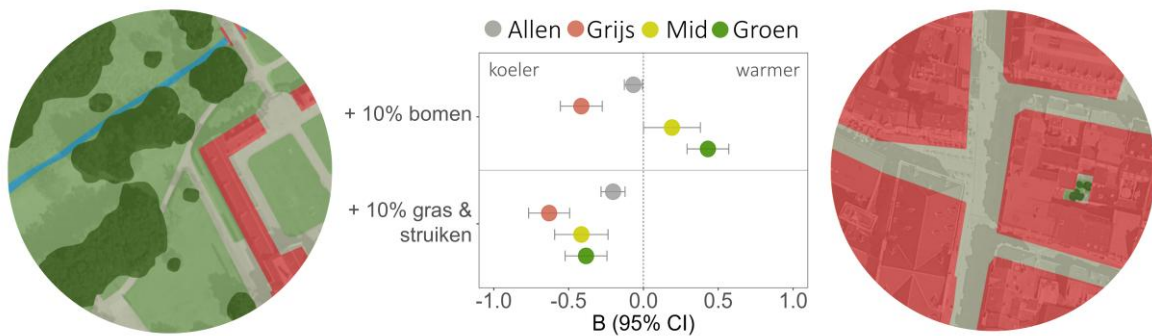
KOELSTRATEGIEËN VOOR SPECIFIEKE LOCATIES

Aangezien de resultaten voor dag en nacht verschillen, is het belangrijk om de specifieke ruimtelijk context van een locatie in rekening te brengen. Onze resultaten tonen namelijk aan dat dezelfde toename aan groen – zoals bomen en gras – niet hetzelfde verkoelend effect heeft in groene (met veel vegetatie) versus grijze (stedelijke, verharde) locaties en in open (weinig bebouwing) versus ingesloten (sterk bebouwde) locaties.

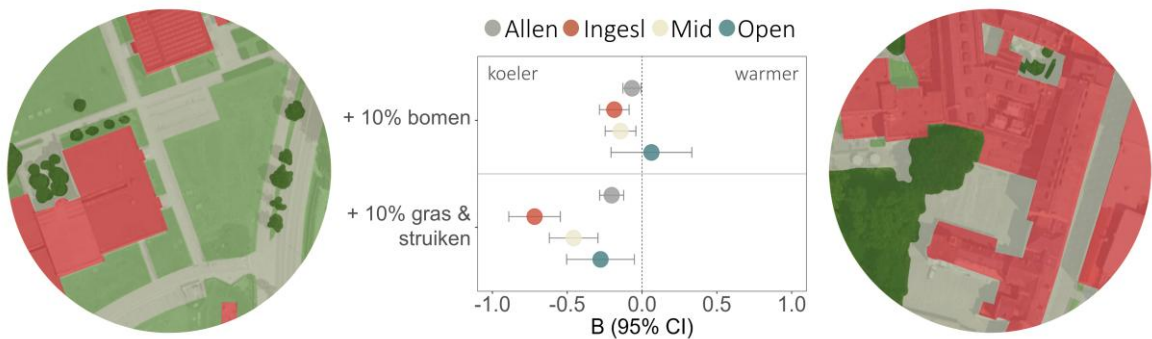
In deze studie werd de groenheid van een locatie berekend als het verschil tussen het totaal percentage groene ruimte (bomen, grassen en struiken) en het totaal percentage grijze infrastructuur (verharding en gebouwen). Grijze locaties hebben waarden lager dan -18%, terwijl groene locaties waarden hoger dan 19% hebben. De openheid werd berekend door middel van de sky view factor (of hemelzichtfactor), die aangeeft welk deel van de hemel zichtbaar is vanaf een bepaald punt op de grond. Ingesloten locaties hebben waarden lager dan 4,5, terwijl open waarden hoger dan 6 hebben.

Zo zien we bijvoorbeeld dat meer bomen en struiken de nachttemperatuur verlagen, behalve in heel groene locaties, waar extra bomen de warmte juist vasthouden. Gelijkaardige resultaten werden gevonden voor open versus ingesloten locaties: meer bomen en struiken verlagen de nachttemperatuur, behalve in heel open locaties, waar extra bomen geen significant effect vertonen. Bovendien tonen deze resultaten ook dat het toevoegen van extra bomen, struiken en gras meer verkoeling biedt in grijze ingesloten locaties ten opzichte van groene open locaties (Figuur 5). Gedurende de dag zien we dat extra bomen in open locaties bijdragen tot verkoeling terwijl dezelfde hoeveelheid extra bomen geen extra verkoeling biedt in gesloten locaties (Figuur 6).

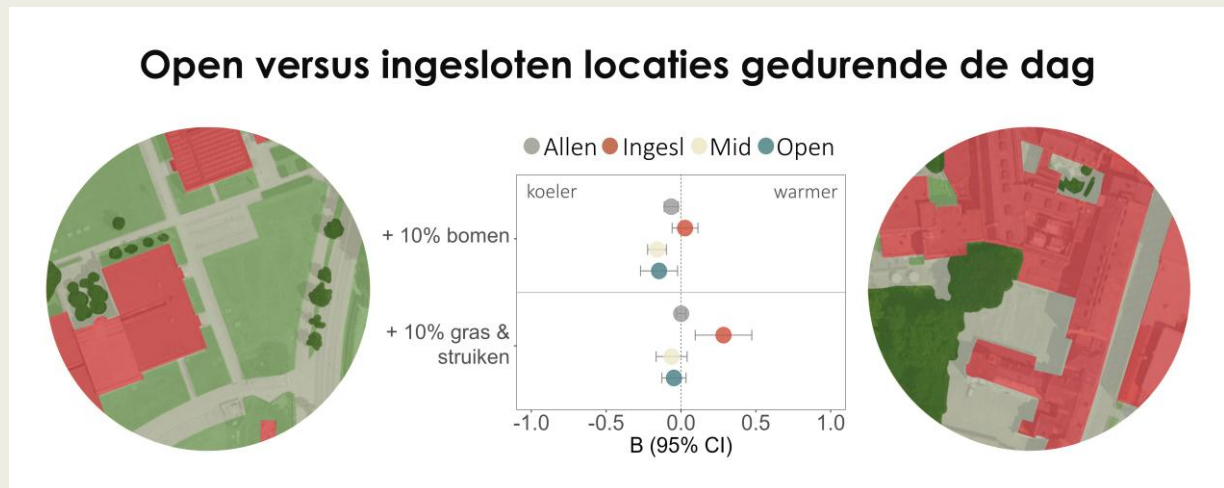
Groene versus grijze locaties gedurende de nacht



Open versus ingesloten locaties gedurende de nacht

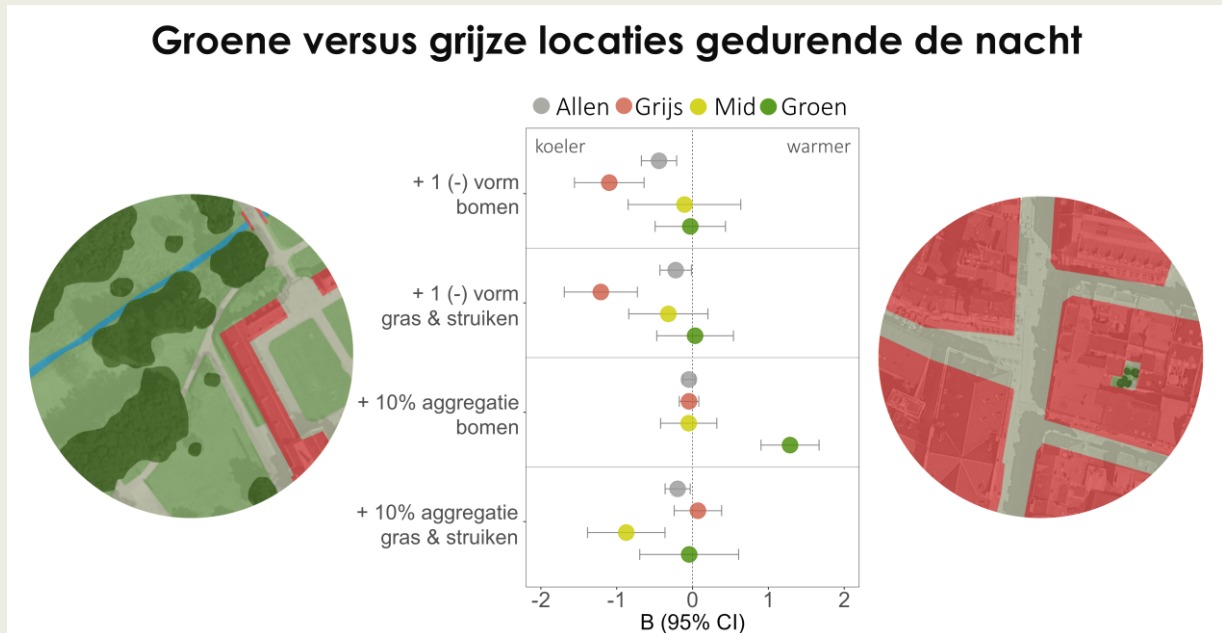


Figuur 5: Verschillende koelmechanismen voor groene versus grijze locaties (boven) en open versus ingesloten locaties (onder) gedurende de nacht. De figuur toont hoe de gemiddelde luchttemperatuur 's nachts (x -as in $^{\circ}\text{C}$) zal veranderen wanneer het percentage bomen en het percentage grassen en struiken met 10 % verhoogd wordt. De bollen duiden op de regressie coëfficiënten (B) voor de verschillende locaties (boven: grijs = alle locaties, rood = grijze locaties, geel = mediane locaties, groen = groene locaties; onder: grijs = alle locaties, rood = ingesloten locaties, wit = mediane locaties, blauw = open locaties), de lijn wijst op het 95% betrouwbaarheidsinterval (Eng: Confidence Interval (CI)). Enkel wanneer de bol en lijn zich volledig links of rechts van de 0-lijn bevinden, is het effect significant. Wanneer de bol en lijn zich links van de 0-lijn bevinden, hebben we een verkoelend effect; wanneer de bol en lijn zich rechts van de 0-lijn bevinden, hebben we een opwarmend effect.



Figuur 6: Verschillende koelmechanismen voor open versus gesloten locaties gedurende de dag. De figuur toont hoe de gemiddelde luchttemperatuur overdag zal veranderen (x-as in °C) wanneer het percentage bomen en het percentage grassen en struiken met 10 % verhoogd wordt. De bollen duiden op de regressie coëfficiënten (B) voor de verschillende locaties (grijs = alle locaties, rood = ingesloten locaties, wit = mediane locaties, blauw = open locaties), de lijn wijst op het 95% betrouwbaarheidsinterval (Eng: Confidence Interval (CI)). Enkel wanneer de bol en lijn zich volledig links of rechts van de 0-lijn bevinden, is het effect significant. Wanneer de bol en lijn zich links van de 0-lijn bevinden, hebben we een verkoelend effect; wanneer de bol en lijn zich rechts van de 0-lijn bevinden, hebben we een opwarmend effect.

Verder blijkt ook dat een complexe vorm van bomen, grassen en struiken in grijze locaties de luchttemperatuur 's nachts verlagen, terwijl een hoge aggregatie van bomen 's nachts voor extra opwarming zorgt in groene locaties (Figuur 7).



Figuur 7: Verschillende koelmechanismen voor groene versus grijze locaties gedurende de nacht. De figuur toont hoe de gemiddelde luchttemperatuur 's nachts (x -as in $^{\circ}\text{C}$) zal veranderen wanneer de vorm complexiteit en de aggregatie van bomen, grassen en struiken toeneemt met respectievelijk 1 (geen eenheid) en 10%. De bollen duiden op de regressie coëfficiënten (B) voor de verschillende locaties (grijs = alle locaties, rood = grijze locaties, geel = mediane locaties, groen = groene locaties), de lijn wijst op het 95% betrouwbaarheidsinterval (Eng: Confidence Interval (CI)). Enkel wanneer de bol en lijn zich volledig links of rechts van de 0-lijn bevinden, is het effect significant. Wanneer de bol en lijn zich links van de 0-lijn bevinden, hebben we een verkoelend effect; wanneer de bol en lijn zich rechts van de 0-lijn bevinden, hebben we een opwarmend effect.

Op basis van deze resultaten kunnen we richtlijnen opstellen rekening houdend met de omgeving en gebruiksfunctie van een locatie (bijv. recreatie, residentieel, commercieel). Deze resultaten zijn ook beschikbaar in ficevorm (zie bijlage, een vereenvoudigde weergave is geïllustreerd in Figuur 8). De fiches bevatten bijkomende informatie over hoe de groene elementen best worden vormgegeven (vormmetriek), en of ze best worden gegroepeerd of niet (aggregatiemetriek).



- **Groene locaties**, die voornamelijk overdag worden gebruikt, kunnen het best behouden blijven als stedelijke bossen, met bomen die dicht op elkaar staan voor maximale verkoeling door schaduw en verdamping.
- **Ingesloten grijze locaties**, die vaak zowel overdag als 's nachts worden gebruikt, worden idealiter ingericht als stedelijke savannes, met onderling verbonden graslanden en struiken, afgewisseld met vrijstaande bomen. Dit soort systemen kunnen als groene gordels doorheen de stad fungeren en zorgen overdag voor schaduw, terwijl ze 's nachts maximale afkoeling bieden door ventilatie. Door de kruinen van bomen bewust uit elkaar te houden,



creëren we ruimte voor ventilatie en kan langegolfstraling 's nachts makkelijk ontsnappen. Een mix van verschillende boomsoorten met variërende kroonvormen kan vergelijkbare effecten opleveren.

- **Voor open locaties** streven we best naar een mix van stedelijke bossen en stedelijke savannes door de bedekking van stedelijk groen te maximaliseren. Het is ook belangrijk om de verticale structuur te versterken door zowel de bedekking als de clustering van bomen en lage vegetatie uit te breiden.

STEDEN VERGROENEN VOOR THERMISCH COMFORT

Case A: Verbeteren van bestaande groene ruimtes

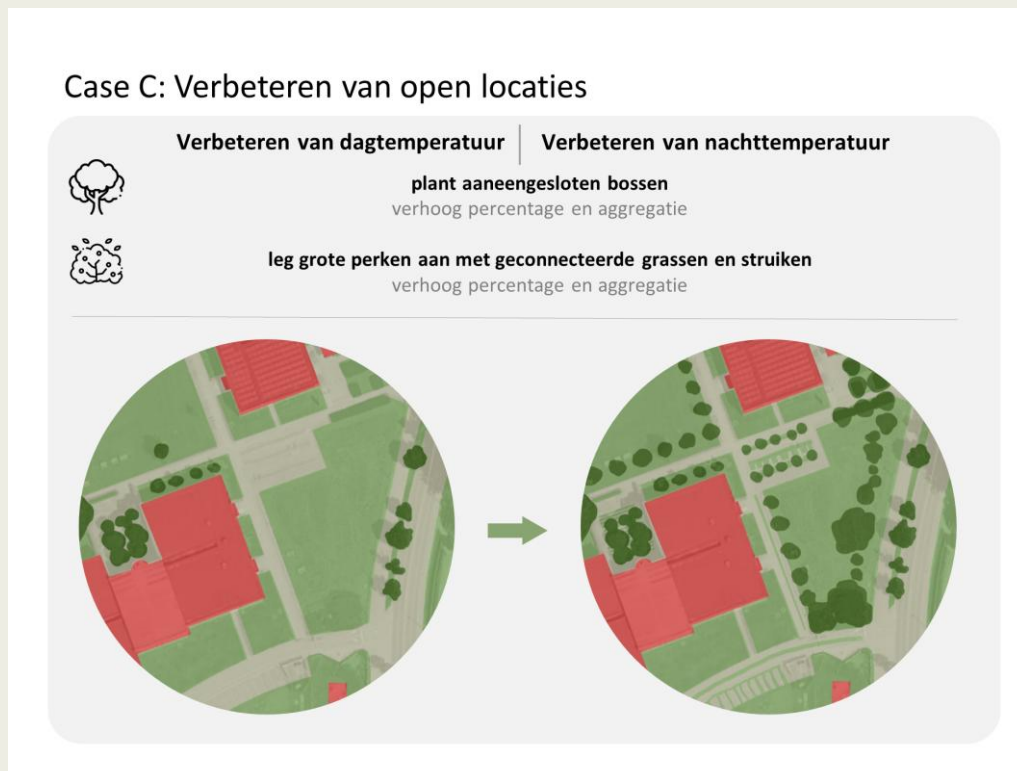
 	<p>Verbeteren van dagtemperatuur</p> <p>plant aangesloten bossen verhoog percentage en aggregatie</p> <p>plant grote perken met aangesloten grassen en struiken verhoog percentage en aggregatie, verminder vorm complexiteit</p>	<p>Verbeteren van nachttemperatuur</p> <p>plant solitaire bomen verminder percentage en aggregatie</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------


→


Case B: Aanleg van nieuwe groene ruimtes

 	<p>Verbeteren van dagtemperatuur</p> <p>plant gefragmenteerde, lijnvormige of complex gevormde (groepen van) bomen verhoog percentage en vorm complexiteit, verminder aggregatie</p> <p>verkiez bomen boven lage vegetatie verminder percentage</p>	<p>Verbeteren van nachttemperatuur</p> <p>plant geconnecteerde grassen en struiken verhoog percentage, aggregatie en vorm complexiteit</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------


→

Figuur 8: Schematisch overzicht van planningsstrategieën om hoge temperaturen zowel overdag als 's nachts te verlagen. De strategieën werden opgesplitst voor verschillende locaties in de stad: Case A voor groene locaties, Case B voor grijze ingesloten locaties en Case C voor open locaties. Linker cirkel: oorspronkelijke landschapsbedekking, vorm en aggregatie; rechter cirkel: verbeterde landschapsbedekking, vorm en aggregatie.

Verkoeling van steden is een complexe materie die nog lang niet helemaal is begrepen. Uit onze studie blijkt dat de effectiviteit van stedelijk groen in het verkoelen van de omgeving sterk afhangt van het type groen en de ruimtelijke context. Overdag blijken stedelijke bossen met dicht op elkaar staande bomen het meest geschikt om verkoeling te bieden door schaduw en verdamping. 's Nachts zijn stedelijke savannes bestaande uit een mix van graslanden, struiken en verspreide bomen effectiever doordat ze warmte snel kunnen afvoeren. De keuze voor een geschikte strategie moet daarom afgestemd worden op de specifieke eigenschappen en gebruiksfuncties van de locatie. Een combinatie van stedelijke bossen en savannes, met aandacht voor de juiste verdeling en diversiteit aan vegetatie, biedt de beste kans om verkoeling te maximaliseren in onze steeds warmer wordende steden.

Dit artikel is gebaseerd op Beele et al. (2024).

Copyright foto's en afbeeldingen: Maarten Reyniers voor coverfoto en figuur 1, overige Eva Beele

Gelieve als volgt te citeren:

Eva Beele, Raf Aerts, Maarten Reyniers, Ben Somers (2024) Stedelijke bossen of stedelijke savannes? Slimme verkoeling afgestemd op tijd en plaats. *Bosrevue 118a*.

ISSN 2565-6953 – Bosrevue 118a

REFERENTIES

Bartesaghi Koc, C., Osmond, P., & Peters, A. (2018). Evaluating the cooling effects of green infrastructure: A systematic review of methods, indicators and data sources. *Solar Energy*, 166, 486–508. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.008>

Beele, E., Aerts, R., Reyniers, M., & Somers, B. (2024). Spatial configuration of green space matters: Associations between urban land cover and air temperature. *Landscape and Urban Planning*, 249, 105121. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105121>

Beele, E., Reyniers, M., Aerts, R., & Somers, B. (2022a). Quality control and correction method for air temperature data from a citizen science weather station network in Leuven, Belgium. *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 4681–4717. <https://doi.org/https://essd.copernicus.org/articles/14/4681/2022/>

Beele, E., Reyniers, M., Aerts, R., & Somers, B. (2022b). *Replication Data for: Quality control and correction method for air temperature data from a citizen science weather station network in Leuven, Belgium* (version 5). RDE. <https://doi.org/https://doi.org/10.48804/SSRN3F>

De Troeyer, K., Bauwelinck, M., Aerts, R., Profer, D., Berckmans, J., Delcloo, A., Hamdi, R., Van Schaeybroeck, B., Hooyberghs, H., Lauwaet, D., Demoury, C., & Van Nieuwenhuysse, A. (2020). Heat related mortality in the two largest Belgian urban areas: A time series analysis. *Environmental Research*, 188, 109848. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109848>

Demoury, C., Aerts, R., Vandeninden, B., Van Schaeybroeck, B., & De Clercq, E. M. (2022). Impact of Short-Term Exposure to Extreme Temperatures on Mortality: A Multi-City Study in Belgium. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 3763. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073763>

Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R. S., Ma, W., Malik, A., Morris, N. B., Nybo, L., Seneviratne, S. I., Vanos, J., & Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet*, 398(10301), 698–708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)

Gillerot, L., Landuyt, D., De Frenne, P., Muys, B., & Verheyen, K. (2024). Urban tree canopies drive human heat stress mitigation. *Urban Forestry & Urban Greening*, 92, 128192. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128192>

IPCC. (2023). *Summary for Policymakers* (P. Arias, M. Bustamante, I. Elgizouli, G. Flato, M. Howden, C. Méndez-Vallejo, J. J. Pereira, R. Pichs-Madruga, S. K. Rose, Y. Saheb, R. Sánchez Rodríguez, D. Ürge-Vorsatz, C. Xiao, N. Yassaa, J. Romero, J. Kim, E. F. Haites, Y. Jung, R. Stavins, ... C. Péan (eds.)). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

lungman, T., Cirach, M., Marando, F., Pereira Barboza, E., Khomenko, S., Masselot, P., Quijal-Zamorano, M., Mueller, N., Gasparrini, A., Urquiza, J., Heris, M., Thondoo, M., & Nieuwenhuijsen, M. (2023). Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities. *The Lancet*, 401(10376), 577–589. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)02585-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02585-5)

Liu, J., Varghese, B. M., Hansen, A., Zhang, Y., Driscoll, T., Morgan, G., Dear, K., Gourley, M., Capon, A., & Bi, P. (2022). Heat exposure and cardiovascular health outcomes: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 6(6), e484–e495. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00117-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00117-6)

Rocha, A. D., Vulova, S., Förster, M., Gioli, B., Matthews, B., Helfter, C., Meier, F., Steeneveld, G.-J., Barlow, J. F., Järvi, L., Chrysoulakis, N., Nicolini, G., & Kleinschmit, B. (2024). Unprivileged groups are less served by green cooling services in major European urban areas. *Nature Cities*, 1, 424–435. <https://doi.org/10.1038/s44284-024-00077-x>

Sciensano. (2022). *(Over)sterfte in de zomer van 2022*. Sciensano. <https://www.sciensano.be/nl/pershoek/oversterfte-de-zomer-van-2022>

Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D. D., & Takebayashi, H. (2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2, 166–181. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>