

TKI project Eco-System-Stad



Rapportage meteo en infraroodmetingen
Alphen aan den Rijn 2023

Colofon

Titel: Rapportage infraroodmetingen Alphen aan den Rijn 2023.

Datum: 3 september 2024

Auteurs:

Shannen Dill - Wageningen University & Research - shannen.dill@wur.nl

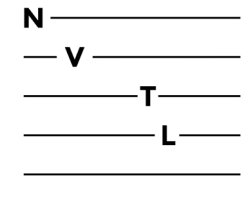
Roy Molenaar - Wageningen University & Research - roy.molenaar@wur.nl

Fotografie & graphics: Shannen Dill & Roy Molenaar - Wageningen University & Research

Vormgeving: Viola Bennink - Wageningen University & Research

Volg het project op:

www.ecosysteemstad.nl





Inhoud

Inleiding	4
TKI project Eco-Systeem-Stad (2021-2024)	4
De rol van groen in de stad	4
Waarom meten?	4
Onderzoeksvragen	5
Onderzoeklocaties	5
Methodiek	8
Warmte vastleggen met thermografie	8
Weerstations	10
Bodenvochtsensoren	10
Resultaten	11
Resultaten meteo 2023	11
Resultaten warmtebeelden 2023	11
Discussie en conclusies	18
Meetomstandigheden	18
Invloed van emissiviteit en reflectie	18
Invloed materialen op stedelijke hitte	18
Vegetatie voor het reduceren van stedelijke hitte	18
Opvallende en interessante observaties tijdens de eerste metingen	19
Bronnen	20
Bijlage	
Infraroodtracés	

Inleiding

TKI project Eco-Systeem-Stad (2021-2024)

Het klimaat verandert en weersextremen nemen toe. Hevige regenbuien komen steeds vaker voor, afgewisseld met steeds warmere en langere droge perioden in het voorjaar en de zomer. Het is van belang kennis en oplossingen te genereren voor de problemen omtrent droogte en hitte in de stad. Om aan de hitte het hoofd te bieden is er steeds meer behoefte aan functioneel groen voor schaduw en verkoeling. Echter heeft dat stedelijk groen in het groeiseizoen behoefte aan (extra) water terwijl water op dat moment juist schaars kan zijn.

Het TKI project Eco-Systeem-Stad richt zich op de vraag hoe er een balans gecreëerd kan worden in de waterbehoefte van functioneel groen en de beschikbaarheid van water in een klimaatbestendige en natuurinclusieve stad. Hierbij houden we rekening met de geografie van de ondergrond, specifieke soorteigenschappen gerelateerd aan droogteresistentie en wegen we kosten en baten van passende en effectieve (technologische) oplossingen zorgvuldig af.

In Eco-Systeem-Stad onderzoeken we in verschillende steden wat meer groen in de stad ons oplevert. Zoals de toename van biodiversiteit-meer soorten planten en dieren- op de verschillende locaties, verminderde afvoer van regen en waterverbruik, reductie van hittestress en duurzaamheid van de gebruikte materialen bij aanleg en onderhoud. Hiermee ontstaat er een totaalbeeld van het resultaat van vergroening in de stad.

Dit onderzoek is gestart als onderdeel in het TKI Eco-Systeem-Stad project in 2023-2024, maar vindt plaats gedurende de periode 2023-2032 in samenwerking met de gemeente Alphen aan den Rijn, de Koninklijke Ginkel Groep, Wageningen Environmental Research en het Nature-Based Solutions Institute.

De rol van groen in de stad

In 2022 is het stadscentrum van Alphen aan den Rijn flink vergroend. Projecten zoals op het Stadhuisplein dragen bij aan het aantrekkelijker maken van de gemeente, al zijn er veel meer redenen om te vergroenen. Meer bomen en ander groen dragen bij aan een beter stadsklimaat, bijvoorbeeld door schaduw en verdampingskoeling.

Vegetatie wordt steeds vaker ingezet om stedelijke hitte te reduceren. Maar hoeveel helpt dat nu eigenlijk? En hoeveel maakt het uit wat voor soort vegetatie er wordt gebruikt en de kwaliteit van het groen? In Alphen aan den Rijn wordt het verkoelende effect van groen onderzocht op een drietal locaties. Er zijn weerstations geplaatst, bodemvochtsensoren geïnstalleerd en infraroodmetingen uitgevoerd. Daarmee monitoren het verkoelende effect van groen in de stad.

Waarom meten?

Om te mate van verkoeling te bepalen moeten we eerst een beter inzicht krijgen in het lokale klimaat (microklimaat) op de drie locaties. Het plaatselijk klimaat wordt bepaald door de windsnelheid, invloed van straling, luchtvochtigheid en luchttemperatuur. Deze parameters worden vervolgens ook gebruikt om de gevoelstemperatuur te bepalen. De gevoelstemperatuur is een indicator hoe mensen de temperatuur op die plek daadwerkelijk ervaren.

Naast de genoemde meteorologische variabelen meten we ook het bodemvochtgehalte bij de beplanting en de bomen op verschillende dieptes. Zo houden we in de gaten of het groen ook voldoende water beschikbaar heeft in de zomer om te verdampen en de stad te kunnen verkoelen.

De omgeving rondom de onderzoeklocaties zal ook worden vastgelegd met behulp van infraroodbeelden. Met deze techniek krijgen we een beter beeld van de oppervlaktetemperaturen van verschillende materialen en objecten zoals bestrating, gebouwen en vegetatie. Hierdoor krijgen we een beter beeld van de invloed van de schaduwvorming van bomen, maar zien we ook welke materialen warmer zijn en meer warmte uitstralen.

Onderzoeksvragen

Met de metingen willen we uiteindelijk de volgende onderzoeksvragen beantwoorden:

- Wat is het verschil in gevoelstemperatuur tussen groene plekken in de stad in vergelijking met een versteende situatie?
- In welke mate draagt groen bij aan stedelijke verkoeling tijdens warme zomerdagen?
- In welke mate verandert de mate van koeling met de groei van de nieuwe vegetatie op het Stadhuisplein in tien jaar tijd?

Onderzoeklocaties

De onderzoeklocaties zijn onderverdeeld over twee pleinen in het stadshart van Alphen aan den Rijn, zie Figuur 1. Hierbij is gekozen voor twee groene plekken en een versteende locatie waar weinig groen aanwezig is. Aan het Stadhuisplein liggen de twee groene locaties. De eerste locatie is de nieuw aangelegde biodiverse groenstrook (A) langs de glazen gevel van het stadhuis, zie Figuur 2A. Deze groenstrook is voorzien van irrigatie waardoor de groeireductie door gebrek aan water wordt beperkt en het tijdens warme zomerdagen mogelijk meer kan verdampen en daarmee ook meer kan verkoelen.

Op het Stadhuisplein staan ook twee volwassen rode beuken, zie Figuur 2B. Deze grote bomen bieden veel schaduw. De standplaats van de bomen ligt hoger dan de omliggende bestrating waardoor er geen water afstroomt richting de boomspiegel. Op beide locaties op het Stadhuisplein zijn naast weerstations zijn ook bodemvochtsensoren geplaatst, zodat de vochttoestand en temperatuur in de bodem gemonitord kan worden.

Op de 'versteende locatie' op het Rijnplein zijn meerdere terrassen waar mensen zich vaak voor een langere tijd bevinden, zie Figuur 2C. Deze locatie is bijna volledig versteend en geeft daarom een goede kijk op hoe de gevoelstemperatuur zich in een sterk bebouwd

gebied gedraagt in vergelijking met de groenere locaties. Daarnaast is deze locatie gelegen langs de Oud Rijn waarvan het water mogelijk ook een effect kan hebben op het verloop van de temperatuur.



Figuur 1. Locaties van de meetstations in het stadshart van Alphen aan den Rijn (achtergrondkaart PDOK).



Figuur 2. A: groenstrook, B: volwassen rode beuken, C: versteend plein.

Warmte bepalen in de stad

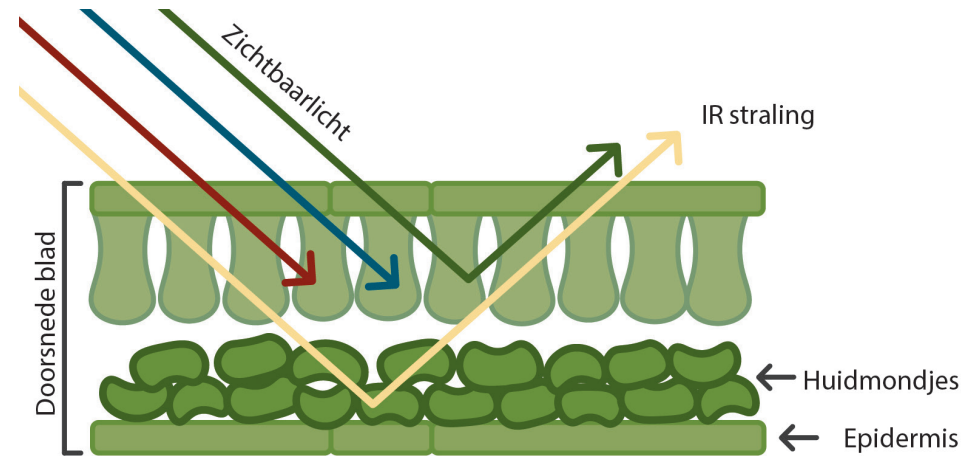
De invloed van zonnestraling

De zonnestralen die de aarde bereiken kunnen worden onderverdeeld in onder andere zichtbaar licht en infraroodstraling. Iedere soort straling heeft een andere golflengte. Het zichtbaar licht is voor mensen waarneembaar en heeft een golflengte die varieert tussen de 380 nm – 790 nm. In het spectrum van zichtbaar licht kunnen we een onderscheid maken tussen verschillende kleuren (blauw, groen, geel, oranje en rood) met ieder een eigen golflengte. Hoe wij kleuren waarnemen wordt bepaald door de reflectie. Groene planten absorberen rood en blauw licht en reflecteren groen licht, daarom ogen planten groen. Infraroodstraling is daarentegen niet zichtbaar voor het menselijk oog. Toch kunnen we wel infraroodstraling waarnemen. We voelen infraroodstraling namelijk als warmte. Infraroodstraling heeft een golflengte tussen de 780 nm en 1 mm.

Planten en licht

Planten gebruiken slechts een gedeelte van de zonnestralen voor fotosynthese. Hierbij wordt met name licht gebruikt wat zichtbaar is voor het menselijk oog met een golflengte tussen de 400 nm en 700 nm (ESA, 2013). Chlorofyl is een belangrijk pigment wat is betrokken bij fotosynthese en zorgt voor de opname van licht in het rode en blauwe spectrum. Zowel groen licht als infraroodstraling wordt grotendeels gereflecteerd, zie Figuur 3. De reflecteerde straling wordt verspreid naar de omgeving en naastgelegen planten. De mate van reflectie van het blad verschilt per plantsoort en wordt beïnvloed door onder andere leeftijd, kleur en bladstructuur (Derks, 2007). De infraroodstraling die niet wordt gereflecteerd wordt geabsorbeerd of doorgegeven naar onderliggende bladeren of de bodem.

Voor het eerste deel binnen het infraroodspectrum (780 nm – 2500 nm) heeft effect op de opwarming van bladeren (Weel, 2009). Dit wordt ook wel nabije infraroodstraling genoemd (NIR). Planten kunnen de bladtemperatuur reguleren door water te verdampen. Ook toont onderzoek van satellietbeelden aan dat gezonde planten met veel chlorofyl, meer infraroodstraling kunnen reflecteren dan ongezonde planten (NASA, 2024). Meer reflectie van het blad draagt dus bij aan een lagere bladtemperatuur. Ook kan infraroodstraling van nabije bronnen invloed hebben op de bladtemperatuur van vegetatie.



Figuur 3. Absorptie en reflectie van zichtbaar licht (rood, blauw en groen) en infraroodlicht in een blad.

De invloed van landgebruik en materialen op de temperatuur

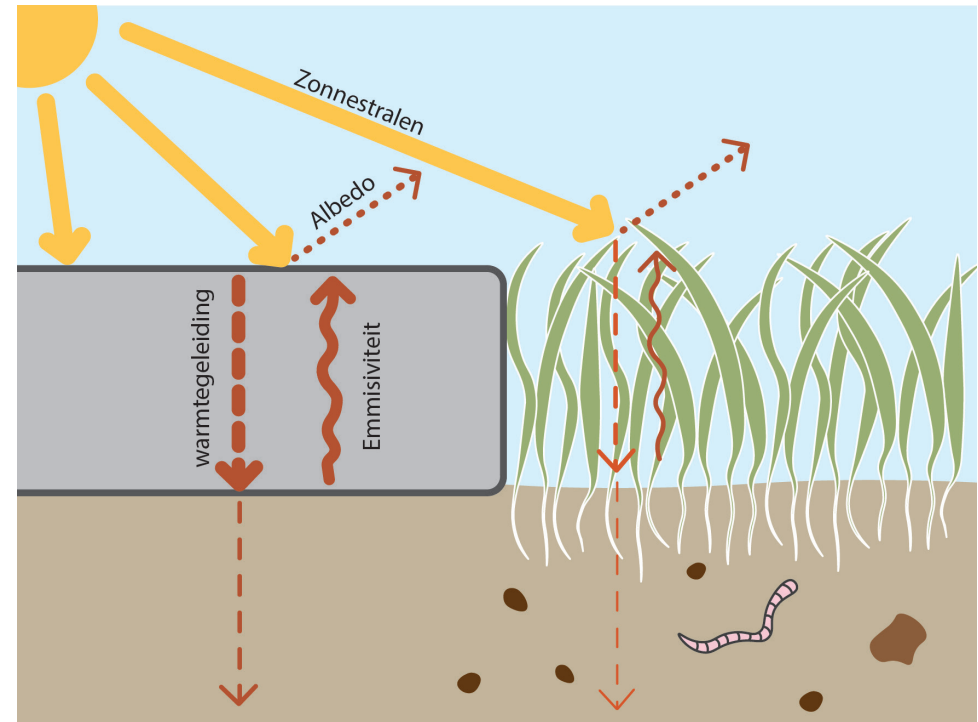
Vormen van landgebruik en verschillende **materialen** hebben invloed op hoe we als mens de temperatuur ervaren. Verharde materialen als bestrating of bakstenen nemen gedurende de dag veel energie (warmte) op van de zon en hebben daardoor vaak een hogere temperatuur dan natuurlijke materialen zoals planten tijdens warme zomerse dagen. Als de oppervlaktetemperatuur hoger is dan de luchttemperatuur zal dit de omgeving opwarmen. De invloed hiervan is afhankelijk van meerdere factoren waaronder de thermodynamische materiaaleigenschappen. De extra opwarming van het stedelijk gebied door met name harde materialen genereert het 'stads-hitte-eiland effect': in de stad is het warmer dan in de groene gebieden rondom de stad.

Materialen met een hoge **massa** (klinkers, bakstenen, betonnen elementen) hebben meer tijd nodig om op te warmen, slaan in die massa meer warmte op en geven uiteindelijk die warmte ook weer af. Bladeren bijvoorbeeld hebben een lage massa: die warmen daarmee snel op aan de luchttemperatuur, maar slaan weinig warmte op en koelen dus ook weer snel af als de avond valt.

De **albedo** geeft inzicht in de mate van weerkaatsing van zonnestralen van een oppervlak of materiaal. De albedo wordt vooral bepaald door de kleur en ruwheid van een materiaal. Hierbij kan worden aangenomen dat lichte kleuren met een glad oppervlak een hoger albedo hebben dan donkere en ruwe oppervlakten zoals asfalt (Doulos et al., 2004). De albedo van verharde oppervlakten als asfalt variëren tussen de 5% en 20% (Santamouris, 2013). Waarbij vegetatie varieert tussen de 5 en 30% (Krusche et al., 1982). Het verhogen van de albedo zorgt voor meer reflectie van zonnestralen waardoor de opname van licht en warmte wordt verlaagd. Dit draagt bij aan een lagere oppervlakte-temperatuur.

Op het moment dat warmte wordt geabsorbeerd door een materiaal wordt het uiteindelijk ook weer uitgestraald. De effectiviteit van een materiaal om warmte uit te stralen wordt de **emissiviteit** genoemd. Bij een hogere waarde zal het materiaal of oppervlak sneller zijn warmte verliezen. Bestrating en verharding hebben over het algemeen een hogere emissiviteit-factor dan vegetatie waardoor deze langer bijdragen aan het uitstralen van warmte ook als er geen zonnestralen meer aanwezig zijn (Urban Technology, 2002).

Ook heeft de **warmtegeleiding** invloed op hoeveel warmte er van het oppervlak wordt verplaatst naar een koele plek in het materiaal. Materialen met een hogere warmtegeleiding zullen meer energie verplaatsen naar diepere lagen. Hierdoor wordt warmte opgeslagen in het materiaal wat op een later moment weer kan uitstralen (Santamouris, 2013). Figuur 4 laat een schematische weergave van de bovengenoemde processen zien. In Tabel 1 zijn waarden toegevoegd van de albedo, emissiviteit en warmtegeleiding van verschillende materialen. Hierin is zichtbaar dat lichte en/of gladde materialen als wit beton en ijzer een hogere albedo hebben dan donkere ruwe materialen als grijs beton.



Figuur 4 Schematische weergave van albedo, warmtegeleiding en emissiviteit van de invloed op verharding versus beplanting.

Tabel 1 Waarden voor emissiviteit en albedo voor verschillende typen landgebruik. De waarden zijn gebaseerd op literatuur van Brown & Gillespie (1995), Littefair (2000), Meyer (2002) en Rozof (2002).

Materialen en soorten landgebruik	Albedo	Emissiviteit	Warmtegeleiding
Grijs beton	10 – 35%	71%- 95%	Hoog
Wit beton	71%	71%-95%	Hoog
Rode bakstenen	20% – 40%	~90%	Hoog
IJzer staal, gepolijst	~ 80%	~15%	Heel hoog
Glas	10% – 50%	~90%	Hoog
Zandige bodem	25% – 45 %	76%	Laag
Open grond (donker)	7% – 10%	90%- 98%	Laag
Gras	15% – 25%	90% – 95%	Laag
Gras (kort)	26%	96%	Laag
Gras (natuurlijk)	18%	96%	Laag
Bladverliezende bomen	20%	95%	Laag
Water (Hoge zonhoek)	3 – 10%	98%	Gemiddeld
Water (Lage zonhoek)	~80%	98%	Gemiddeld

Methodiek

Warmte vastleggen met thermografie

Alle objecten stralen infraroodstraling uit. Met behulp van een infraroodcamera kunnen we de hoeveelheid infraroodstraling die een object uitstraalt of reflecteert meten. De hoeveelheid infraroodstraling wordt met de temperatuursensor omgezet naar graden Celsius. Hiermee kunnen we de koele en warme plekken op de locaties in kaart brengen en hebben we beter inzicht in de temperaturen van de materialen in de directe omgeving.

Dat bestrating in de zon warmer is dan in de schaduw is logisch, maar nu kunnen we er ook een getal aan koppelen. Dit helpt bij het verklaren van de gegevens die we verzamelen met de weerstations. Bestrating neemt namelijk veel warmte op overdag en straalt dit ook weer uit gedurende de nacht waardoor het lang warm kan blijven.

Meetmomenten

Een keer per jaar zullen de infraroodmetingen worden uitgevoerd in de periode juli tot en met september. Het moment van de meting wordt bepaald aan de hand van temperatuur, neerslag en bewolking. De voorkeur gaat uit naar een periode waar het voor langere tijd warm is (maximale dagtemperatuur boven de 25 graden) met weinig bewolking en amper tot geen neerslag. Op de dag van de meting is het belangrijk dat er weinig tot geen bewolking is zodat het verschil tussen zon en schaduw goed vastgelegd kan worden.

De temperatuur, neerslag, windgegevens tot twee dagen voorafgaand aan de infraroodmeting worden gedocumenteerd. Deze gegevens kunnen worden gebruikt bij het verklaren van temperatuurverschillen tussen verschillende jaren.

Randvoorwaarden tracé

Per locatie hebben we een tracé uitgezet (A: groenstrook, B: volwassen rode beuken, C: versteend plein) van Noord naar Zuid waarbij op vaste punten een infraroodbeeld is gemaakt (Figuur 5). Het aantal punten verschilt per locatie. Hierbij wordt gestreefd de warmtegradiënten zo goed mogelijk in kaart te brengen. Hierdoor krijgen we een beter beeld van de invloed van het landgebruik (vegetatie, bestrating, etc.) en de invloed van de schaduw/zon. De kijkrichting van de tracés is naar het oosten.



Figuur 5 Het tracé met meetnummers en kijkrichting op het Stadhuisplein (links) en Rijnplein (rechts).

Meetopstelling en apparatuur

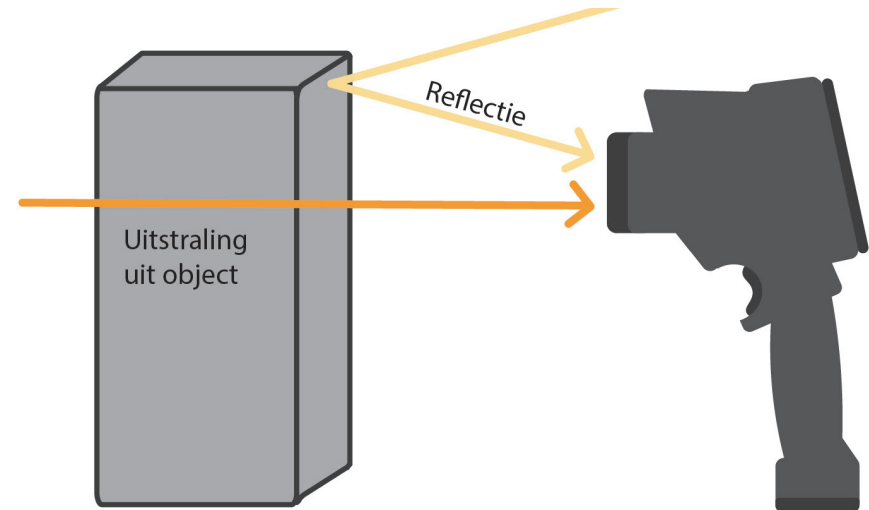
Voor het maken van de infraroodbeelden wordt gebruik gemaakt van een FLIR E6 infraroodcamera. Deze is bevestigd op een statief in een hoek van 15 graden op een hoogte van 1.55 meter (hart-lens) ten opzichte van het maaiveld en maakt tegelijk een IR foto en een normale (zichtbaar-licht) foto van dezelfde scene. De metingen starten rond het middaguur (12:00) wanneer de zon het meest loodrecht staat en de schaduwlengte het kleinst is. Alle infraroodbeelden zijn op één dag gemaakt.

Analyse infraroodbeelden

De warmtebeelden worden geanalyseerd met het programma FLIR Tools (Version 6.4). Tijdens het maken van een opname wordt aan de hand van de gemeten minimum- en maximumtemperatuur een schaalverdeling gemaakt door de FLIR-software. Bij deze automatische schaalverdeling werden uitschieters van -12 graden Celsius waargenomen voor de atmosfeer en warme glazen oppervlaktes kunnen oplopen tot over de 60 graden Celsius. Bij het verwerken van de opnames in de software kan ook een gelijke temperatuurschaal worden ingesteld. Door een schaalverdeling aan te houden van 22 tot 47 graden Celsius kan voldoende temperatuurverschil worden waargenomen.

Vervolgens wordt er gekeken naar opvallende warme en koele plekken. Door de normale foto's te vergelijken met de infraroodbeelden krijgen we meer inzicht in de bronnen van warmte en koelte. Bij de analyse van de infraroodbeelden worden maximaal vijf waarnemingspunten geanalyseerd. Er wordt gekeken naar oppervlaktes in de schaduw waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen vegetatie en bestrating. Ook voor oppervlaktes in de zon wordt een onderscheid gemaakt tussen bestrating en vegetatie indien mogelijk. In het tracé onder de rode beuken is het niet altijd mogelijk om vegetatie in de zon en schaduw weer te geven door de schaduwvorming van de omliggende gebouwen en de invloed van het kroonoppervlak van de rode beuken. Op het versteende plein is geen vegetatie aanwezig in het tracé. Daarom is gekozen om een extra waarnemingspunt weer te geven in de zon.

Bij de interpretatie van de warmtebeelden is het belangrijk te begrijpen dat de temperatuur, die zichtbaar is in het warmtebeeld, is gebaseerd op de straling die wordt uitgezonden van het betreffende object of wordt gereflecteerd zie Figuur 6. Bij een sterk reflecterend oppervlak wordt naast de temperatuur van het object zelf ook de warmte van de omgeving opgevangen, waardoor de meting nog wel eens hoger uitvalt.



Figuur 6 Schematische weergave energiestromen die samen het warmtebeeld vormen dat wij zien.



Weerstations

De Infrarood-metingen zijn een pure momentopname. Om ook uitspraken te kunnen doen over de verschillen in gevoelstemperatuur tussen de 3 verschillende locaties, is er op iedere locatie een weerstations geïnstalleerd (operationeel sinds 13 maart 2024, zie Figuur 7). Gekozen is de sensoren te bevestigen op een hoogte van 2.5 meter ten opzichte van het maaiveld en gericht naar het zuiden. Deze meethoogte zou een goed beeld moeten geven van de meteorologische condities voor de verschillende locaties. De hoogte van 2.5 meter is ook gekozen vanuit veiligheidsoverwegingen, want een lagere ophanghoogte zou een groter risico met zich meebrengen op vandalisme in het drukke centrum. Boven de sensoren is de datalogger geplaatst. De datalogger heeft een accu die gebruik maakt van de stroom van de lantaarnpaal zodat deze tijdens de avonduren kan opladen.

Sensoren en variabelen

Op de drie locaties zijn de meteo sensoren van het type LUFFT WS501-UMB (firma Koenders) geïnstalleerd. Deze sensoren meten de volgende meteorologische variabelen: luchttemperatuur, luchtdruk, relatieve vochtigheid, zonnestraling, windsnelheid en windrichting.

De weerstations meten continu met een meetinterval van 15 minuten. Deze meetgegevens worden één keer per dag rond 12:00 u geüpload naar de server.



Figuur 7 De weerstations op de verschillende meetlocaties in het stadshart van Alphen aan den Rijn.

Bodemvochtsensoren

Naast de weerstations zijn ook bodemvochtsensoren geplaatst, zodat ook het bodemvocht en de temperatuur in de bodem gemonitord kan worden, zie Figuur 8. Dit geldt alleen voor de groene locaties op het Stadshuisplein aangezien het Rijnplein volledig versteend bodemvocht daar geen relevante variabele is.

Sensoren en variabelen

Gekozen is voor de Drill & Drop Probe (firma Koenders) van 60 cm en van 120 cm. Deze geven elke 10 cm in de bodem een meting. Bij de groenstrook is gekozen voor een probe van 60 cm aangezien de bodem hier niet dieper gaat door de ondergrondse parkeergarage. Bij de volwassen beuk is een probe van 120 cm gebruikt, passend bij de bodemdiepte en het verwachte bewortelingsprofiel van de beuken.

Meetmomenten

Net als de meteo sensoren zijn de bodemvochtsensoren aangesloten op dezelfde datalogger en hebben een meetinterval van 15 minuten.



Figuur 8 Installatie van de bodemvochtsensoren bij de beuk (links) en in de groenstrook (midden en rechts) in maart 2024.

Resultaten

Resultaten meteo 2023

De weerstations in het centrum van Alphen aan den Rijn zijn in maart 2024 geplaatst. De metingen hiervan zullen bij de volgende rapportages besproken worden.

Om toch ook een indruk te krijgen van de algemene weercondities tijdens IR metingen op 7 september 2023, is allereerst gekeken naar de KNMI-weerstations De Bilt en Rotterdam. Deze registreerden een middagtemperatuur van 29.3°C in de Bilt en 29.0 °C in Rotterdam waarbij deze maxima lagen tussen 14:00 en 15:00. Verder stond er een zwakke wind (windkracht 2) vanuit een noordoostelijke richting. Mogelijk dat in het centrum van Alphen aan de Rijn de luchttemperatuur nog hoger heeft gelegen zoals vaak het geval is in stedelijk gebied op warme zomerdagen.

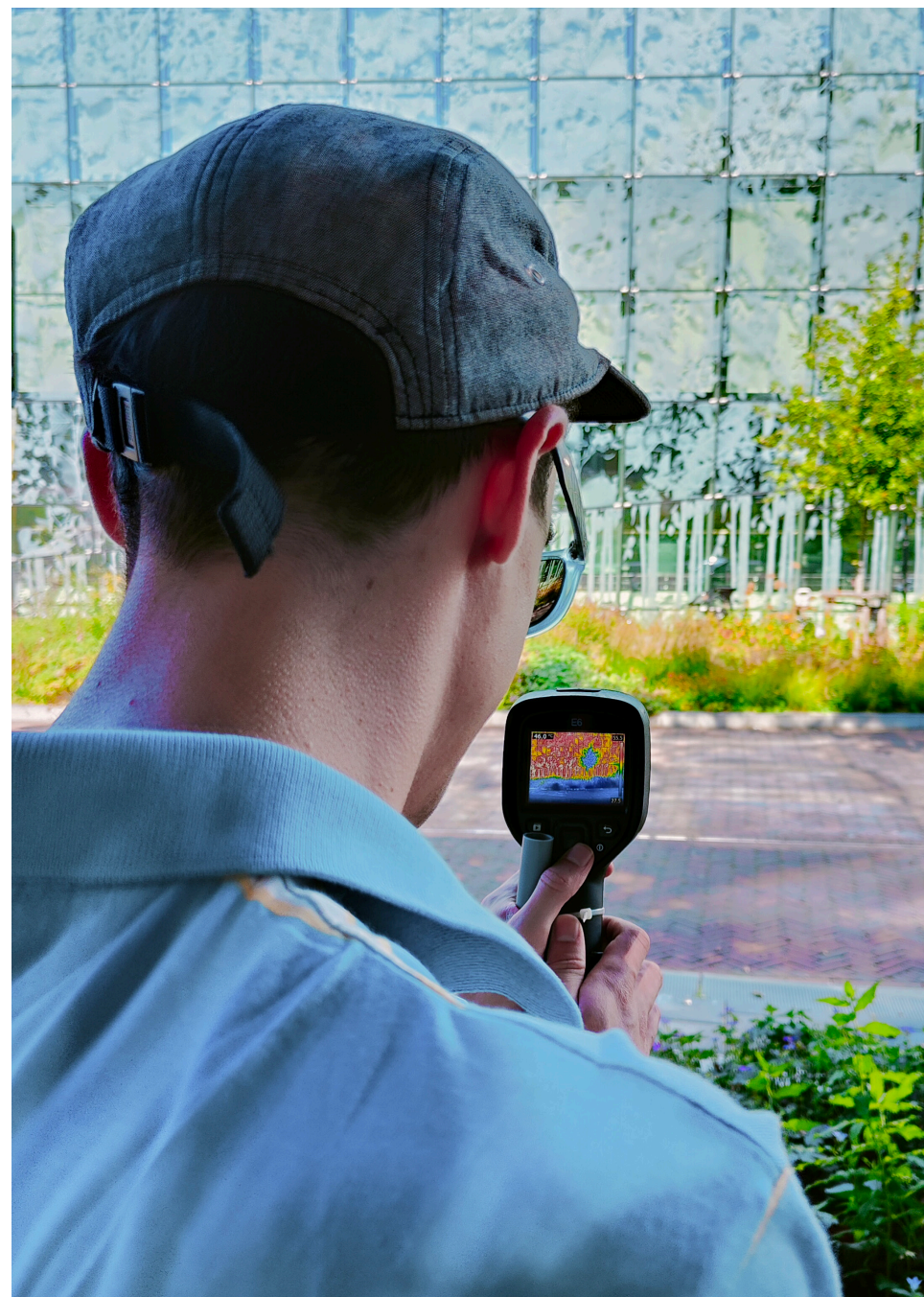
Tabel 2. Dagwaarden KNMI-weestations De Bilt en Rotterdam op 7 september 2023 (KNMI, 2024)

	Maximumtemperatuur	Windsnelheid	Windrichting
De Bilt	29.3 °C	2.3 m/s	NO
Rotterdam	29.0 °C	2.9 m/s	NO

Resultaten warmtebeelden 2023

De infraroodmetingen zijn uitgevoerd op een zonnige dag op 7 september 2023. Er was op deze dag geen bewolking, weinig wind en de maximumtemperatuur lag rond de 30 °C. Het eerste tracé was uitgezet bij de groenstrook (A), daarna de volwassen rode beuken (B) en als laatste het versteende plein (C), zoals eerder afgebeeld in Figuur 7. In totaal namen de opnames een kleine 3 uur in beslag voor alle tracés.

In deze sectie worden de overzichtsfoto's gepresenteerd en besproken. De overige warmtebeelden van alle meetpunten per tracé zijn terug te vinden in de bijlage.



Groenstrook

Tracé A

Het tracé loopt van de glazen gevel van het stadhuis tot de rand van de weg. De glazen gevel op de achtergrond valt buiten de schaal, maar op de gevel werden temperaturen van ruim 60 °C gemeten. De invloed van de glazen gevel (reflectie van licht en warmte) is goed terug te zien in de oppervlaktetemperatuur van de bestrating die in de zon vaak boven de 40 °C uitkomt. Er worden zelfs temperaturen gemeten van bijna 49 °C direct langs de glazenwand. Zelfs in de schaduw komt de temperatuur meermaals boven de 30 °C. Naarmate de afstand van de glazen gevel groter wordt zien we de oppervlaktetemperatuur van de bestrating in de zon dalen tot onder de 30 °C.

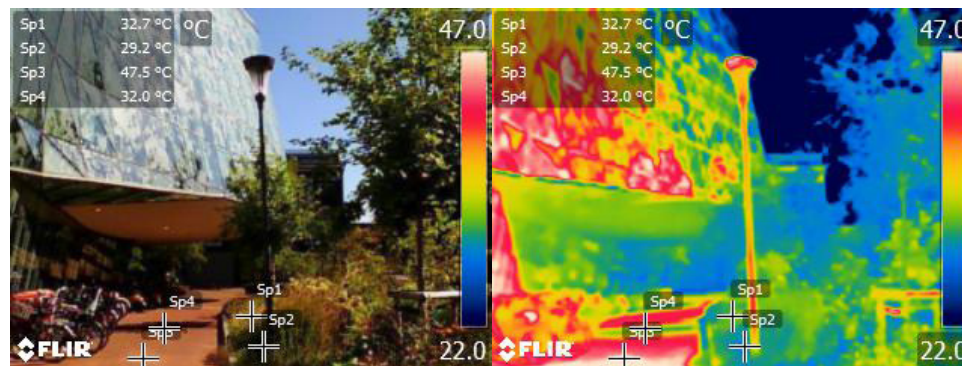
De temperaturen van de lage vegetatie tonen minder variatie als we kijken naar de locatie ten opzichte van de glazenwand. De temperaturen in de zon variëren veelal tussen de 31 en 33 °C met tussentijds uitschieters van boven de 40 °C. Deze hoge temperaturen worden veelal waargenomen op de grens van het bladerdek en de lucht. De hogere temperatuur aan de buitenzijde van het bladerdek kan worden verklaard aan de hand van absorptie en reflectie.

De glazen gevel op het Stadhuisplein heeft verschillende vormen waarbij het glas is voorzien van diverse motieven en een zonwerende coating (Ocatatube, 2024). Ge glazen panelen zijn in verschillende hoeken geplaatst, wat weer invloed heeft op de mate van reflectie en de richting. In het geval van het Stadhuisplein is de glazenwand een bron van infraroodstraling waardoor de bladtemperatuur in het nieuwe plantvak verder kan oplopen tijdens warme dagen.



Groenstrook en bestrating

Het tweede meetpunt van het tracé (Figuur 9) laat het verschil goed zien tussen de groenstrook en de bestrating. Op de bestrating wordt een temperatuur van 47.5 °C in de zon gemeten (Sp3). In de groenstrook werd slechts een temperatuur van 32.7 °C (Sp1) gemeten. Een verschil van bijna 15 °C. Het groen in de schaduw laat een nog lagere temperatuur zien en daar is het 29.7 °C. De hoogste temperatuur werd gemeten op het glazen oppervlak, hier werd het 44.2 °C.

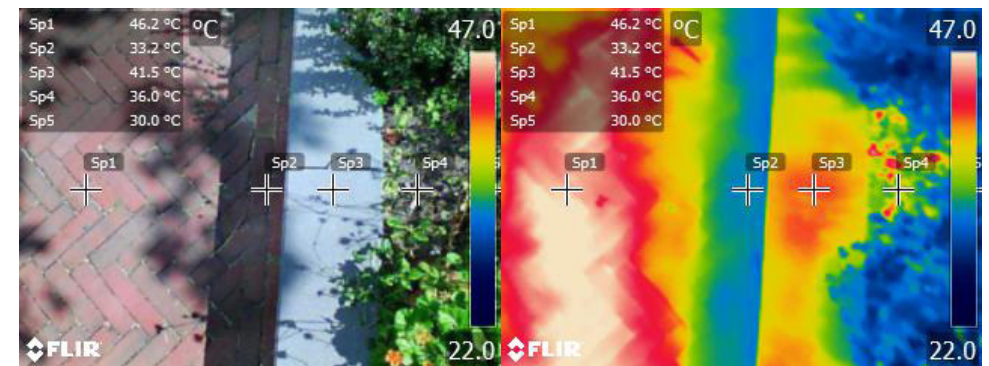


Vegetatie zon	Vegetatie schaduw	Bestrating zon	Bestrating schaduw
Sp1	Sp2	Sp3	Sp4
32.7 °C	29.2 °C	47.5 °C	32 °C

Figuur 9 meetpunt A2 in tracé A, de groenstrook.

Verharding en vegetatie

Figuur 10 op de rechterpagina geeft een weergave van het oppervlakte-temperatuurverloop van de bestrating naar de groenstrook. Het warmste punt (Sp1) werd gemeten op de klinkers in de zon, hier liep de temperatuur op tot boven de 46 °C. Dit is een verschil van 13 °C met de klinkers die in de schaduw liggen van de hoger gelegen betonbanden. De betonbanden in de zon (Sp3) zijn bijna 5 °C koeler dan de klinkers in de zon (Sp1). In de groenstrook komen de temperaturen niet hoger dan 36 °C. Hierbij zien we een verschil van 6 °C tussen de opengrond (Sp4) en de beplanting (Sp5). Het verschil tussen de klinkers en vegetatie is op deze locatie ruim 16 °C.



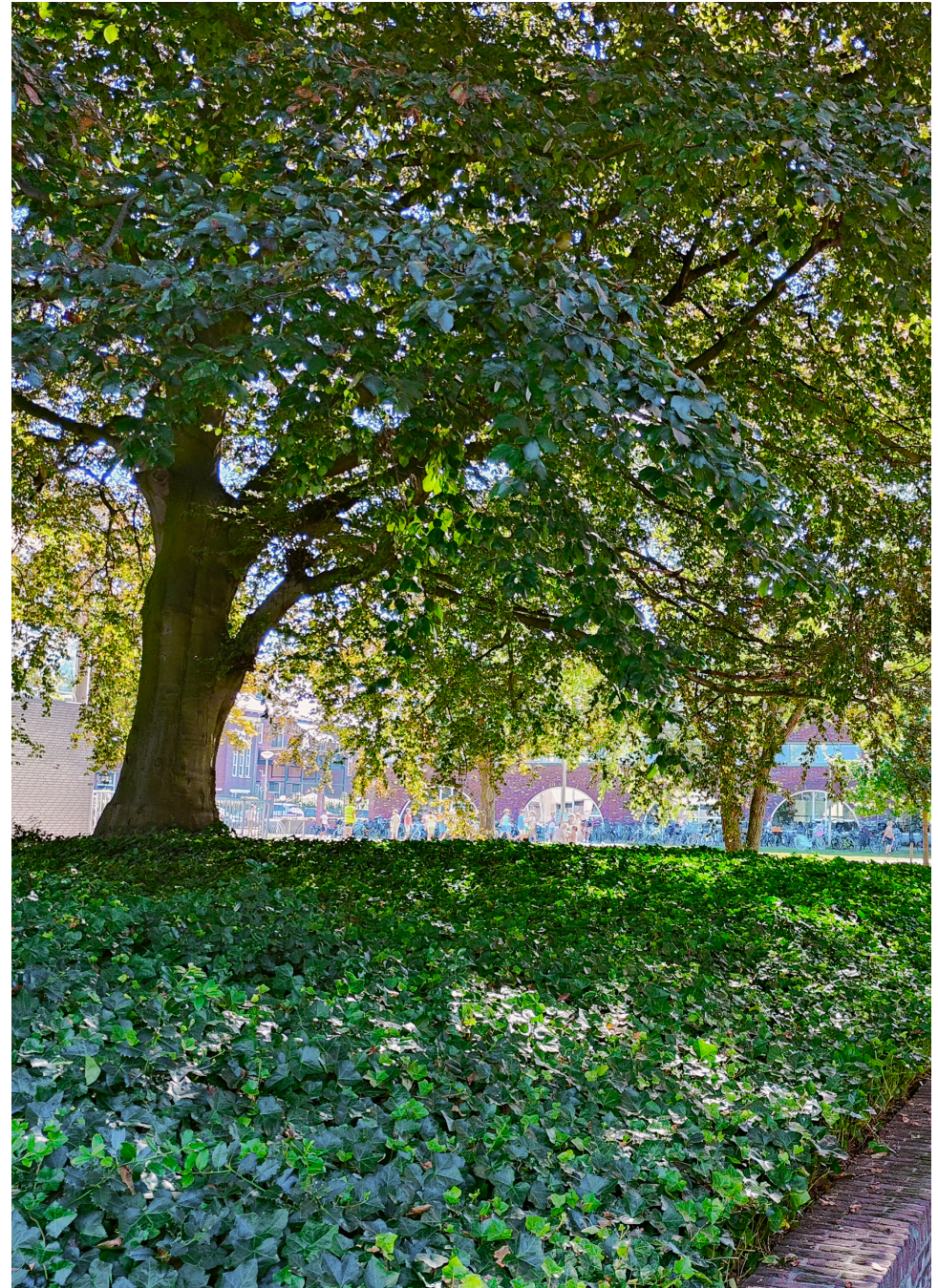
Zon	Schaduw	Zon	Zon	Zon
Bestrating Sp1	Bestrating Sp2	Beton band Sp3	Open grond Sp4	Vegetatie Sp5
46.2 °C	33.2 °C	41.5 °C	36 °C	30.0 °C

Figuur 10 Oppervlakte-temperatuurverloop van verharding naar vegetatie.

Volwassen beuken

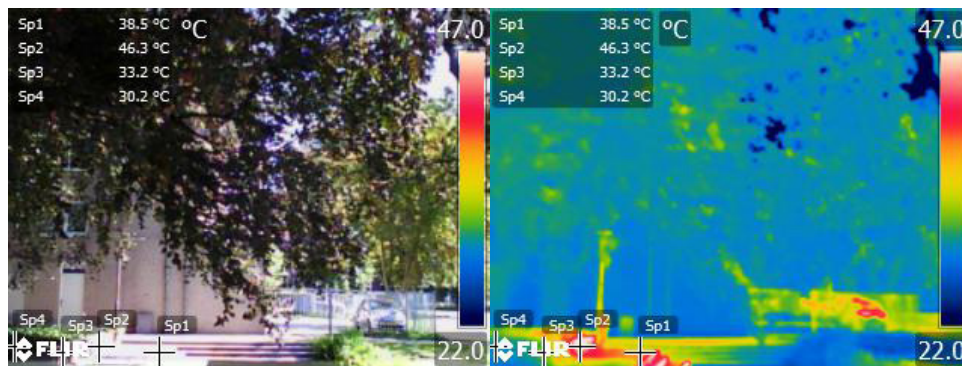
Tracé B

Het tracé onder de rode beuken loopt van het voetpad tot aan de rand van het plantvak. In dit tracé is weinig gradiënt tussen zon en schaduw te zien. Zowel de gebouwen als de volle boomkroon van de rode beuken zorgen ervoor dat er amper zonnestralen op de bestrating en onderbegroeiing schijnen. Wat opvalt is het temperatuurverschil tussen de onderbegroeiing en de verharde materialen. De onderbegroeiing laat hogere temperaturen zien dan de muren van het gebouw langs het plantvak. Dit betreft een verschil van 1.5 °C tot 3 °C. Dit temperatuurverschil is onder andere te verklaren aan de hand van de thermische materiaaleigenschappen van verharde materialen en vegetatie. Verharde materialen als bakstenen hebben veel massa en een hoge warmtegeleiding. Het duurt dus relatief lang voordat een baksteen opwarmt als deze niet wordt blootgesteld aan zonnestralen. Bij vegetatie werkt dit anders omdat bladeren weinig massa hebben, die warmer daardoor sneller op aan e warmte in de omringende lucht. Net als bij de verharde materialen heeft vegetatie een relatief laag albedo. Echter geeft de albedo inzicht in de mate van reflectie van zonnestralen en niet per definitie de reflectie van infraroodstraling die we terugzien op de warmtebeelden. We hebben eerder gezien dat bladeren het gros van de infraroodstraling reflecteren. De hogere mate van reflectie zorgt in deze situatie ook voor de registratie van hogere oppervlaktetemperaturen van de vegetatie.



Gradiënt zon schaduw

Aan het einde van het tracé hebben we een extra warmtebeeld (Figuur 11) gemaakt zodat we ook een gradiënt zon en schaduw kunnen zien voor deze situatie. Het gradiënt start bij meetpunt Sp1 in de zon hier zien we een temperatuur van 38.5 °C. Het tweede punt (Sp2) toont een hogere temperatuur met een verschil van bijna 8 graden. Dit punt ligt verticaal waardoor het meer zonnestrallen ontvangt dan het horizontale punt Sp1. Het punt Sp3 ligt gedeeltelijk in de schaduw en in de zon. De verharding is minder lang en intensief blootgesteld aan de zon waardoor de temperaturen lager zijn. Het laatste punt (Sp4) ligt in de beplanting en in de schaduw. Hier zijn de temperaturen relatief het laagst van de vier punten. Het verschil met het eerste punt in de is ruim 8 °C. Het temperatuurverschil met punt Sp2 loopt zelf op tot ruim 16 °C.

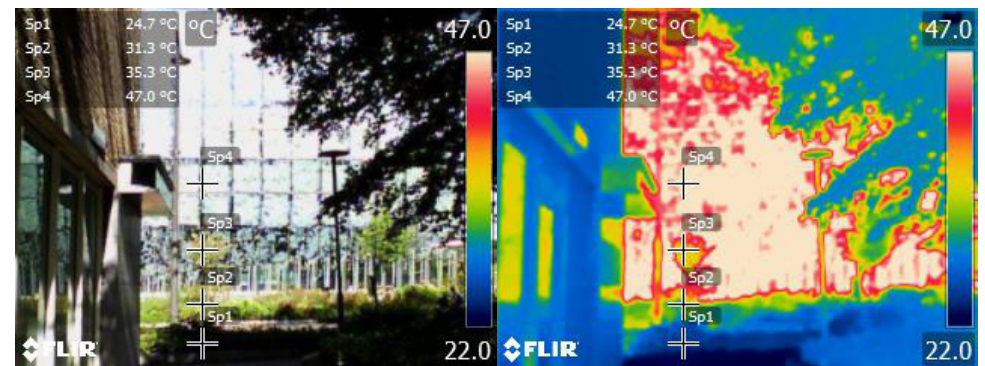


Schaduw	Zon	Zon	Zon
Vegetatie	Bestrating	Bestrating	Bestrating
Sp4	Sp3	Sp2	Sp1
30.2 °C	33.2 °C	46.3 °C	38.5 °C

Figuur 11 Gradiënt zon en schaduw.

Doorkijk richting het stadhuis

Onder de beuken richting het Stadhuisplein is een warmtebeeld gemaakt (Figuur 12). Het verschil tussen de vegetatie in de zon en schaduw loopt op tot ruim 10 °C. Waarbij het verschil in de zon langs de glazengevel en in de schaduw onder de beuken zelfs 20 °C verschilt. Punt Sp1 begint in de beplanting onder de beuken. De beplanting ligt in de schaduw waar lage temperaturen zagen van 24.7 °C. De andere punten liggen in de zon (Sp2-4). Naarmate we dichterbij de glazen gevel komen zien we de temperatuur weer oplopen. De extra reflectie van de glazengevel zorgt voor opwarming van het de vegetatie. Hierbij moeten we wel in gedachte houden dat vegetatie het gros van de infraroodstraling reflecteert en maar beperkt opneemt. De temperatuur binnenin de vegetatie is een stuk lager dan de temperatuur die we zien aan de bovenkant. De temperatuur op de vegetatie als langs de glazen gevel is dus veelal reflecterende straling. Deze straling wordt direct weerkaatst en wordt dus niet uitgezonden door het materiaal. Het is dus geen weergave van de oppervlaktetemperatuur. De reflectie heeft echter wel invloed op de gevoelstemperatuur. Die is langs de glazenwand namelijk een stuk onprettiger dan onder de beuken.

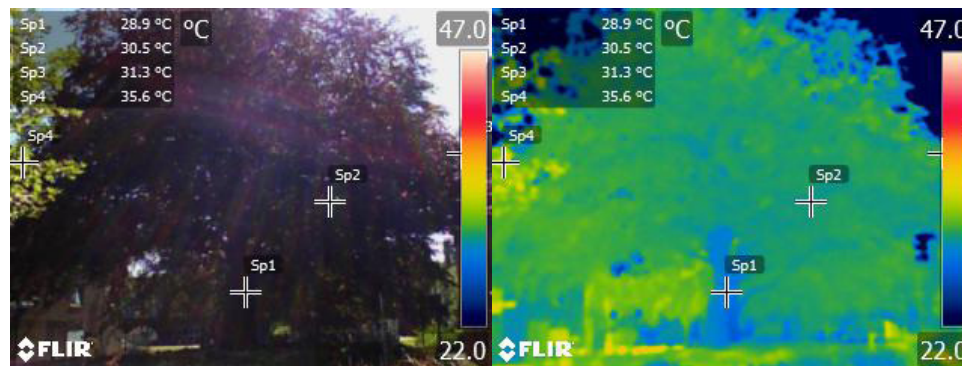


Schaduw	Zon	Zon	Zon
Vegetatie	Vegetatie	Vegetatie	Glazengevel
Sp1	Sp2	Sp3	Sp4
24.7 °C	31.3 °C	35.3 °C	47 °C

Figuur 12 doorkijk vanuit onder de beuken richting de glazengevel op het Stadhuisplein.

Voorbeeld rode beuk

Ook het voorbeeld van de rode beuk is gefotografeerd (Figuur 13). We hebben de foto gemaakt tegen de zon waardoor het lijkt dat ook aan de voorkant van de beuk veel zonnestrallen komen. Dit is echter beperkt. Op dit warmtebeeld hebben we vier punten geselecteerd. We beginnen bij punt Sp1 op de boomstam. Dit punt ontvangt de minste zonnestrallen en is ook het koelste punt. Verder weg van de boomstam zien we de temperatuur oplopen van 30 °C tot 31 °C. Links in de foto zien we de groene boom in het plantvak in de zon. Waar de temperatuur oploopt tot ruim 35 °C.



Schaduw	Schaduw	Zon	Zon
Vegetatie	Vegetatie	Vegetatie	Vegetatie
Sp1	Sp2	Sp3	Sp4
28.9 °C	30.5 °C	31.3 °C	35.6 °C

Figuur 13 Voorbeeld rode beuk.

Versteend plein

Tracé C

Het tracé loopt van het theater en cinema het Castellum tot aan de trap. De glazen gevel van het Castellum is duidelijk terug te zien in de temperatuur van de bestrating in het tracé. De glazen wand reflecteert relatief veel infraroodstraling. Hierdoor wordt de bestrating langs de gevel opgewarmd door zonnestrallen én de reflectie komende van de glazen gevel. Langs de gevel in de zon worden waarden boven de 50 °C gemeten. Richting de trap zakt de temperatuur richting de 42 °C. Op het tracé is geen vegetatie maar zijn er wel verschillende verharde materialen. Op de infraroodbeelden is dit duidelijk zichtbaar aan de hand van de temperatuurverschillen.

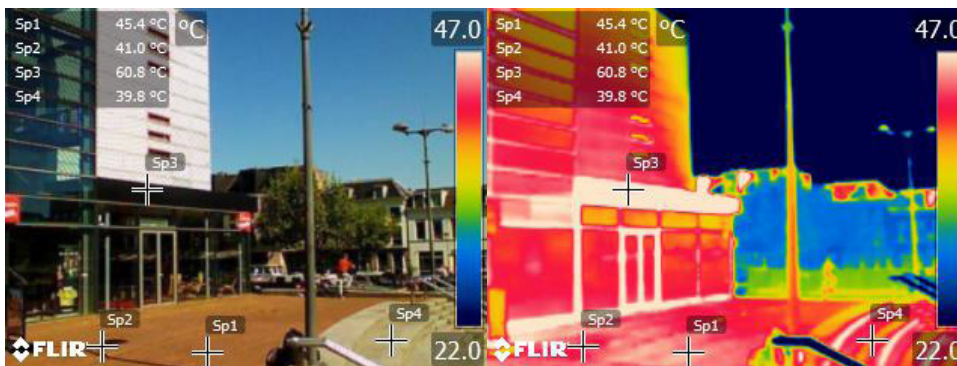
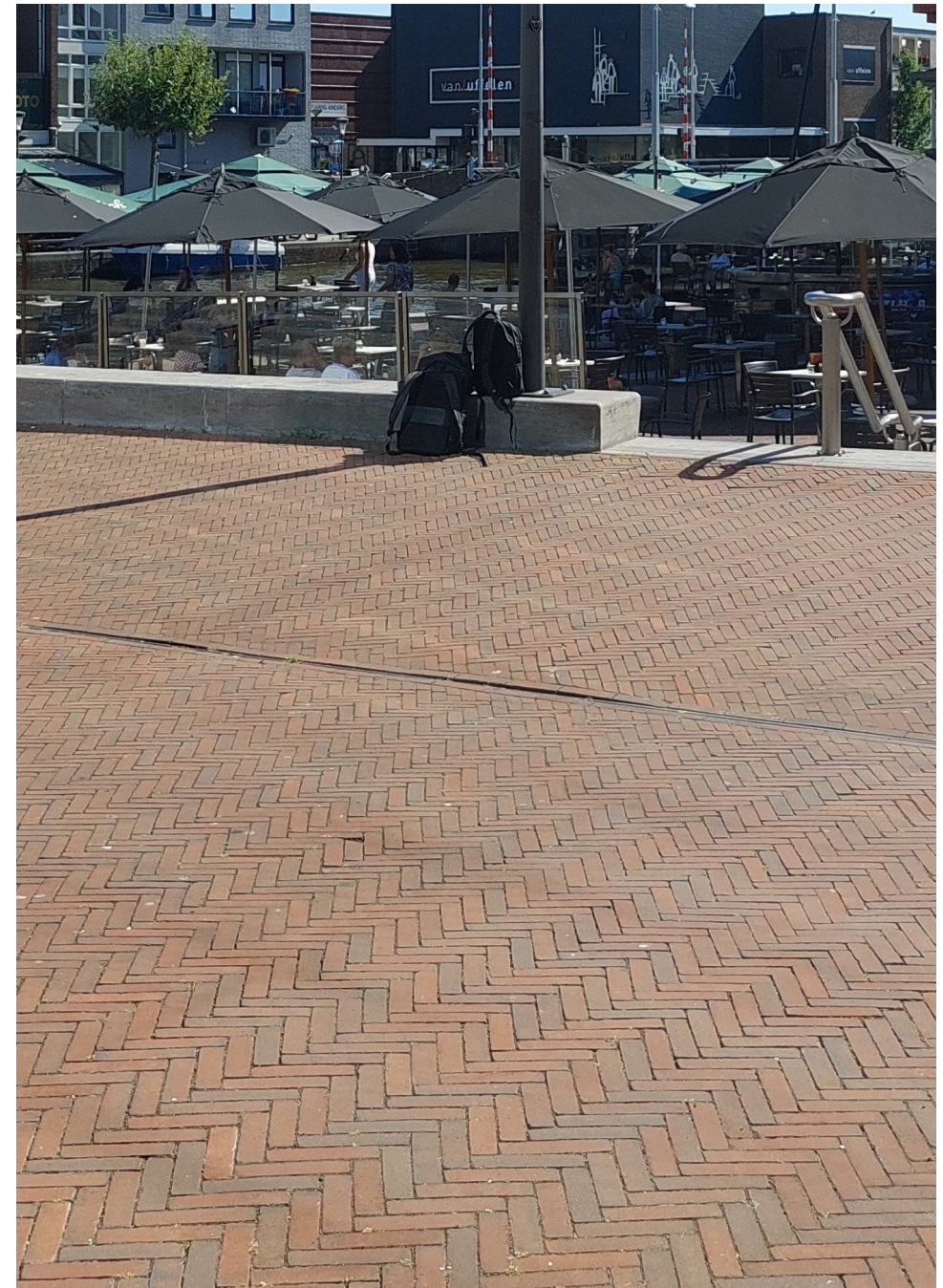
Het Rijnplein is voor het grotendeel bestraat met rode klinkers. De rode klinkers reflecteren relatief weinig (20%-40%) warmte in vergelijking met de grijs/witte trap (35%-71%). De warmte die niet wordt gereflecteerd wordt opgenomen door het materiaal. Beide materialen zijn in staat veel warmte op te nemen (warmtegeleiding) en weer uit te stralen (emissiviteit).

We zien op de warmtebeelden hoge temperaturen. Het Rijnplein is de laatste meetlocatie geweest op de dag. Op het tracé is weinig schaduwvorming waardoor de bestrating goed heeft opgewarmd gedurende dag. We zien terug dat de rode klinkers veelal warmer zijn dan de wit/grijze betonnen trap. Dit correspondeert ook met de verwachting dat een lagere albedo bijdraagt aan meer opwarming van het materiaal.



Hoge temperaturen

Op het tweede meetpunt (Figuur 14) van het Rijnplein werden bijzonder hoge temperaturen gemeten van ruim 40 °C. In de zon werd de oppervlaktetemperatuur zelfs 45.4 °C (Sp1). Ook op de trappen lag de temperatuur hoog en varieert de temperatuur tussen de 38 en 46°C. In de schaduw van de lantaarnpaal werd een temperatuur van 41 °C (Sp2) waargenomen. Wat direct opvalt in het warmtebeeld is de koele trapleuning die dezelfde kleur heeft als de atmosfeer. De gepolijste trapleuning heeft een hoge mate van reflectie. De vastgelegde temperatuur is ook niet de temperatuur van het materiaal zelf maar een weerspiegeling van de atmosfeer. Ook de zwarte plaat in de gevel van het Castellum laat opvallende waarden zien. Door de donkere kleur loopt de temperatuur op tot bijna 61 °C.



Zon	Schaduw	Zon	Zon
Bestrating	Bestrating	Glazen gevel	Bestrating
Sp1	Sp2	Sp3	Sp4
45.4 °C	41.0 °C	60.8 °C	39.8 °C

Figuur 14 Zijaanzicht op het Rijnplein.

Discussie en conclusies

Meetomstandigheden

Bij de interpretatie van de infraroodbeelden dient rekening gehouden te worden met een aantal aspecten. Allereerst zijn de beelden en bijbehorende temperaturen een momentopname. Het moment van het maken van de foto heeft invloed op de uitkomsten. Bij onze metingen was er sprake van een tijdsverschil tussen het eerste, tweede en derde tracé. Foto's eerder op de dag kunnen relatief gezien lagere temperaturen tonen, omdat deze minder lang zijn blootgesteld aan directe/indirecte straling.

Ook heeft de afstand en meethoek van de infraroodcamera invloed op de temperatuurweergave. De nauwkeurigheid van de temperatuurmeting neemt af naarmate objecten verder weg zijn. Hierdoor lijken bepaalde oppervlakten of objecten op de achtergrond soms koeler of warmer dan dat ze deze daadwerkelijk zijn.

De infraroodbeelden geven een oppervlaktetemperatuur weer en zijn daarmee ook niet het hoofdonderdeel van het onderzoek naar de door mensen ervaren gevoelstemperatuur (2 verschillende dingen). Voor die laatste zijn de metingen van meetjaar 2024 van de 3 weerstations leidend. De infraroodbeelden echter geven wel een goed visueel beeld van de warmte in de stad, bij en onder groen, en in de schaduw en in de zon, om de verschillen zichtbaar te maken.

Invloed van emissiviteit en reflectie

De instelling van de infraroodcamera heeft invloed op de temperatuurmeting. Voordat de temperatuur van een object bepaald kan worden moet de emissie-coëfficiënt worden vastgesteld. Dit is één vaste waarde. Hierbij is gekozen voor de waarde van 0.95. Deze emissie waarde geeft een goed bereik voor verschillende soorten bestrating en vegetatie. Voor materialen met andere emissie-coëfficiënten zoals verschillende soorten metaal is deze emissie-coëfficiënt ontoereikend waardoor de weergegeven temperatuur onnauw-

keurig wordt. Bij de interpretatie van de infraroodbeelden dient hiermee rekening gehouden te worden.

Op het moment dat een materiaal een lage emissiviteit heeft is het lastig de temperatuur correct te bepalen. Bij een lage emissiviteit wordt er weinig uitgestraald door het materiaal en juist veel gereflecteerd. De reflectie bestaat met name uit de temperatuur uit de omgeving en niet de temperatuur van het materiaal. Bij het maken van een warmtebeeld kun je goed zien of de waargenomen temperatuur een weergave is van de temperatuur of dat er sprake is van reflectie. Bij het veranderen van de hoek ten opzichte van het object zal de temperatuur ruim veranderen als er sprake is van reflectie.

Invloed materialen op stedelijke hitte

Niet alle materialen die hoge temperaturen tonen op de infraroodbeelden dragen evenveel bij aan opwarming. De hoeveelheid warmte die materialen kunnen vasthouden speelt hierbij een rol. Dit wordt onder andere bepaald door de soortelijke dichtheid. Zo kan een blad van vegetatie warm ogen op het beeld, maar zal het in de praktijk beperkt bijdragen aan opwarming gedurende nacht door de lage massa van het blad. Materialen met lage albedo en hoge warmtegeleiding (bakstenen en klinkers bijvoorbeeld) kunnen overdag veel warmte opnemen. Gedurende de nacht vindt het tegenovergestelde proces plaats. De materialen stralen dan warmte uit. De materiaalkeuze kan dus invloed hebben op de mate van stedelijke hitte ook als de zon niet meer schijnt.

Vegetatie voor het reduceren van stedelijke hitte

Het verkoelend effect van vegetatie wordt onder meer bepaald door schaduwwerking en verdamping (endotherm proces waarbij warmte uit de omgeving getrokken wordt). Vooral bomen met een dicht bladerdek zorgen ervoor dat opwarming door zonnestrallen van de

onderliggend bestrating wordt beperkt gedurende dag waardoor er 's nacht ook minder warmte wordt uitgestraald.

De infraroodbeelden laten hoge temperaturen zien op vegetatie. Planten reguleren de bladtemperatuur door onder andere verdamping. De uitschieters van 40 graden kunnen mogelijk worden verklaard aan de hand van de standplaats en weersomstandigheden.

De beplanting staat in een plantvak dat wordt geïrrigeerd. We nemen daarom aan dat het groen voldoende water beschikbaar heeft om te kunnen verdampen en daarmee het bladoppervlak te koelen. We hebben echter geen bodemvochtgegevens van het moment van de infraroodopnames om deze aanname te bevestigen. We kunnen dus niet met zekerheid stellen dat de combinatie van veel zon en hoge temperaturen heeft geleid tot onvoldoende wateropname vanuit de wortels waardoor de huidmondjes zijn gesloten en daarmee de bladverdamping en dus koeling is gestopt. Een andere verklaring voor het oplopen van de bladtemperatuur kan worden gezocht in de ontwikkeling van het wortelgestel en daarmee de capaciteit om water op te nemen. De groenstrook is relatief jong wat invloed heeft op de grote van het wortelgestel en daarmee de capaciteit om voldoende water op te kunnen nemen in verhouding met het bladerdek.

Ook de windsnelheid heeft invloed op de mate van verdamping. Op het moment van meten was het zo goed als windstil. Dit zou eventueel kunnen bijdragen aan een reductie van de verdamping en dus bladkoeling.

Echter werden deze extreem hoge temperaturen alleen waargenomen op de grens bladerdek lucht langs de glazenwand op het Stadhuisplein. Op deze locatie ontvangen de bladeren infraroodstraling van de zon en extra reflectie van de glazenwand waardoor de temperaturen hoog kunnen oplopen. Het is echter de vraag of de bladtemperatuur echt zo hoog is. Bladeren hebben namelijk de eigenschap het gros van de infraroodstraling te reflecteren. Dit houdt niet in dat de bladtemperatuur niet kan toenemen door de blootstelling van zoveel infraroodstraling.

Bij volgende infraroodmetingen zullen we ook enkele warmtebeelden maken waarbij we inzoomen op de vegetatie. Door het veranderen van de hoek tussen verschillende foto's kunnen we het effect van reflectie op bladniveau beter in beeld brengen. Dit geeft ons waarschijnlijk ook meer inzicht in de temperatuur van het blad en kunnen we de hogere temperaturen beter verklaren.

Ondanks enkele hoge temperaturen langs de glazengevel op het Stadhuisplein, is het gros van de vegetatie ruimschoots koeler dan de omliggende bestrating. Hierbij zien we dat zowel laag groen als grote bomen bijdragen aan stedelijke verkoeling. Met uitzondering van een aantal hoge temperaturen langs de glazengevel. Groen zorgt voor meer schaduw en door de verdamping wordt de directe omgeving ook daadwerkelijk koeler. Hierbij is het wel van belang dat er voldoende water beschikbaar is voor verdamping.

Opvallende en interessante observaties tijdens de eerste metingen

Invloeden door materiaalkeuze

Opvallend maar wel verwacht: Het Stadhuis heeft een grote glazenwand. Als je de infraroodcamera daarop richt slaat die heel warm uit. Glas reflecteert veel infraroodstraling, het werkt dus eigenlijk als een spiegel. Hierdoor zie je de reflectie van de temperatuur van de omgeving.

Ook de bestrating liet hoge temperaturen zien en op sommige plekken was dit meer dan 47 °C toen de buitentemperatuur rond de 30 °C was. Het duurt best een tijdje voordat een baksteen of klinker volledig is opgewarmd vanwege de massa, maar het straalt dan ook weer lang warmte uit dat 's nachts kan bijdragen het stedelijk hitte-land effect. Zorgen voor voldoende schaduw kan dus zowel overdag als 's nachts helpen met het reduceren van hitte.

Verskil tussen de drie locaties

De resultaten van de warmtebeelden laten zien dat de oppervlaktetemperaturen tussen vegetatie en versteend oppervlak soms meer dan 18 graden kan verschillen in de zon. Als we kijken naar het verschil van bestrating in de zon en in de schaduw zagen we tot 17 graden temperatuurverschil. Bestrating in de schaduw langs bomen of andere manieren van schaduw zorgt overdag dus voor serieuze temperatuurverschillen, maar zullen ook 's nachts bijdragen aan een reductie in hittestress. We kunnen daarmee concluderen dat groen zorgt voor meer koele plekken en ook dat minder warmte zal uitstralen naar de omgeving. Hoeveel dit bijdraagt aan de reductie van hittestress zal de komende jaren verder geanalyseerd worden in combinatie met de weerstations en bodemvochtsensoren. Dit zal vervolgens worden beschreven in de vervolgrapportages.

Bronnen

Brown, R.D., Gillespie, T. J., (1995). Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency, New York: Wiley

Derkx, M.P.D. (2007), Functies van bomen in het filteren van zonlicht, Wageningen

Doulos, L., Santamouris, M., & Livada, I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. Solar Energy, 77(2), 231–249. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.005>

European Space Agency., (2013). Vegetatie-indexen. Geraadpleegd op 15 juli 2024, van [ESA- Eduspace NL- Opwarming van de Aarde- Vegetatie-indexen- printer version \(wur.nl\)](#)

KNMI, 2024., Daggegevens van het weer in Nederland. Geraadpleegd op 26 juni 2024, van [KNMI- Daggegevens van het weer in Nederland](#)

Krusche P. & M., Althaus D. & Gabriel I.; Ökologisches Bauen – Herausgegeben vom Umweltbundesamt; Bauverlag GmbH, Wiesbaden & Berlin, 1982

Littlefair, P.K. (2000). Environmental Site Layout Planning: Solar Acces, Microclimate and Passive Cooling in Urban Areas, Londen, CRC BRE Publications, pp.VIII

Meyer, H. (2002). Skript zum Vertiefungsblock "Klima in urbanen Raumen", Freiburg: Universitat Freiburg,

NASA, 2024., Reflected Near-Infrared Waves. Geraadpleegd op 16 juli 2024, van [Reflected Near-Infrared Waves- NASA Science](#)

Ocatatube, 2024., Stadhuis Alphen aan den Rijn. Geraadpleegd op 16 juli 2024, van [Stadhuis Alphen aan den Rijn \(ocatatube.nl\)](#)

Rozoff, C, M., Cotton, W, R., Adegoke, J,O,. (2002). Simulation of St. Louis, Missouri, Land Use Impacts on Thunderstorms. Journal of Applied Meteorology, Kansas

Santamouris, M., (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island – A review of the actual developments. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 26:224-240.

Urban Technology., (2002). Koele bestratingsmaterialen. Hogeschool van Amsterdam. Geraadpleegd op 16 juli 2024, van [Koele bestratingsmaterialen- HVA](#)

Weel, van P., (2009) Effecten van materialen die Nabij-Infrarode straling aan het kasdek tegenhouden, Bleiswijk, Wageningen UR Glastuinbouw

Over Eco-Systeem-Stad (ecosysteemstad.nl)

Het klimaat verandert. Het weer laat steeds meer extremen zien. Steeds kortere, maar heftige regenbuien, afgewisseld met steeds warmere en langere droge perioden in het voorjaar en de zomer. Om hitte het hoofd te bieden is er steeds meer behoefte aan Functioneel Groen voor schaduw en verkoeling. Echter heeft dat stedelijk groen in het groeiseizoen behoefte aan (extra) water terwijl water op dat moment juist schaars kan zijn.

Het TKI project Eco-Systeem-Stad richt zich op de vraag hoe er een balans gecreëerd kan worden in de waterbehoefte van functioneel groen en de beschikbaarheid van water in de klimaatbestendige en natuurinclusieve stad. Hierbij houden we rekening met de geografie van de ondergrond, specifieke soorteigenschappen gerelateerd aan droogteresistentie en wegen we kosten en baten van passende en effectieve (technologische) oplossingen zorgvuldig af.

Over de naam, Eco-Systeem-Stad: Natuur in de stad, in de vorm van parken, tuinen, bomen in straten, berm, sportvelden en (blauw-)groene daken, levert een veelvoud aan essentiële functies in de stad. Denk daarbij aan verkoeling door schaduw en verdamping, regenwater-afvang, luchtkwaliteitsverbetering, ruimte voor biodiversiteit en een verbetering van menselijk welzijn. Voor het optimaal functioneren van die Ecosysteemdiensten is het belangrijk dat natuur als een geïntegreerd functioneel Systeem in de stad ontworpen, gerealiseerd en onderhouden wordt. Gefundeerde afwegingen in plantsoortkeuze, multifunctionaliteit, waterbeschikbaarheid, circulariteit, en kosten/baten afwegingen van de toegepaste Nature-based Solutions liggen daaraan ten grondslag.



Bijlage

Infraroodtracés

Stadhuisplein - Groenstrook (A)

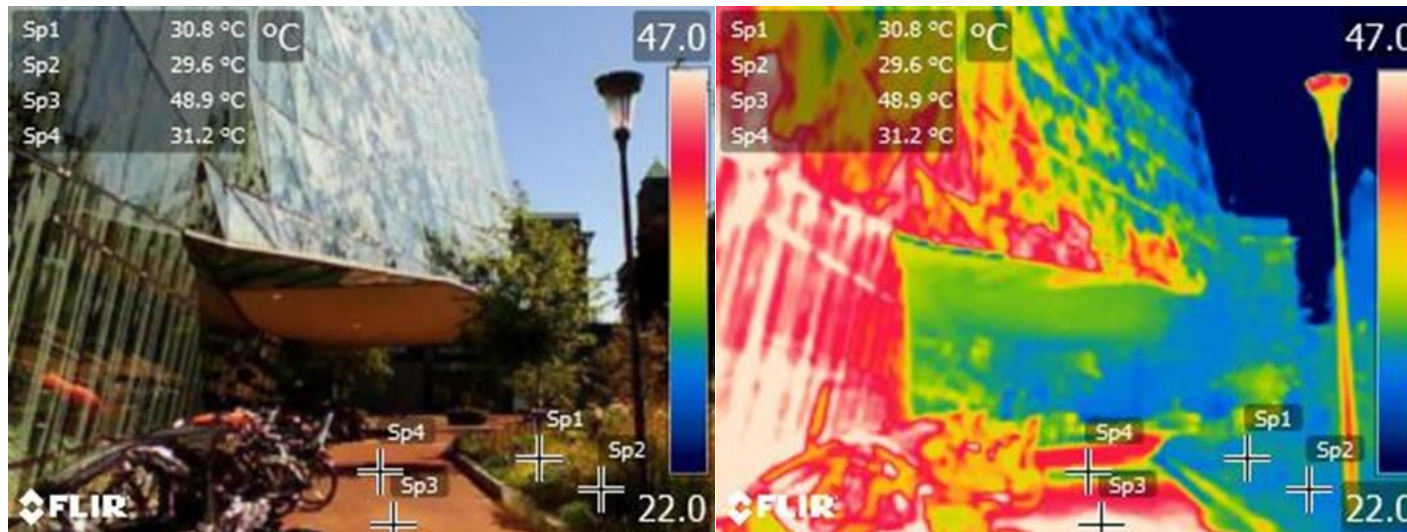
Tracé A1: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen planten (*Sp1*) en bestrating (*Sp3*) in de zon: **18.1°C**

Het verschil tussen planten (*Sp2*) en bestrating (*Sp4*) in de schaduw: **1.6°C**

Het verschil tussen verharde materialen in de schaduw (*Sp4*) en harde materialen in de zon (*Sp3*): **17.7°C**

Het verschil tussen beplanting in de schaduw (*Sp2*) en beplanting in de zon (*Sp1*): **1.2°C**



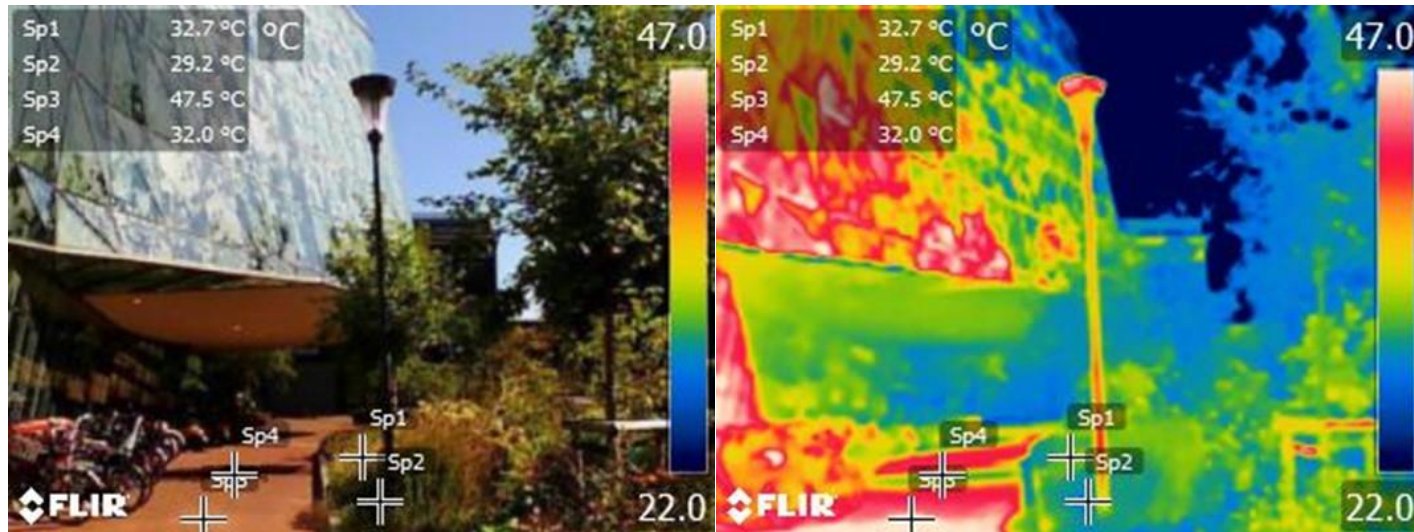
Tracé A2: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen planten (*Sp1*) en bestrating (*Sp3*) in de zon: **14.8°C**

Het verschil tussen planten (*Sp2*) en bestrating (*Sp4*) in de schaduw: **2.8°C**

Het verschil tussen verharde materialen in de schaduw (*Sp4*) en harde materialen in de zon (*Sp3*): **15.5°C**

Het verschil tussen beplanting in de schaduw (*Sp2*) en beplanting in de zon (*Sp1*): **3.5°C**



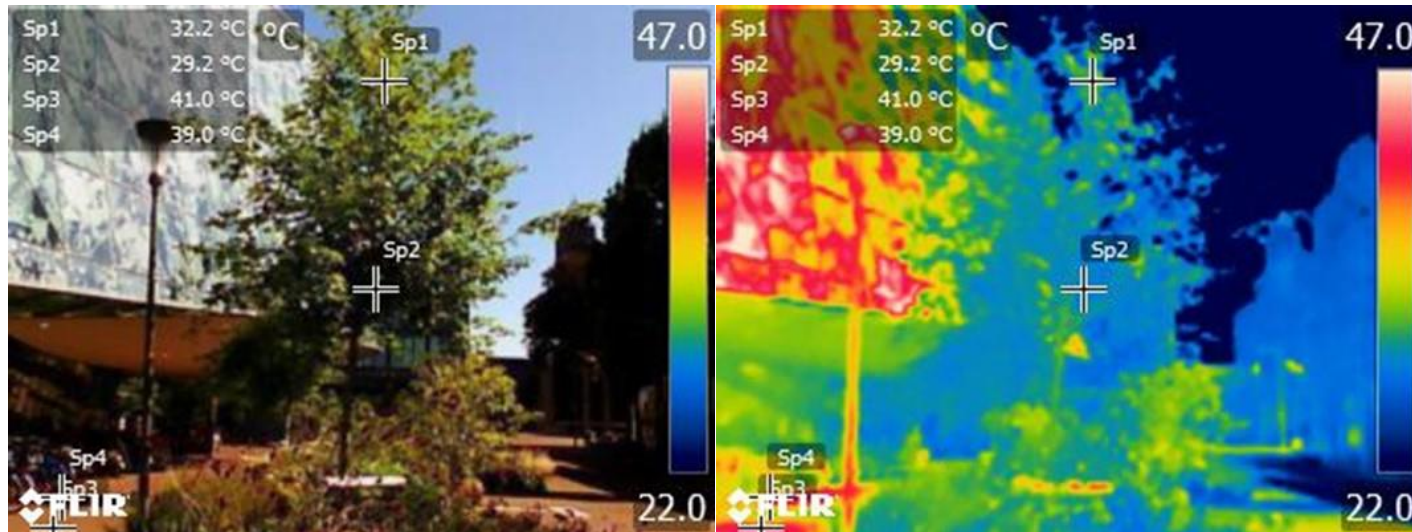
Tracé A3: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen planten (*Sp1*) en bestrating (*Sp3*) in de zon: **8.8°C**

Het verschil tussen planten (*Sp2*) en bestrating (*Sp4*) in de schaduw: **9.8°C**

Het verschil tussen verharde materialen in de schaduw (*Sp4*) en harde materialen in de zon (*Sp3*): **2°C**

Het verschil tussen beplanting in de schaduw (*Sp2*) en beplanting in de zon (*Sp1*): **3.0°C**



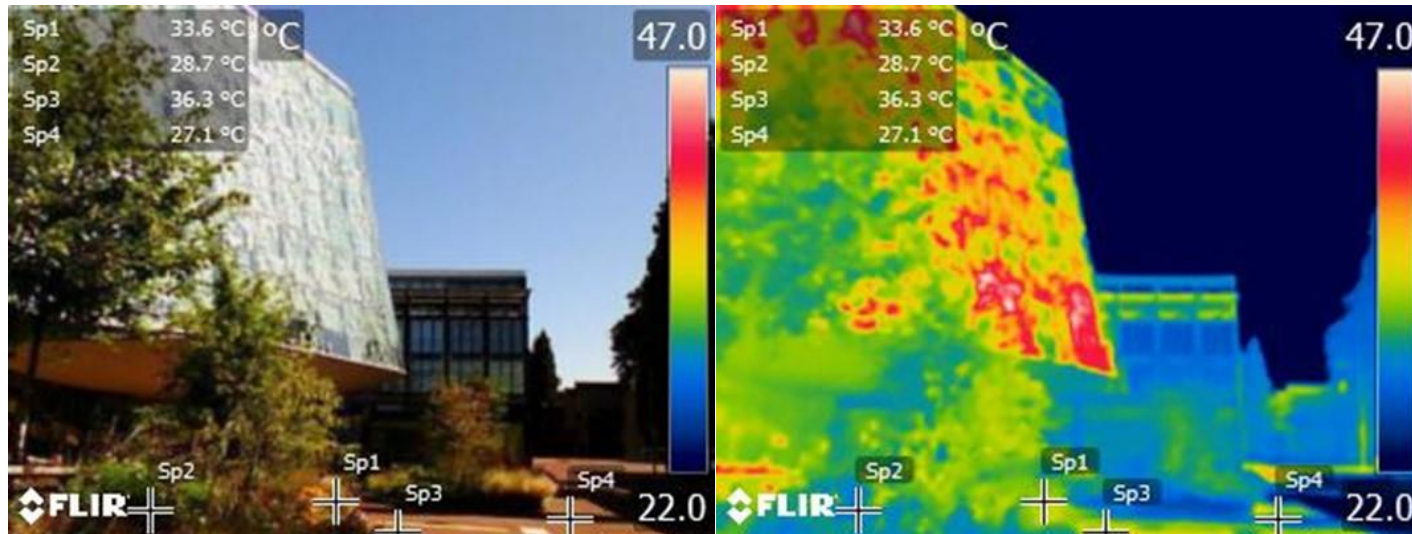
Tracé A4: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen planten (*Sp1*) en bestrating (*Sp3*) in de zon: **2.7°C**

Het verschil tussen planten (*Sp2*) en bestrating (*Sp4*) in de schaduw: **-1.6°C**

Het verschil tussen verharde materialen in de schaduw (*Sp4*) en harde materialen in de zon (*Sp3*): **9.2°C**

Het verschil tussen beplanting in de schaduw (*Sp2*) en beplanting in de zon (*Sp1*): **4.9°C**



Stadhuisplein - Volwassen rode beuken (B)

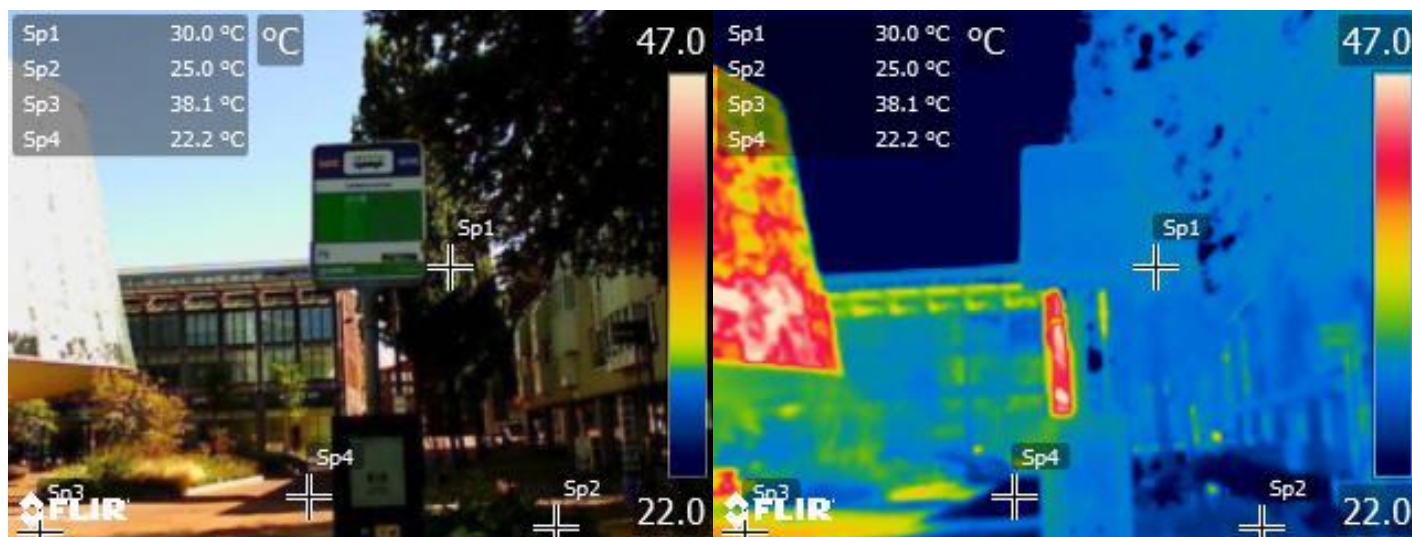
Tracé B1: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen planten (*Sp1*) en bestrating (*Sp3*) in de zon: **8.1°C**

Het verschil tussen planten (*Sp2*) en bestrating (*Sp4*) in de schaduw: **-2.8°C**

Het verschil tussen verharde materialen in de schaduw (*Sp4*) en harde materialen in de zon (*Sp3*): **15.9°C**

Het verschil tussen beplanting in de schaduw (*Sp2*) en beplanting in de zon (*Sp1*): **5°C**



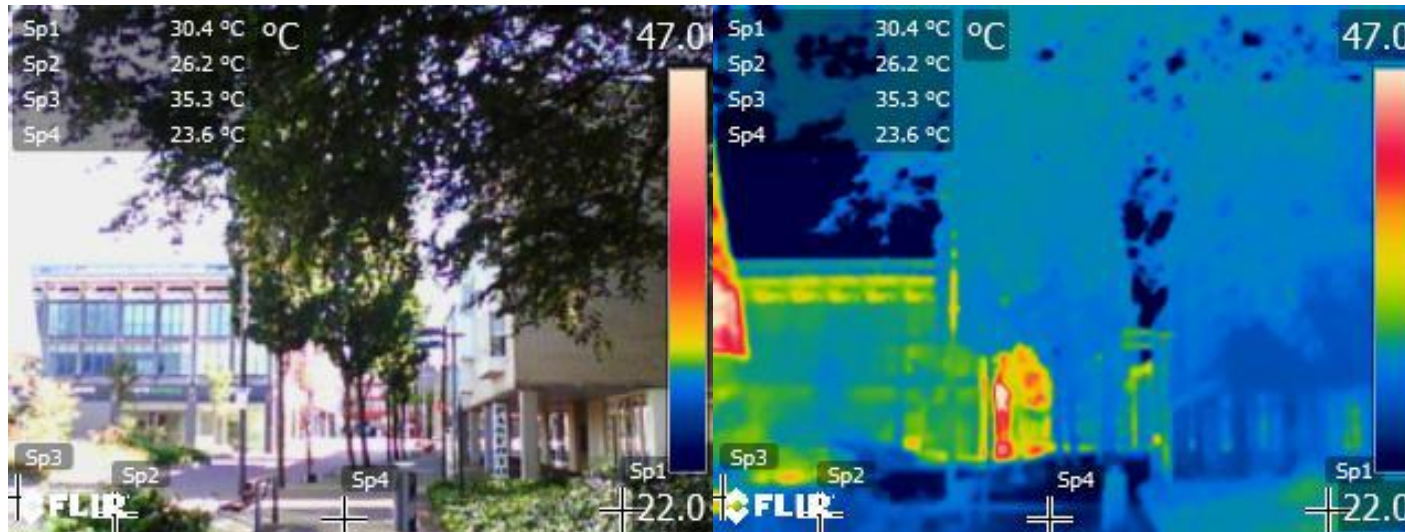
Tracé B2: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen planten (*Sp1*) en bestrating (*Sp3*) in de zon: **4.9°C**

Het verschil tussen planten (*Sp2*) en bestrating (*Sp4*) in de schaduw: **-2.6°C**

Het verschil tussen verharde materialen in de schaduw (*Sp4*) en harde materialen in de zon (*Sp3*): **11.7°C**

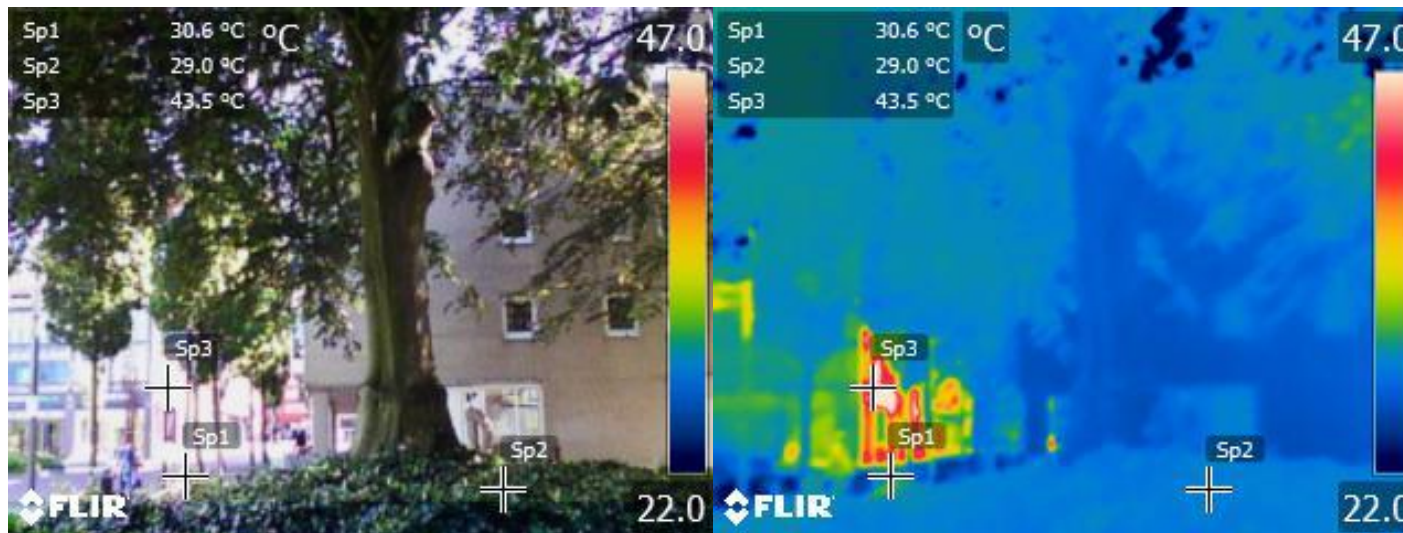
Het verschil tussen beplanting in de schaduw (*Sp2*) en beplanting in de zon (*Sp1*): **4.2°C**



Tracé B3: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen planten (*Sp1*) en verharding (*Sp3*) in de zon: **12.9°C**

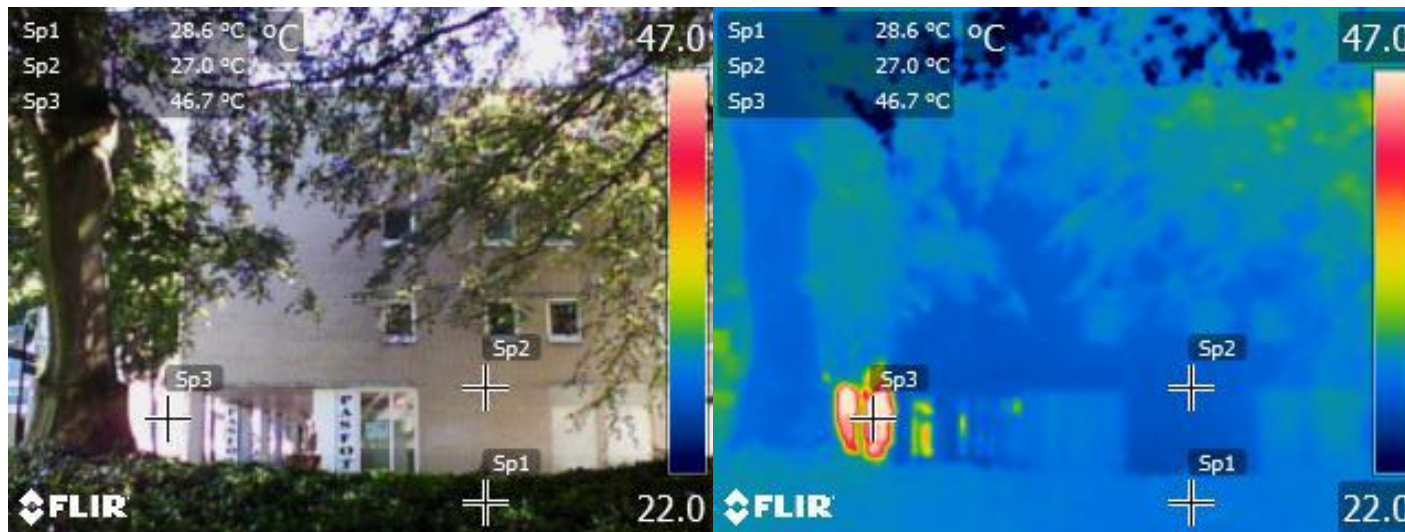
Het verschil tussen beplanting in de schaduw (*Sp2*) en beplanting in de zon (*Sp1*): **1.6°C**



Tracé B4: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen planten (*Sp1*) en verharding (*Sp2*) in de schaduw: **-1.6°C**

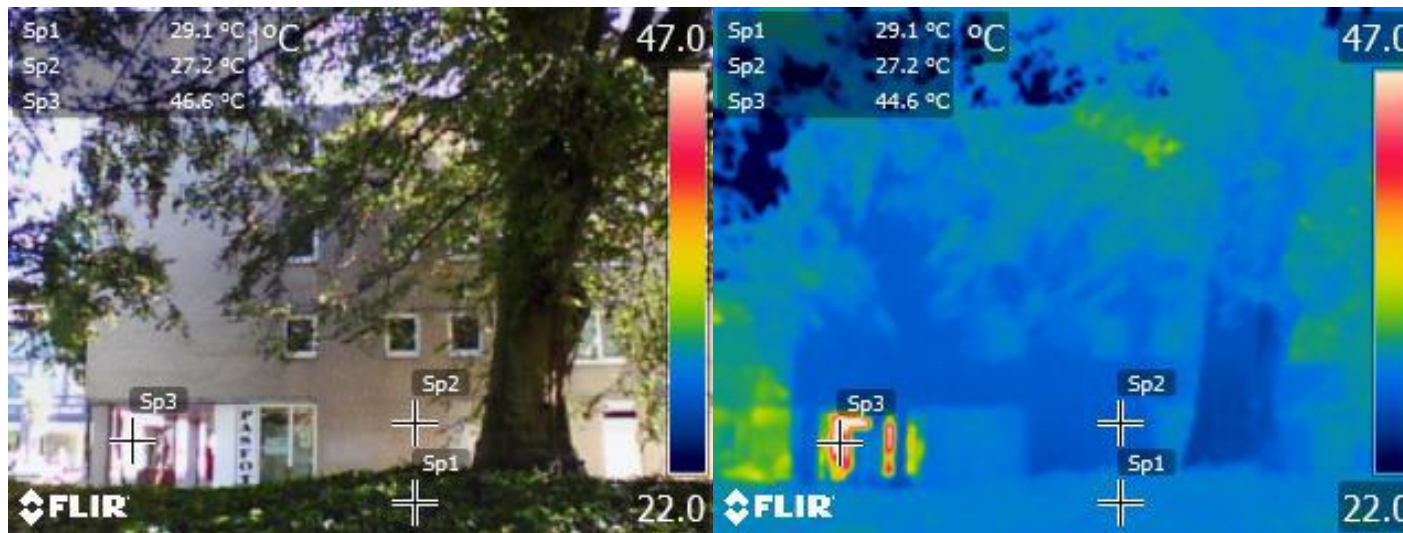
Het verschil tussen verharding in de schaduw (*Sp2*) en verharding in de zon (*Sp3*): **19.4°C**



Tracé B5: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen planten (*Sp1*) en verharding (*Sp2*) in de schaduw: **-1.9°C**

Het verschil tussen verharding in de schaduw (*Sp2*) en harde materialen in de zon (*Sp3*): **19.4°C**



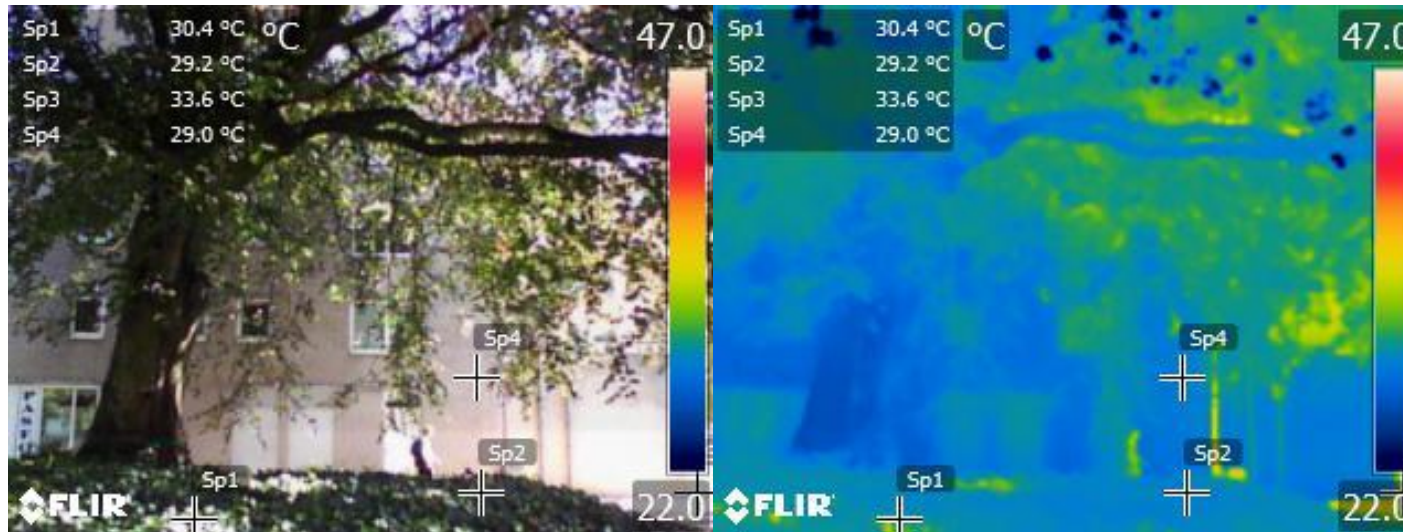
Tracé B6: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen planten (*Sp1*) en verharding (*Sp3*) in de zon: **3.2°C**

Het verschil tussen planten (*Sp2*) en verharding (*Sp4*) in de schaduw: **-0.2°C**

Het verschil tussen verharding in de schaduw (*Sp4*) en harde materialen in de zon (*Sp3*): **4.6°C**

Het verschil tussen beplanting in de schaduw (*Sp2*) en zon (*Sp1*): **1.2°C**

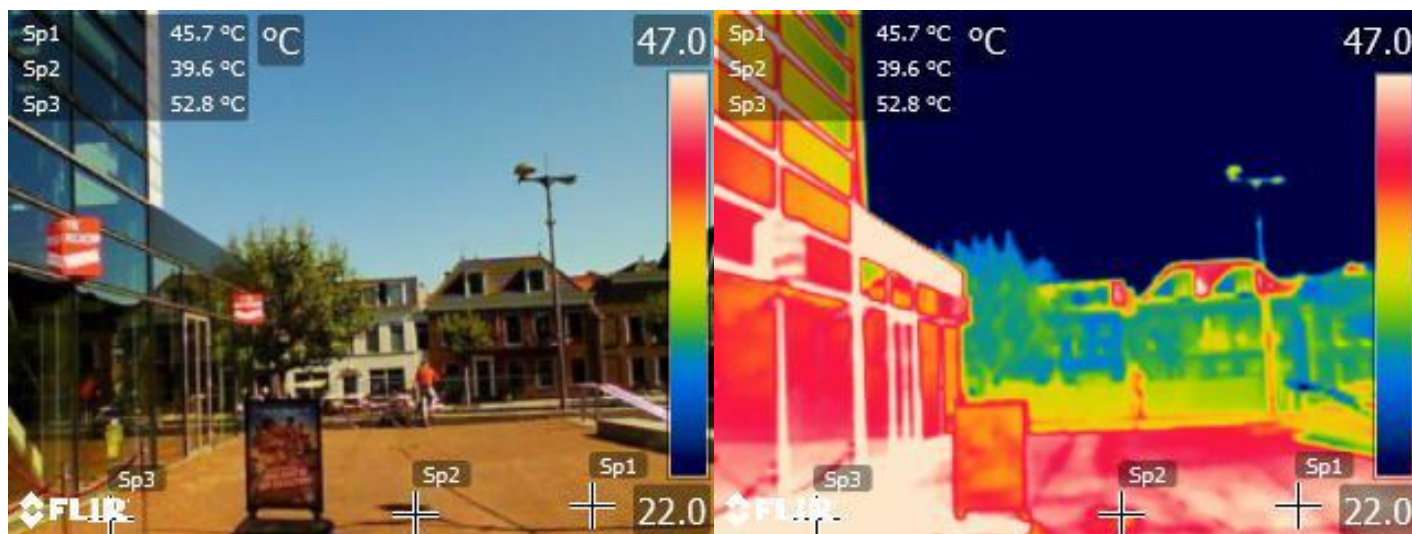


Rijnplein – versteend plein (C)

Tracé C1: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen bestrating schaduw (Sp2) en bestrating in de zon (Sp1): **6.1°C**

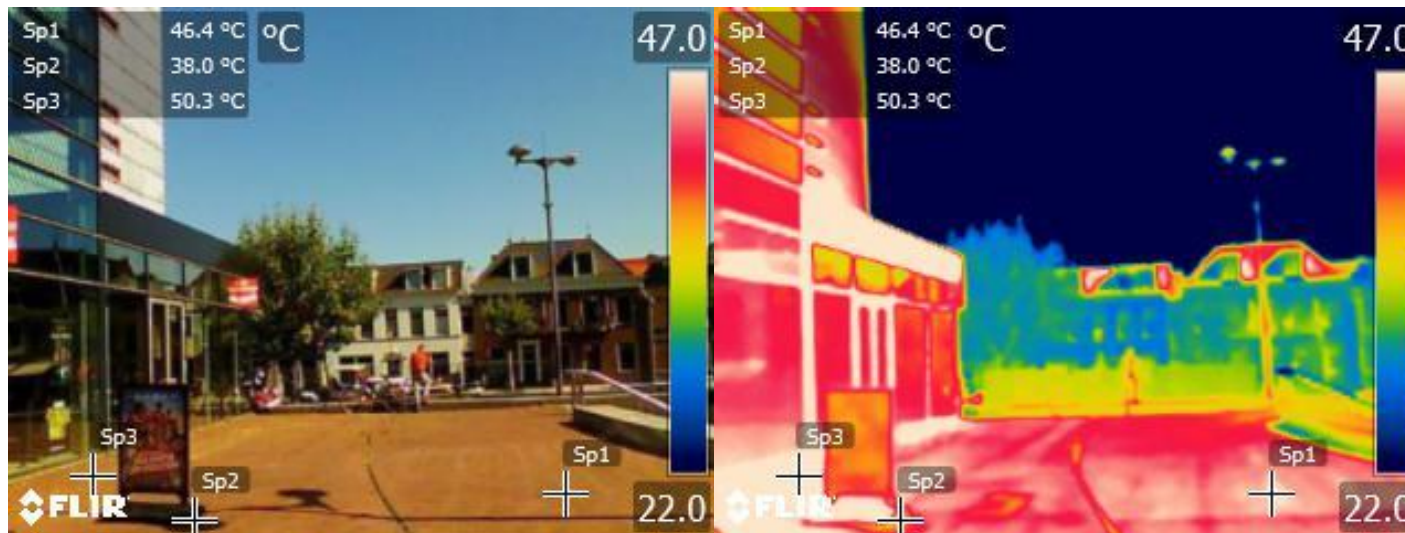
Het verschil tussen bestrating schaduw (Sp2) en bestrating in de zon (Sp3): **13.2°C**



Tracé C2: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen bestrating schaduw (*Sp2*) en bestrating in de zon (*Sp1*): **8.4°C**

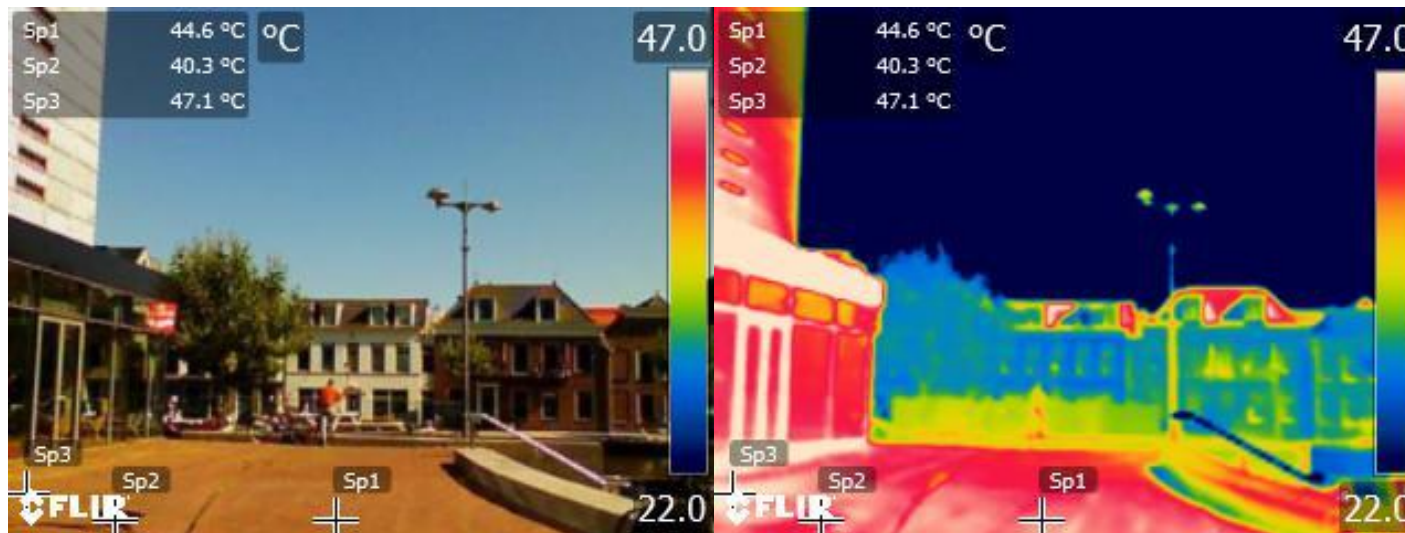
Het verschil tussen bestrating schaduw (*Sp2*) en bestrating in de zon (*Sp3*): **12.3°C**



Tracé C3: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen bestrating schaduw (*Sp2*) en bestrating in de zon (*Sp1*): **4.3°C**

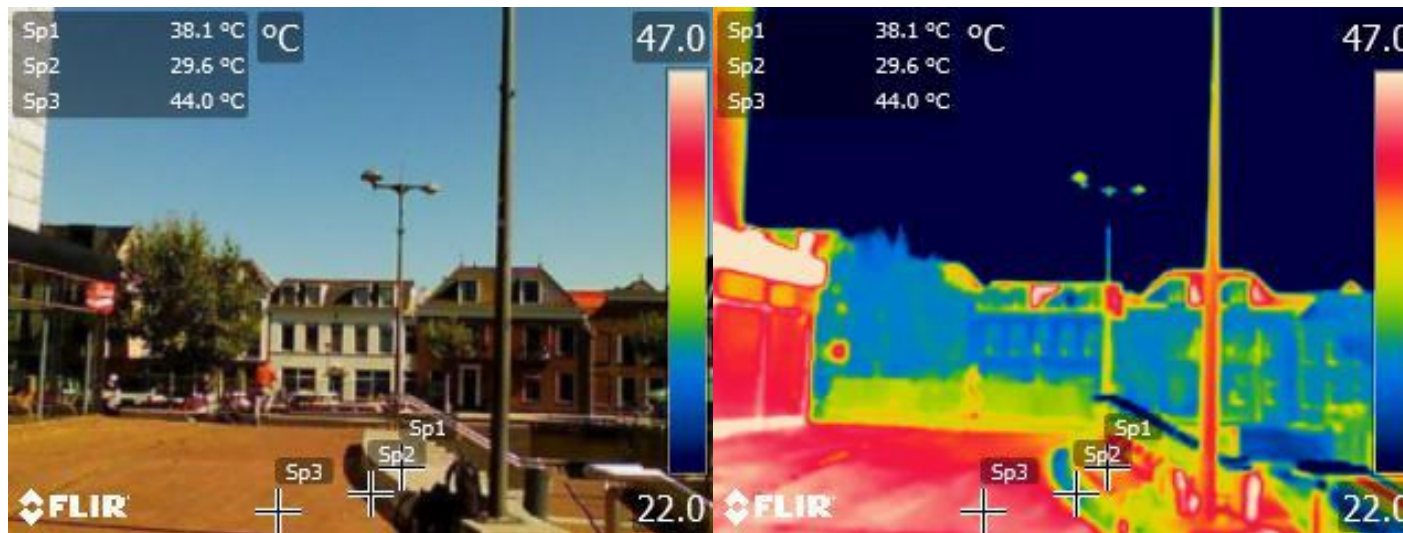
Het verschil tussen bestrating schaduw (*Sp2*) en bestrating in de zon (*Sp3*): **6.8°C**



Tracé C4: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen bestrating schaduw (*Sp2*) en bestrating in de zon (*Sp1*): **8.5°C**

Het verschil tussen bestrating schaduw (*Sp2*) en bestrating in de zon (*Sp3*): **14.4°C**



Tracé C5: Verschil in temperatuur

Het verschil tussen bestrating schaduw (*Sp2*) en bestrating in de zon (*Sp1*): **7.5°C**

Het verschil tussen bestrating schaduw (*Sp2*) en bestrating in de zon (*Sp3*): **7.4°C**

