

TKI project Eco-System-Stad



Rapportage meteo en infraroodmetingen
Alphen aan den Rijn 2024

Colofon

Titel: Rapportage infraroodmetingen Alphen aan den Rijn 2024.

Datum: januari 2025

Auteurs:

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

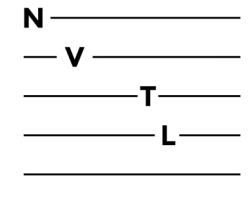
Roy Molenaar - Wageningen University & Research -
roy.molenaar@wur.nl

Fotografie & graphics: Shannen Dill - Wageningen University &
Research

Vormgeving: Viola Bennink - Wageningen University & Research

Volg het project op:

www.ecosysteemstad.nl



Inhoudsopgave

Samenvatting 1

1. Introductie 2

1.1 Het project Eco-Systeem-Stad (2021-2024) 2

1.2 De rol van groen in de stad 2

1.3 Waarom meten? 2

1.4 Onderzoeksvragen 3

1.5 De onderzoeklocaties 3

1.6 Ontwikkeling van de groenstrook 4

2. Warmte bepalen in de stad 5

2.1 De invloed van zonnestraling 5

2.2 Planten en licht 5

2.3 De invloed van landgebruik en materialen op de temperatuur 5

2.4 De gevoelstemperatuur als indicator voor hittestress 7

2.5 De rol van vegetatie op de gevoelstemperatuur 7

3. Materiaal en methode 8

3.1 Meteostations 8

3.2 Bodemvochtsensoren 8

3.3 Warmte vastleggen met thermografie 9

3.3.1 Meetmomenten 9

3.3.2 Randvoorwaarden tracé 9

3.3.3 Meetopstelling en apparatuur 10

3.3.4 Analyse infraroodbeelden 10

4. Resultaten meteo- en bodemvochtmetingen 2024 11

4.1 Algemene weersituatie 11

4.2 Meteorologische condities 11

4.3 Bodemvochtmetingen 13

5. Resultaten warmtebeelden 2024 14

5.1 Groenstrook 14

5.1.1 Hoofdbevindingen 14

5.1.2 Tracé A 15

5.1.3 Verharding en vegetatie 15

5.2 Volwassen beuken (B) 16

5.2.1. Tracé B 16

5.2.2. Gradiënt zon schaduw 17

5.2.3 Doorkijk richting het stadhuis 17

5.2.4 Vooraanzicht rode beuk 18

5.3 Versteend plein (C) 18

5.3.1 Hoofdbevindingen 18

5.3.2 Tracé C 19

6. Discussie en conclusies 20

6.1 Meteorologisch condities 2024: Nat en warm 20

6.2 Verschillen in bodemvocht tussen de groene locaties 20

6.3 Invloed materialen op stedelijke hitte 20

6.4 Vegetatie voor het reduceren van stedelijke hitte 21

6.5 Verschillen in oppervlaktetemperaturen 21

6.6 Windreductie in de stad 22

6.7. Hoofdbevindingen 23

Bronnen 24

Bijlagen :

Meteografieken I

Bodemvocht resultaten II

Infraroodtracés 2024 III

Samenvatting

Om te zorgen dat steden leefbaar en toekomstbestendig blijven is stedelijke groen een belangrijk onderdeel dat helpt bij klimaatadaptatie en het creëren van een prettige koele leefomgeving. 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. Alphen aan den Rijn dient hierbij als pilot waarbij we de daadwerkelijk verkoelende werking van bestaand en nieuw groen over een periode van tien jaar monitoren. Onze hypothese is dat de gevoelstemperatuur op zomerse dagen op de groene pleinen lager is dan op het versteende plein, en dat het verkoelende effect met het groeien van de bomen en planten op het recent aangelegde Stadhuisplein over die periode van tien jaar ook daadwerkelijk toeneemt.

Dit rapport documenteert de bevindingen van de infrarood, de continue meteo- en bodemvochtmetingen in Alphen aan den Rijn voor 2024. Er wordt gemonitord op drie locaties: een nieuwe biodivers beplante groenstrook, bij volgroeide rode beuken en een verhard stedelijk plein. Met behulp van thermografie, meteostations en bodemvochtsensoren is onderzocht en gekwantificeerd hoe vegetatie de stedelijke hitte vermindert en hoe zich dat uit in oppervlaktetemperatuur en gevoelstemperatuur.

Het jaar 2024 verliep warmer dan gemiddeld en kenmerkte zich door veel neerslag, met name het begin van het jaar. Er waren meerdere warme dagen, maar van een langdurige hittegolf was geen sprake. Op 12 augustus, een van de warmste dagen van het jaar, zijn de infraroodmetingen uitgevoerd. De resultaten lieten grote temperatuurverschillen zien tussen de vegetatie en verharde oppervlakken, waarbij de vegetatie significant koeler was. Met name schaduwplekken vertoonden oppervlaktetemperaturen die tot 19 °C lager waren dan verharde oppervlakken in de zon op het Rijnplein. Reflecterende materialen, zoals de glazen gevel van het Stadhuis, versterkten echter de lokale hitte door zonnestraling te reflecteren naar aangrenzende oppervlakken.

De meteodata lieten zien dat de gevoelstemperatuur flink op kan lopen richting de 35 graden Celsius tijdens een warme dag voor zowel het versteende plein als voor de groenstrook. Het meteostation bij de oude monumentale beuk liet zien dat het

aanzienlijk koeler was en de gevoelstemperatuur onder de 30 graden Celsius bleef tijdens het heetst van de dag. Ook tijdens de nacht en de warme dagen erna bleven er verschillen te zien waarbij het op het versteende plein het langste warm bleef. Voor de zomerperiode van april tot en met september lag de luchttemperatuur op het versteende plein gemiddeld één graad hoger dan de groene locaties. De gevoelstemperatuur lag voor deze periode gemiddeld 1,5 graad hoger op het versteende plein dan bij de beuk. Ook waren er veel verschillen te zien in het bodemvochtgehalte tussen de geïrrigeerde groenstrook en bij de beuk waarbij de groenstrook meer bodemvocht bevatte dan de bodem bij de beuk. Bovendien bleef het bodemvochtgehalte constant in de (geïrrigeerde) groenstrook tijdens de drogere maand augustus terwijl deze voor de beuk juist flink afnam.

De bevindingen onderstrepen het belang van stedelijk groen voor het verminderen van hittestress en het verbeteren van thermisch comfort. De verkoelende werking van vegetatie wordt beïnvloed door factoren als de waterbeschikbaarheid, conditie van het groen en lokale windomstandigheden. De meetresultaten benadrukken de noodzaak van de juiste materiaal- en vegetatiekeuzes in de stedelijke inrichting, maar ook het slim inzetten van irrigatie voor de vitaliteit van het groen en daarmee de leefbaarheid van de stad. In de komende jaren zullen meer meetresultaten worden verzameld en geanalyseerd om te kijken hoe het groen zich over de jaren heen ontwikkelt en de effecten daarvan op de gevoelstemperatuur.

1. Inleiding

1.1 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.

1.2 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.

1.3 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.

1.4 Onderzoeksvragen

Met de metingen willen we uiteindelijk de volgende onderzoeksvragen beantwoorden, die zullen worden beantwoord in de eindrapportage na tien jaar meten:

- 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?

1.5 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.

1.6 Ontwikkeling van de groenstrook

De recent aangelegde groenstrook is in één jaar al veel veranderd. In het onderstaande figuur 3 hebben we de situatie in 2023 en 2024 langs elkaar gezet. Er valt direct op dat zowel de onderbegroeiing als bomen flink in omvang zijn toegenomen. De onderbegroeiing is een stuk dichter geworden. In 2024 was er amper kale bodem zichtbaar en waren er volop insecten zoals bijen en vlinders aanwezig. De boom in het midden van de groenstrook is flink gegroeid in de hoogte maar ook de omvang van de boomkroon is flink toegenomen waardoor er ook meer schaduw ontstaat rondom de boom.



Figuur 3. Foto's van groenontwikkeling van de groenstrook in 2023 (links) en 2024 (rechts).

2. Warmte bepalen in de stad

2.1 De invloed van zonnestraling

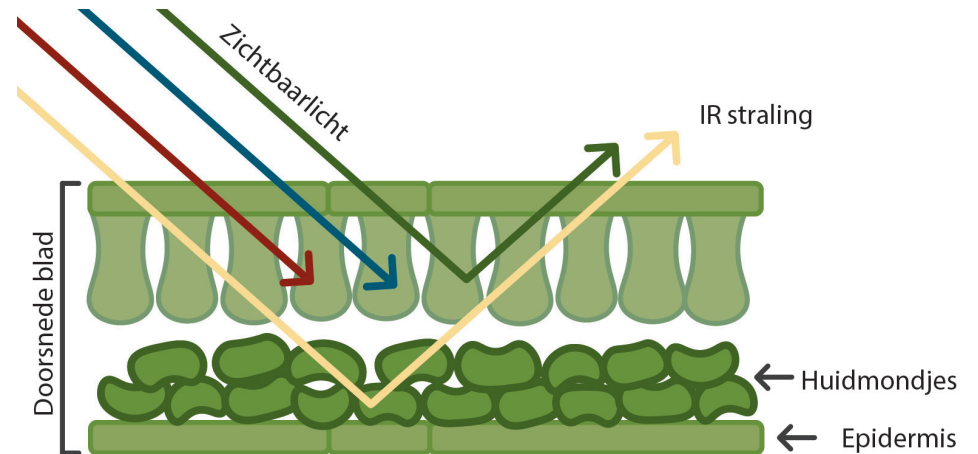
De zonnestralen die de aarde bereiken kunnen worden onderverdeeld in onder andere zichtbaar licht en infraroodstraling. Iedere soort straling heeft een andere golflengte. Het zichtbaar licht is voor mensen waarneembaar en heeft een golflengte die varieert tussen de 380 nm – 790 nm. In het spectrum van 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.

2.2 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 4. 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.

Vooraf 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 blad temperatuur. Ook kan infraroodstraling van nabije bronnen invloed hebben op de bladtemperatuur van vegetatie.



Figuur 4. Absorptie en reflectie van zichtbaar licht (rood, blauw en groen) en infraroodlicht in een blad.

2.3 De invloed van landgebruik en materialen op de temperatuur

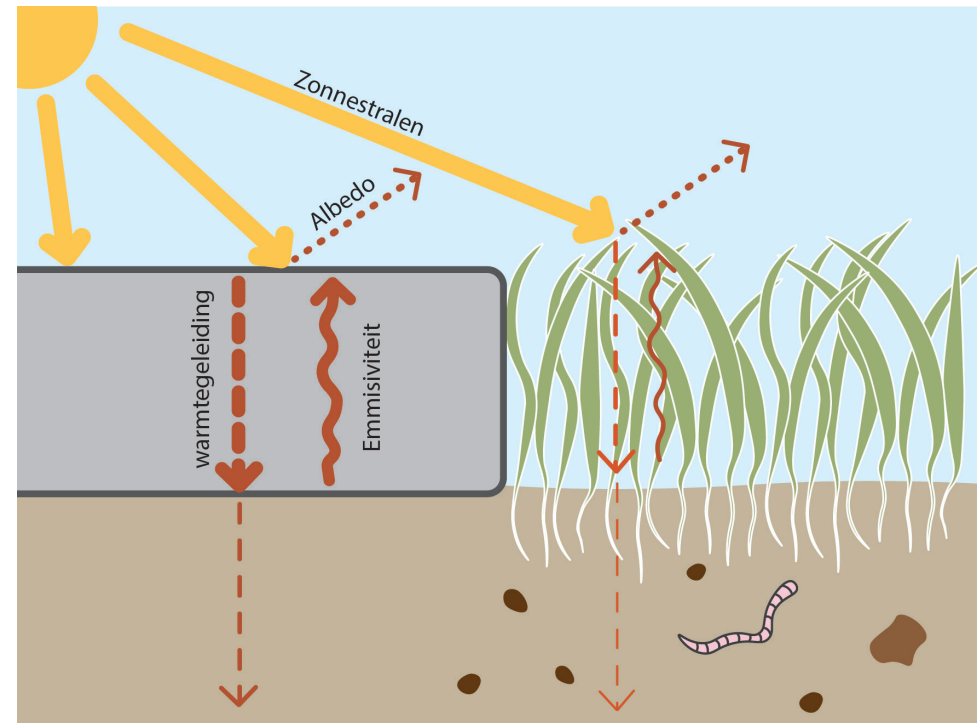
Vormen van landgebruik en verschillende **materialen** hebben invloed op hoe we als mens de temperatuur ervaren. Verharde materialen als bestrating of bakstenen nemen gedurende de dag veel energie (warmte) op van de zon en hebben daardoor vaak een hogere temperatuur dan natuurlijke materialen zoals planten 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 5 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 5 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), Litterfair (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

2.4 De gevoelstemperatuur als indicator voor hittestress

Hittestress kan bepaald worden door verschillende thermische indices, zoals de Universal Thermal Climate Index (**UTCI**) en de Physical Equivalent Temperature (**PET**). In dit onderzoek focussen we ons op de PET, die gebruikelijk is bij het bepalen van de gevoelstemperatuur (Matzarakis et al., 1999). De PET is een thermische index die onder andere de gecombineerde effecten van luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windsnelheid en stralingsintensiteit op het menselijk lichaam weergeeft. De PET-waarde verschilt daarnaast door persoonsgebonden eigenschappen zoals geslacht, kledingisolatie en BMI. De PET-waarde wordt uitgedrukt in graden Celsius en helpt bij het evalueren van het thermisch comfort. De categorieën van hittestress variëren van geen thermische stress tot extreme hittestress (Tabel 2).

Tabel 2 Categorieën van de PET voor hittestress, gebaseerd op Matzarakis et al., 1999.

PET	Thermische perceptie	Graad fysiologische stress
18-23 °C	Comfortabel	Geen thermische stress
23-29 °C	Beetje warm	Lichte hittestress
29-35 °C	Warm	Matige hittestress
35-41 °C	Heet	Sterke hittestress
> 41 °C	Zeer heet	Extreme hittestress

2.5 De rol van vegetatie op de gevoelstemperatuur

Er zijn verschillende manieren hoe vegetatie de gevoelstemperatuur (PET) kan reduceren en daarmee het thermisch comfort kan verbeteren. De belangrijkste mechanismen zijn:

- **Schaduwwerking:** Bomen en planten reduceren zonnestraling en voorkomen daarmee directe opwarming van het (straat)oppervlak. Hierdoor wordt de hoeveelheid warmte die door de grond en gebouwen wordt geabsorbeerd verminderd. In de schaduw van een boom kan de PET 9 tot 13 graden lager zijn dan in de zon (Kluck et al., 2020a, Weppelman et al. 2023).
- **Evapotranspiratie:** Planten geven waterdamp af via hun bladeren, waardoor de omringende lucht afkoelt. Doordat verdamping van water energie (warmte) kost, zorgt dit voor verkoeling. Hoe meer beplanting, hoe meer verkoeling.
- **Windcirculatie:** Vegetatie, vooral hoge of dichte begroeiing, kan de wind beïnvloeden. Wind speelt een grote rol bij de bepaling van de gevoelstemperatuur. Door meer ruimte kan wind tot aan de grond komen en voor verkoeling zorgen (Lenzholzer, 2015).
- **Vermindering oppervlaktetemperatuur:** Gras en struiken verlagen de oppervlaktetemperatuur in vergelijking met kale grond, asfalt of beton dankzij hun materiaaleigenschappen zoals hierboven beschreven. Beplanting neemt minder warmte op zoals bijvoorbeeld asfalt, baksteen en beton dat doen. Hierdoor geeft beplanting ook amper warmte af en koelt de omgeving sneller af als de zon weg is (Kluck et al., 2020a).

Waterbeschikbaarheid is essentieel voor vegetatie om stedelijke hitte tegen te gaan. Een goede waterbeschikbaarheid dankzij irrigatie zou er potentieel aan bij kunnen dragen dat de transpiratie hoger is tijdens warme periodes dan wanneer er geen irrigatie plaatsvindt. Toch zijn er ook beperkingen en neemt de transpiratie over het algemeen af tijdens hittegolven wat de verkoelende werking van groen reduceert (Gao et al., 2024). Daarentegen kan een te hoge luchtvochtigheid in sommige omstandigheden ook een de gevoelstemperatuur verhogen.

3. Materiaal en methode

3.1 Meteostations

De infraroodmetingen zijn een pure momentopname. Om ook uitspraken te kunnen doen over de verschillen in gevoelstemperatuur tussen de drie verschillende locaties, is er op elke locatie een meteostation geïnstalleerd (Figuur 6). Gekozen is de sensoren te bevestigen op een hoogte van ongeveer 3 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 3 meter is ook gekozen vanuit veiligheidsoverwegingen, want een lagere ophanghoogte zou een groter risico met zich meebrengen op vandalisme in het drukke centrum van Alphen aan den Rijn. Omdat de sensoren hoger hangen dan de gebruikelijke hoogte van 1.5 meter waarop meestal de gevoelstemperatuur wordt bepaald, wordt er een correctie toegepast voor de windsnelheid.

Boven de sensoren is de datalogger geplaatst. Deze datalogger heeft een accu die gebruik maakt van de stroom van de lantaarnpaal zodat deze tijdens de avonduren kan opladen. De meteosensoren zijn van het type LUFFT WS501-UMB (firma Koenders). Deze meten de volgende meteorologische variabelen: luchttemperatuur, luchtdruk, relatieve vochtigheid, zonnestraling, windsnelheid en windrichting. De meteostations zijn operationeel sinds 13 maart 2024. 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 6 De weerstations op de verschillende meetlocaties in het stadshart van Alphen aan den Rijn.

3.2 Bodemvochtsensoren

Naast de weerstations zijn ook bodemvochtsensoren geplaatst, zodat ook het bodemvocht en de temperatuur in de bodem gemonitord kan worden, zie Figuur 7. Dit geldt alleen voor de groene locaties op het Stadshuisplein aangezien het Rijnplein volledig versteend bodemvocht daar geen relevante variabele is.

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.

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



Figuur 7 Installatie van de bodemvochtsensoren bij de beuk (links) en in de groenstrook (rechts) in maart 2024.

3.3 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 koude 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.

3.3.1 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.

3.3.2 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 8). 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 8 Het tracé met meetnummers en kijkrichting op het Stadhuisplein (links) en Rijnplein (rechts).

3.3.3 Meetopstelling en apparatuur

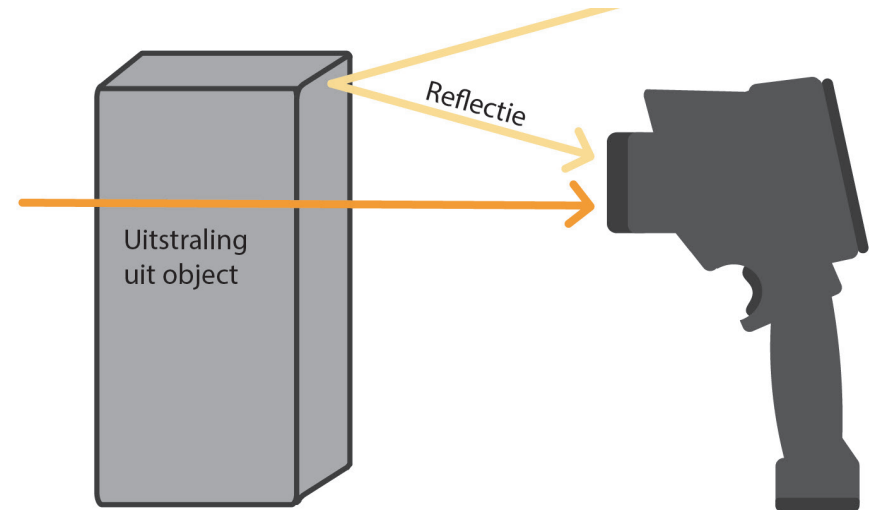
Voor het maken van de infraroodbeelden wordt gebruik gemaakt van een FLIR E6 infraroodcamera. Deze is bevestigd op een statief in een hoek van 15 graden op een hoogte van 1.55 meter (hart-lens) ten opzichte van het maaiveld en maakt tegelijk een IR foto en een normale (zichtbaar-licht) foto van dezelfde 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.

3.3.4 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 9. 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 9 Schematische weergave energiestromen die samen het warmtebeeld vormen dat wij zien.



4. Resultaten meteo- en bodemvochtmetingen 2024

Deze sectie beschrijft de hoofdresultaten van de meteostations en bodemvochtsensoren. De overige resultaten zijn te vinden in de bijlage van dit rapport.

4.1 Algemene weersituatie

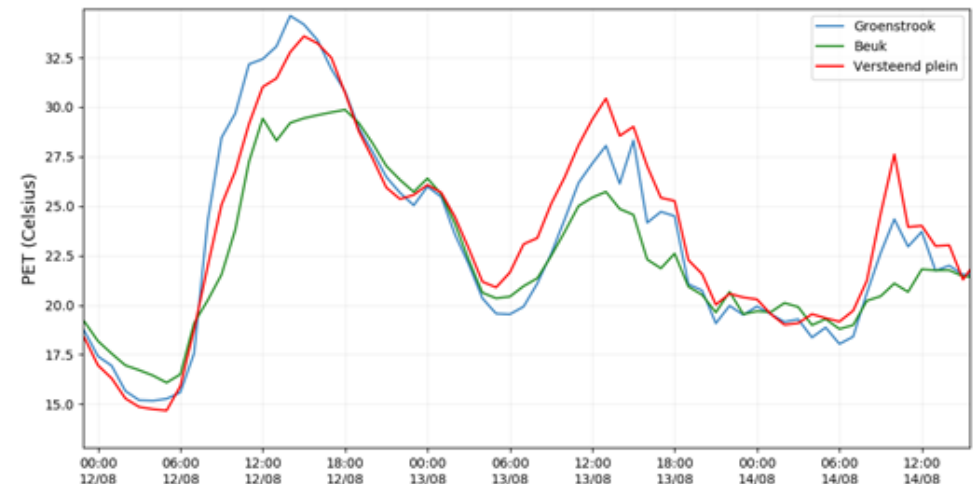
Het jaar 2024 was over het algemeen behoorlijk nat verlopen, maar de maand augustus verliep relatief droog in vergelijking met de andere maanden. Ook was het over het hele jaar warmer dan gemiddeld en waren er meerdere warme dagen. Echter was er van een langdurige hittegolf geen sprake dit jaar en was de hitte meestal van korte duur. Om een indruk te krijgen van de algemene weercondities tijdens de infraroodmetingen op 12 augustus 2024, is allereerst gekeken naar de KNMI-weerstations De Bilt en Rotterdam Airport (Tabel 3). Deze registreerden een maximumtemperatuur van 30,9 °C in de Bilt en 31,7 °C in Rotterdam. Daarbij stond er een zwakke wind (windkracht 2) vanuit een zuidoostelijke richting. Het was daarmee een van de warmste dagen van het jaar. Toch ging het hier om slechts een korte hittepiek en was er geen sprake van een hittegolf.

Tabel 3 Dagwaarden voor de maximumtemperatuur, gemiddelde windsnelheid en windrichting voor de KNMI-weerstations De Bilt en Rotterdam Airport op 12 augustus 2024 (KNMI, 2024)

	Maximumtemperatuur	Windsnelheid	Windrichting
De Bilt	30,9 °C	2,7 m/s	ZO
Rotterdam	31,7 °C	3,2 m/s	ZO

4.2 Meteorologische condities

Figuur 10 laat het verloop zien van de gevoelstemperatuur de PET die gemeten is door de meteostations voor de groene locaties op het Stadhuisplein en het versteende plein op het Rijnplein op 12, 13 en 14 augustus 2024. Op 12 augustus liep de gevoelstemperatuur flink op. Dit gebeurde het snelste voor de groenstrook met een PET van bijna 35 graden Celsius. Ook op het volledig versteende plein liep de gevoelstemperatuur behoorlijk op en lag deze met ruim 33 graden slechts een paar graden lager. De koelste plek was die onder de oude beuken met een PET van minder dan 30 graden Celsius, een verschil van 5 graden lager. De daaropvolgende nacht en dagen erna was te zien dat de gevoelstemperatuur op het versteende plein juist langer hoog bleef met een verschil tot 2,5 graden tussen de groenstrook en het versteende plein.



Figuur 10 Physical Equivalent Temperature (PET) op 12, 13 en 14 augustus 2024 voor de drie meetlocaties.

In Tabel 4 zijn de gemiddelde, minimum- en maximumtemperatuur, en de PET te zien voor de verschillende meetlocaties per maand voor het zomerseizoen van 2024. Duidelijk is te zien dat met name tijdens de warme maanden juli en augustus, de gemiddelde temperatuur hoger ligt op het volledig versteende plein in vergelijking met de groen locaties. De gemiddelde luchttemperatuur op 3-meter hoogte kwam uit op 18,6 °C in juli en 20,2 °C in augustus bij de groenstrook. Op het versteende plein was dit 18,9 °C in juli en 20,5 °C in augustus. Bij de beuk was die 18,4 en 20,0 °C voor dezelfde maanden. Daarmee lag de gemiddelde luchttemperatuur slechts enkele tienden lager voor de groene locaties in vergelijking met het volledig versteende plein.

Tabel 4 Gemiddelde, minimum, maximumtemperatuur en PET per maand voor het zomerseizoen (apr-sep) in 2024. G = groenstrook; B = beuk; VP = verstaand plein.

		april			mei			juni		
		G	B	VP	G	B	VP	G	B	VP
T(°C)	gemiddelde	11,1	11,0	11,3	15,8	15,6	16,1	16,4	16,2	16,7
	minimum	1,8	2,0	2,4	8,6	8,7	8,8	9,9	9,6	10,0
	maximum	23,6	23,4	23,9	26,6	26,2	26,4	30,4	29,1	30,0
PET (°C)	gemiddelde	7,9	7,8	9,0	14,4	13,6	14,9	15,0	14,0	16,0
	minimum	-0,3	-0,9	-0,2	5,8	6,8	6,7	6,7	5,7	7,0
	maximum	21,8	20,3	23,3	28,9	24,1	27,3	37,3	30,7	34,0

		juli			augustus			september		
		G	B	VP	G	B	VP	G	B	VP
T(°C)	gemiddelde	18,6	18,4	18,9	20,2	20,0	20,5	16,7	16,5	16,8
	minimum	11,8	11,8	12,0	13,6	13,4	13,8	7,8	7,9	7,8
	maximum	30,5	29,8	30,3	31,6	31,0	31,6	30,1	29,1	29,8
PET (°C)	gemiddelde	17,4	16,6	18,4	19,2	18,3	20,0	15,4	14,6	15,7
	minimum	8,6	9,3	10,2	10,6	11,5	11,5	5,2	6,3	5,1
	maximum	37,2	29,3	34,1	34,6	29,9	33,6	33,8	28,2	32,9

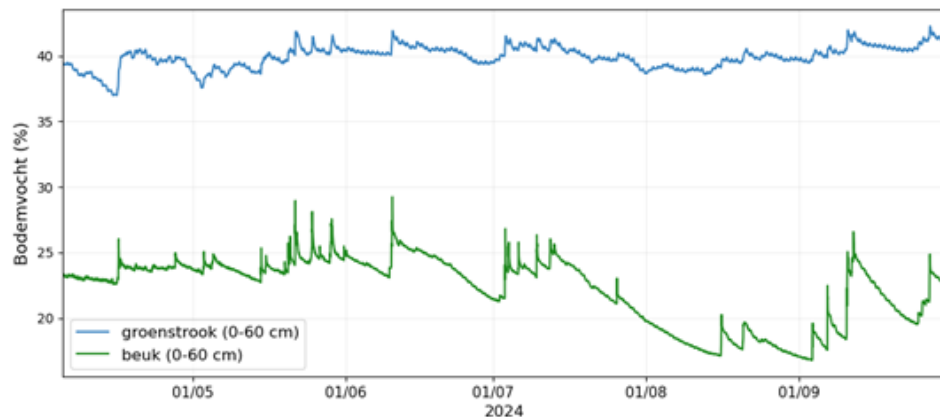
Voor de gevoelstemperatuur (PET) waren de verschillen groter tussen de locaties. De PET was gemiddeld voor de groenstrook 17,4 °C in juli en 19,2 °C in augustus, terwijl deze voor het versteende plein 18,4 °C en 20,0 °C was voor dezelfde maanden, een verschil van respectievelijk 1,0 tot 0,8 °C (Tabel 5). Eenzelfde verschil zien we ook terug voor het hele zomerseizoen waarbij de PET tot één graad gemiddeld kan verschillen tussen de groenstrook en het versteende plein. Voor de maximumwaardes is dit verschil kleiner waarbij soms de groenstrook evenveel hittestress ervaart dat gelijk wordt dit veroorzaakt door extra instraling van de glazengevel. De beuk is in vrijwel alle gevallen de koelste locatie met een gemiddelde gevoelstemperatuur van 16,6 °C en 18,3 °C in juli en augustus. Daarmee lag de PET bijna 2 graden lager onder de beuk dan op het versteende plein.

Tabel 5 Verschillen in de PET (°C) tussen de drie meetlocaties voor juli, augustus en voor het zomerseizoen (apr-sep) in 2024.

	groenstrook	beuk	versteende plein	('verkoelend effect groen')	
				Vershil plein-groenstrook	Vershil plein - beuk
juli	17,4°C	16,6°C	18,4°C	1,0°C	1,8°C
augustus	19,2°C	18,3°C	20,0°C	0,8°C	1,7°C
zomerseizoen (apr-sep)	13,9°C	13,2°C	14,7°C	0,8°C	1,5°C

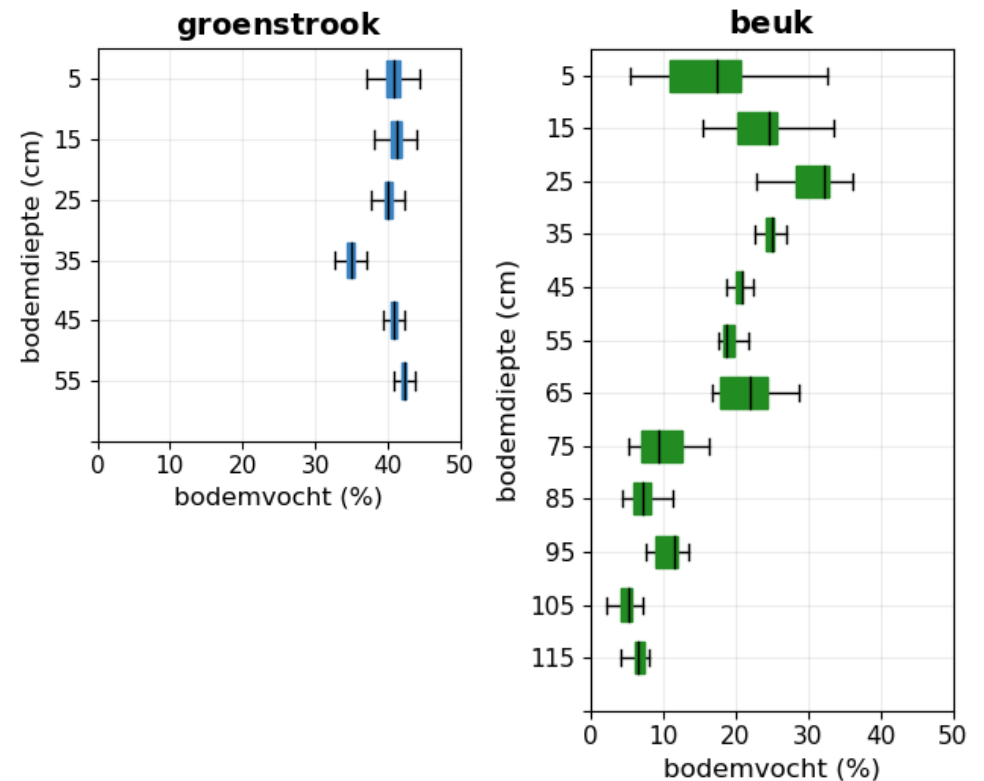
4.3 Bodemvochtmetingen

In Figuur 11 is het bodemvochtgehalte weergegeven gemiddeld over de laag van 0 tot en met 60 cm voor de periode april tot en met september. Door het gemiddelde te nemen de bodemlaag krijgen we een beter beeld hoeveel water er aanwezig is in de bodem. Voor de geïrrigeerde groenstrook op het Stadhuisplein ligt deze rond de 40% en is vrij stabiel. Het bodemvochtgehalte bij de beuk ligt aanzienlijk lager en is minder constant. Met name tijdens droge periode zakt deze terug tot onder de 20%. Dit betekent dat er aanzienlijk minder water beschikbaar was wat mogelijk te danken is aan een zanderige ondergrond en minder organisch materiaal in vergelijking met de recent aangelegde groenstrook, maar ook het daar ontbreken van irrigatie.



Figuur 11 Bodemvochtgehalte voor de laag van 0 tot 60 cm voor de groenstrook en de beuk gedurende april tot en met september.

De horizontale boxplots (Figuur 12) laten goed de verdeling zien van het bodemvocht (%) voor de verschillende dieptes voor zowel de groenstrook als bij de beuk voor de periode april tot en met september. Bij de groenstrook ligt de mediaan rond de 40% terwijl dit bij beuk meer uiteenloopt waarbij de grootste verdeling te zien is aan het oppervlak, maar ook rond de 65 en 75 cm diepte. Deze resultaten laten zien dat het bodemvochtgehalte veel constant blijft voor de groenstrook dan voor de beuk. Ook ligt het bodemvochtgehalte aanzienlijk lager bij de beuk en neemt deze af met toenemende diepte. Op meer dan een meter diepte ligt het bodemvochtgehalte onder de 10%. Mogelijk is dit te verklaren door het zanderige bodemmateriaal dat minder bodemvocht kan bevatten dan de meer humusrijke bodem van de groenstrook dat meer organisch stof bevat.



Figuur 12 Horizontale boxplots van het bodemvocht (%) met de diepte voor de groenstrook en bij de beuk van april tot en met september 2024. De boxen geven het 25e en 75e percentiel aan, de whiskers geven het 10e en 90e percentiel aan, de horizontale lijn binnen de box geeft de mediaan aan.

5. Resultaten warmtebeelden 2024

De infraroodmetingen zijn uitgevoerd op een zonnige dag op 12 augustus 2024. 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 6. In totaal namen de opnames een kleine 4 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.

5.1 Groenstrook

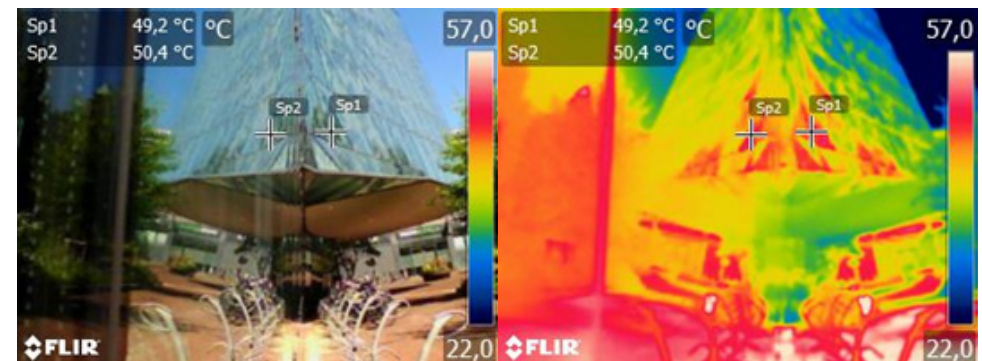
5.1.1 Hoofdbevindingen

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 naar maaiveld) is goed terug te zien in de oppervlaktetemperatuur van de bestrating die in de zon vaak boven de 50 °C uitkomt. Er worden zelfs temperaturen gemeten van bijna 56 °C direct langs de glazenwand. Zelfs in de schaduw komt de temperatuur meermaals boven de 40 °C. Naarmate de afstand van de glazen gevel groter wordt zien we de oppervlaktetemperatuur van de bestrating in de zon dalen tot onder de 35 °C.

De omvang van de groenstrook is flink toegenomen ten opzichte van 2023. De oppervlaktetemperaturen in de groenstrook variëren veelal tussen de 29 en 35 graden. Hierbij zien we lichte verschillen tussen plekken in de zon en in de schaduw. Deze variatie is echter vrij beperkt. Doordat de vegetatie veel dichter is gegroeid is de bodem amper zichtbaar en begint er door de hoogteverschillen tussen de vegetatie lokaal schaduw te ontstaan. De hogere temperaturen worden met name 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 vanuit de glazengevel en omliggende bestrating die warmte uitstralen.

De glazen gevel op het Stadhuisplein heeft verschillende vormen waarbij het glas is voorzien van diverse motieven en een zonwerende coating (Ocatatube, 2024). De 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.

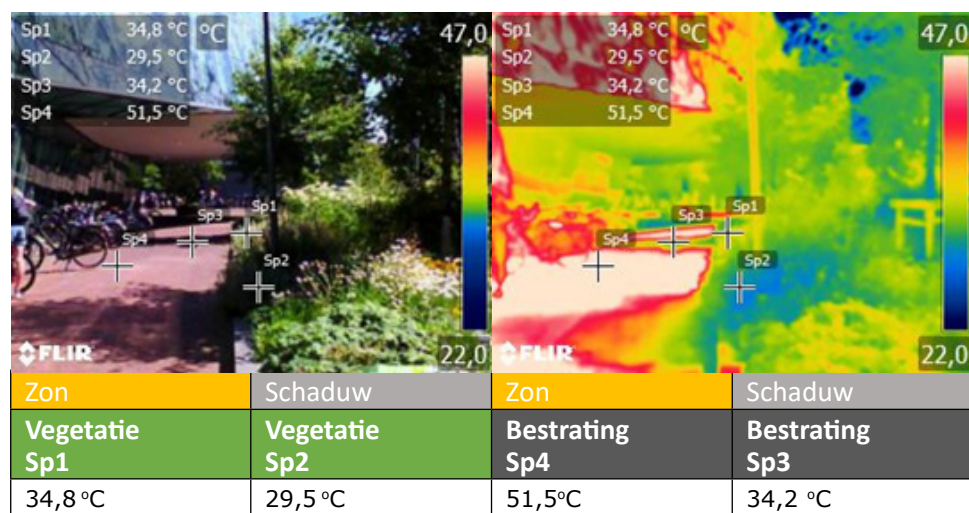
In het Figuur 13 is de invloed van de glazen gevel goed te zien. Zoals eerder toegelicht reflecteert glas een groot deel van de warmtestralen. Dit is goed te zien in de infrarood afbeelding. We zien namelijk een weerspiegeling van de fietsenrekken en fietsen in het glas. De temperaturen die we via het glas waarnemen is dus veelal een weerspiegeling van de temperaturen van de omgeving.



Figuur 13 Weergave van reflectie van de warmte via de glazen gevel van het Stadhuis

5.1.2 Tracé A

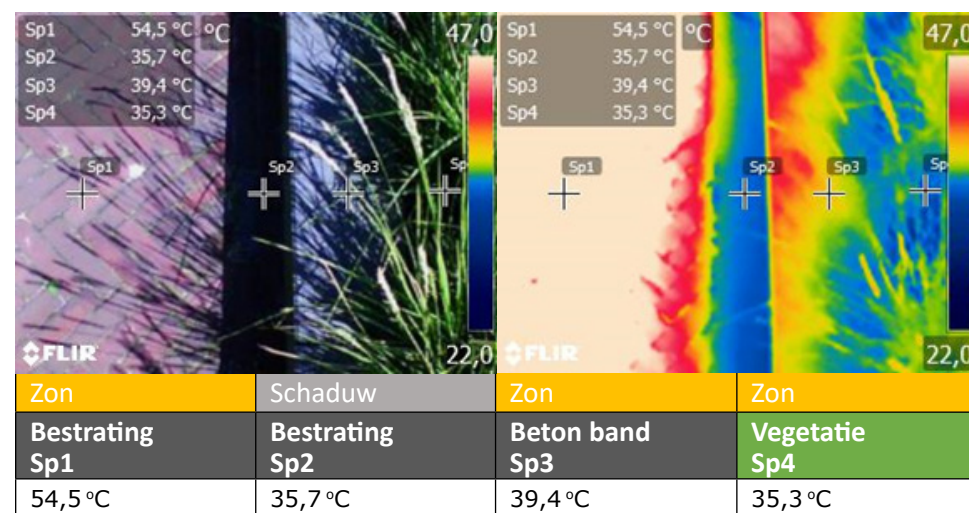
Het tweede meetpunt van het tracé (Figuur 14) laat het verschil goed zien tussen de groenstrook en de bestrating. De temperaturen in de zon op de bestrating lopen op tot 50 graden en naast de glazen gevel worden zelfs temperaturen waargenomen van 51.5 °C (Sp4). De invloed van schaduw is goed te zien op de bestrating hier blijven de temperaturen beneden de 35 graden. In de groenstrook liep de temperatuur op tot 34.8 °C (Sp1) in de zon. Dit resulteert in een temperatuurverschil van ruim 16 °C. De vegetatie in de schaduw laat een lagere temperatuur zien en daar is het 29.5 °C.



Figuur 14 Meetpunt A2 in tracé A, de groenstrook.

5.1.3 Verharding en vegetatie

Het onderstaande Figuur 15 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 54 °C. Dit is een verschil van ruim 18 °C met de klinkers die in de schaduw liggen van de hoger gelegen betonbanden. De betonbanden blijven beneden de 40 graden. In de groenstrook komen de temperaturen niet hoger dan 36 °C. Het verschil tussen de klinkers en vegetatie is op deze locatie ruim 19 °C.



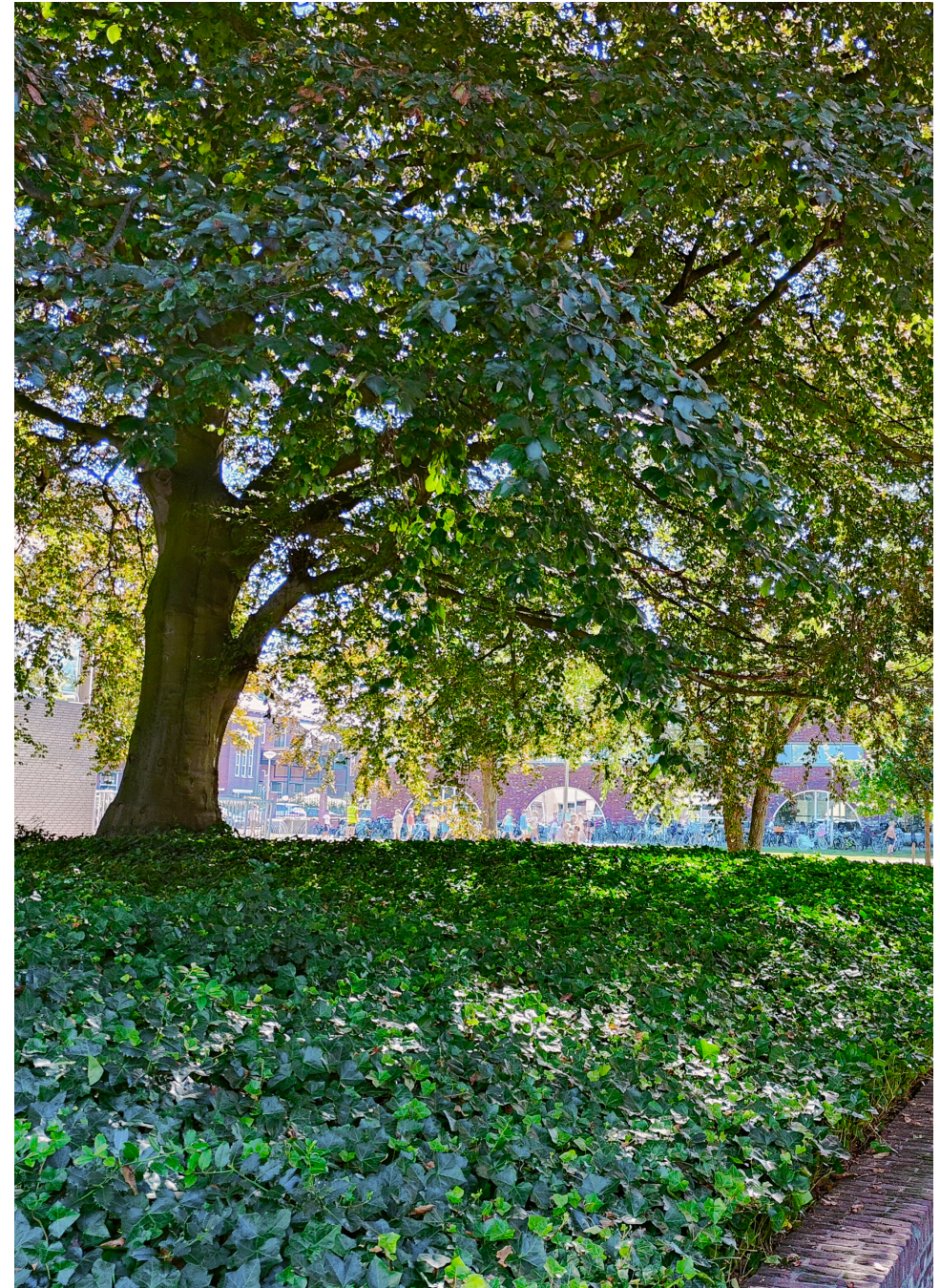
Figuur 15 Oppervlaktetemperatuur verloop van verharding naar vegetatie.

5.2 Volwassen beuken

5.2.1 Tracé B

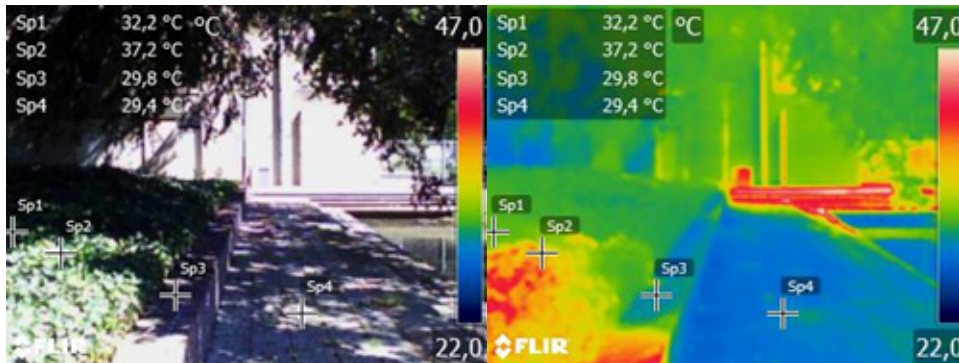
Het tracé onder de rode beuken loopt van het voetpad tot aan de rand van het plantvak. In dit tracé is weinig gradiënt tussen zon en schaduw te zien. Zowel de gebouwen als de volle boomkroon van de rode beuken zorgen ervoor dat er amper zonnestralen op de bestrating en onderbegroeiing schijnen. Wat opvalt 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 5.5 °C. Dit temperatuurverschil is onder andere te verklaren aan het moment van meten en de hand van de thermische materiaaleigenschappen van verharde materialen en vegetatie. De metingen rondom de beuk zijn tegen 13:00 uitgevoerd. Doordat de meetlocatie vrij beschermt is door de omliggende gebouwen en brede boomkroon zijn sommige delen slechts voor een korte tijd blootgesteld aan de zon. Verharde materialen als bakstenen hebben veel massa en een hoge warmtegeleiding. Het duurt dus relatief lang voordat een baksteen opwarmt als deze wordt blootgesteld aan zonnestralen. Het duurt dus langer voordat verharde materialen opwarmen en dus warm uitstralen op de warmtecamera. Bij vegetatie werkt dit anders omdat bladeren weinig massa hebben. Door de lage massa van het blad warmen deze veel sneller op aan de warmte van de lucht dan verharde materialen.



5.2.2 Gradiënt zon schaduw

Aan het einde van het tracé hebben we een extra warmtebeeld (Figuur 16) gemaakt zodat we ook een gradiënt zon en schaduw kunnen zien voor deze situatie. Het gradiënt start in de vegetatie bij meetpunt Sp1 in de zon hier zien we een temperatuur van 32.2 °C. Het tweede punt (Sp2) toont een hogere temperatuur met een verschil van bijna 5 graden. Het derde punt (Sp3) ligt in de schaduw op de verharding en geeft een temperatuur van 29.8°C. Het laatste punt (Sp4) ligt in de zon. Door het overhangende bladerdek van de beuk is dit punt beperkt blootgesteld aan de zon waardoor de bestrating nog veel heeft kunnen opwarmen. Hierdoor is de temperatuur in de zon beperkt tot 29.4°C. In dit gradiënt zien we de invloed van schaduw goed terug op de temperatuur. Zo is de verharding nog relatief koud door de korte blootstelling aan zonnestrallen maar lijken de spiegelende bladeren onder de boom warm ondanks deze door de lage massa amper zullen bijdragen aan hittestress.

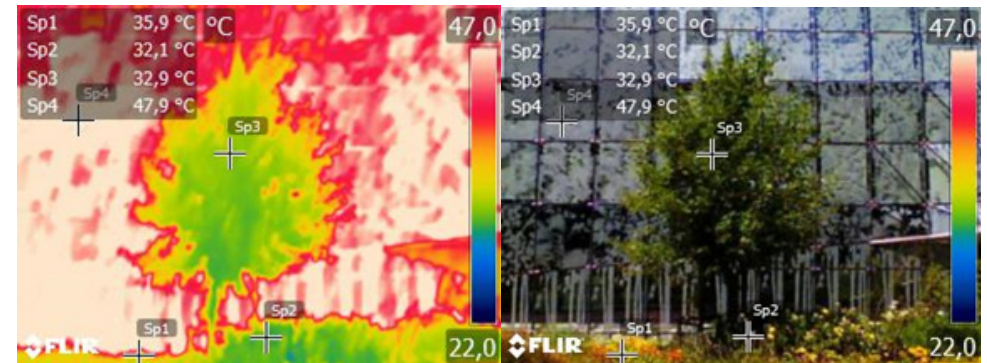


Schaduw	Zon	Schaduw	Zon
Vegetatie Sp1	Vegetatie Sp2	Bestrating Sp3	Bestrating Sp4
32,2 °C	37,2 °C	29,8 °C	29,4 °C

Figuur 16 Gradiënt zon en schaduw.

5.2.3 Doorkijk richting het stadhuis

Onder de beuken richting het Stadhuisplein is een warmtebeeld gemaakt (Figuur 17). Het verschil tussen de vegetatie in de zon en schaduw blijft beperkt tot 3 °C. Dit beperkte verschil is grotendeels te verklaren door de reflectie van de glazen wand waardoor het groen in de schaduw ook wordt blootgesteld aan infraroodstraling. 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 glazen wand namelijk een stuk hoger dan onder de beuken.

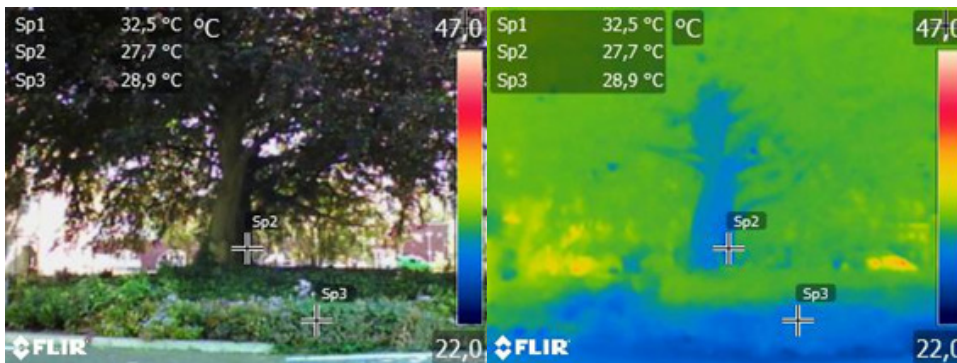


Zon	Schaduw	Zon	Zon
Vegetatie Sp1	Vegetatie Sp2	Vegetatie Sp3	Glazen gevel Sp4
35,9 °C	32,1 °C	32,9 °C	47,9 °C

Figuur 17 Doorkijk vanuit onder de beuken richting de glazengevel op het Stadhuisplein.

5.2.4 Vooraanzicht rode beuk

Ook het vooraanzicht van de rode beuk is gefotografeerd (Figuur 18). We zien dat de beuk voor veel schaduw zorgt door het de brede en dicht boomkroon. Op dit warmtebeeld hebben we drie punten geselecteerd. We beginnen bij punt Sp1 rechtsboven op de foto. Dit punt ontvangt de meeste zonnestrallen en is ook het warmste punt. Onder de boomkroon variëren de oppervlaktetemperaturen veelal tussen de 27 en 29 graden. Ondanks er amper zonnestrallen door de boomkroon komen blijft toch een gedeelte van de warmte hangen onder de boomkroon. Deze warmte is waarschijnlijk afkomstig van de bestrating richting het stadhuisplein. Ondanks deze invloed blijven de temperaturen rondom de beuk veruit het koelste van de drie locaties.

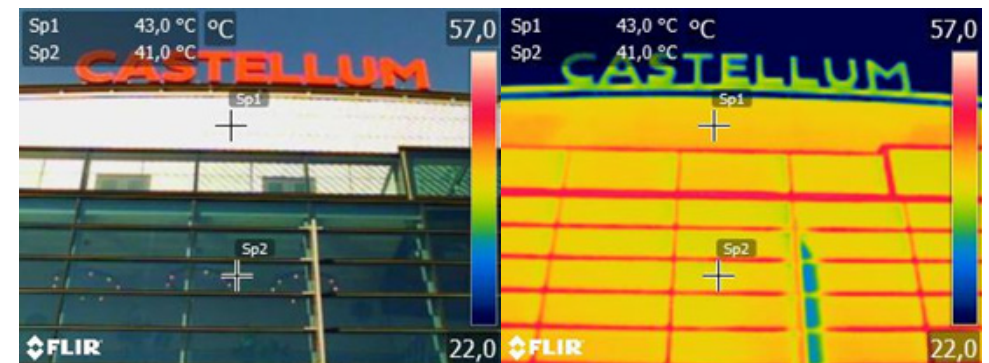


Zon	Schaduw	Schaduw
Vegetatie Sp1	Vegetatie Sp2	Vegetatie Sp3
32,5 °C	27,7 °C	28,9 °C

Figuur 18 Vooraanzicht rode beuk.

5.2 Versteend plein

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. Het onderstaande figuur 19 geeft een weergave van invloed van de glazengevel. 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.



Figuur 19 Invloed van de glazen gevel op opwarming op het Rijnplein.

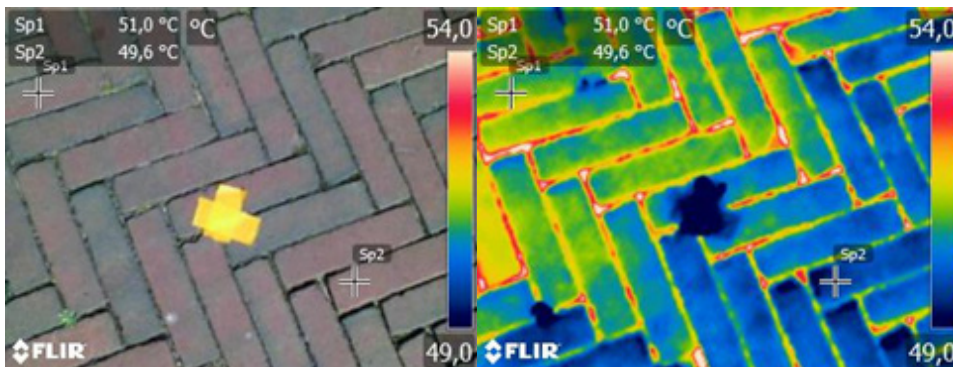
Het Rijnplein is grotendeels bestraat met rode klinkers. De rode klinkers reflecteren relatief weinig (20%-40%) warmte in vergelijking met de grijs/witte trap (35%-71%). De warmte die niet wordt gereflecteerd wordt opgenomen door het materiaal. Beide materialen zijn in staat veel warmte op te nemen (warmtegeleiding)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

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.

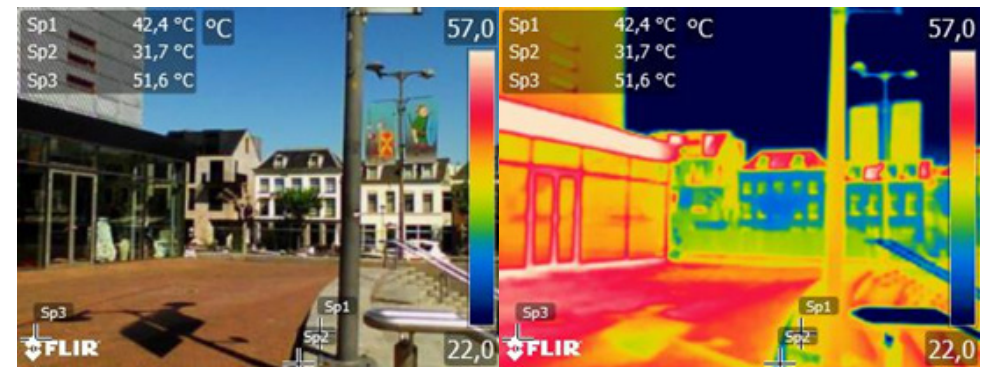
Figuur 20 geeft een detailfoto van de rode klinkers op punt C3 in het tracé. De temperaturen van de klinkers nemen toe richting het Castellum en nemen af richting de cafés. Ook valt op dat het donkere voeg-substraat tussen de klinkers extra warm kleurt.

5.3.2 Tracé C

Op het vijfde meetpunt (Figuur 21) van het Rijnplein werden bijzonder hoge temperaturen gemeten van ruim 57°C. In de zon werd de oppervlaktetemperatuur zelfs 51.6 °C (Sp1). Ook op de trappen lag de temperatuur hoog en varieert de temperatuur tussen de 38 en 43°C. In de schaduw van de verhoogde betonen trap werd een temperatuur van 31.7 °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 witte reflectie loopt de temperatuur op tot bijna 61 °C.



Figuur 20 Warmte opname van de klinkers op punt C3.



Zon	Schaduw	Zon
Bestrating Sp1	Bestrating Sp2	Bestrating Sp3
42,4 °C	31,7 °C	51,6 °C

Figuur 21 Zijaanzicht op het Rijnplein.

6. Discussie en conclusies

6.1 Meteorologisch condities 2024: Nat en warm

Als we kijken naar de meteorologische condities van 2024 dan kenmerkt het jaar zich door veel neerslag, met name het begin van het jaar. Er waren meerdere warme dagen, maar van een langdurige hittegolf was geen sprake. Toch verliep het jaar warmer dan gemiddeld. De gegevens van de meteostations in Alphen aan den Rijn lieten zien dat de gevoels-temperatuur flink op kan lopen richting de 35 graden Celsius tijdens een warme dag voor zowel het versteende Rijnplein als voor de groenstrook op het Stadhuisplein. De gegevens van het meteostation bij de oude monumentale beuken lieten zien dat het aanzienlijk koeler was en de gevoelstemperatuur onder de 30 graden Celsius bleef tijdens het heetst van de dag. Ook tijdens de nachten en de warme dagen erna bleven er verschillen te zien waarbij het op het versteende plein het langste warm bleef wat te verklaren is doordat meer warmte wordt vastgehouden door de verharde oppervlakken. Voor de zomerperiode van april tot en met september lag de temperatuur op het versteende plein één graad hoger dan de groene locaties. Ook was duidelijk te zien dat de hoeveelheid inkomende zonnestraling hoger was bij de groenstrook en op het Rijnplein (max. 1050 W/m² per uur) en minder dan de helft was bij de beuk (max. 500 W/m² per uur) wat veroorzaakt wordt door de schaduw van het bladerdek.

6.2 Verschillen in bodemvocht tussen de groene locaties

Er waren veel verschillen te zien in het bodemvochtgehalte tussen de geïrrigeerde groenstrook en bij de beuken, waarbij de groenstrook meer bodemvocht bevatte dan bij de beuken. Bovendien bleef het bodemvochtgehalte constanter in de groenstrook tijdens de drogere maand augustus terwijl deze voor de beuken juist flink afnam. Het hogere bodemvochtgehalte voor de groenstrook is niet alleen te wijten aan de regen, maar is ook te danken aan de regelmatige waterafgifte van de irrigatie. Dankzij het irrigatiesysteem blijft het bodemvocht en daarmee ook de waterbeschikbaarheid beter op peil. Al deze omstandigheden dragen bij aan een snelle ontwikkeling van de groenstrook. Iets wat we

ook waar konden nemen dat in een jaar tijd de vegetatie zich goed heeft kunnen ontwikkelen waarbij we een flinke groei konden zien tussen 2023 en 2024. Voor de beuken zien we dat in de drogere maand augustus het bodemvochtgehalte terug zakte, maar ook een aantal pieken tijdens regenbuien. Wat hier mogelijk ook een rol speelt is dat een beuk relatief laat in het seizoen pas in blad komt. Het bladerdek wordt vervolgens erg dicht waardoor zowel de doorval van regen als zonlicht op de bodem wordt beperkt. Ook zorgt de dichte boomkroon voor een extra laag. Het vocht blijft langer hangen onder het bladerdek, wat we terugzagen in de relatieve vochtigheid. In de relatieve luchtvochtigheid was bij de beuken gemiddeld gezien minder variatie te zien dan voor de andere meetlocaties.

6.3 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. 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.

Op de locatie onder de beuken hebben we op de infraroodbeelden gezien dat de bestrating relatief koel bleef (lager dan 30 graden). De temperatuur van de bestrating op het Rijnplein en langs het Stadhuisplein liep op tot ruim 55 graden Celsius. Hiermee kunnen we goed de invloed waarnemen van blootstelling aan directe zonnestraling of in het geval van de beuken de zeer beperkte mate van zonnestralen en invloed van schaduwwerking van de boomkroon van de beuken. Hierdoor stijgt de oppervlaktetemperatuur van de bestrating maar zeer beperkt. Ook de invloed van de glazen gevel heeft effect op de stijging van de oppervlaktetemperatuur. We zien dat de invloed van de zon hier wordt versterkt door de hoge mate van reflectie waardoor de oppervlaktetemperatuur zelfs boven de 55 graden wordt waargenomen. De oppervlaktetemperatuur neemt af na mate de afstand tot de glazen gevel groter wordt. De materiaalkeuze heeft dus veel invloed op hoe ver de omgeving kan opwarmen.

6.4 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, reflectie van de bladeren en hoge temperaturen op het moment van de infraroodmetingen. 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.

Ondanks enkele hoge temperaturen langs de glazen gevel 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 glazen gevel. 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.

De vegetatie in de groenstrook is voorzien van irrigatie. Dit is goed terug te zien in de metingen waar het bodemvocht in de groenstrook relatief hoog blijft in tegenstelling tot de beuken. Bij de beuken zien we duidelijker de invloed van neerslag terug ondanks het dichte bladerdek waardoor niet iedere druppel de bodem bereikt.

6.5 Verschillen in oppervlaktetemperaturen

Het Stadhuis heeft een grote glazen gevel. 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 55 °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.

De resultaten van de warmtebeelden laten zien dat de oppervlaktetemperaturen tussen vegetatie en versteend oppervlak soms meer dan 16 graden kan verschillen in de zon langs het stadhuisplein. Als we kijken naar het verschil van bestrating in de zon en in de schaduw zagen we tot 19 graden temperatuurverschil op het Rijnplein. 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.

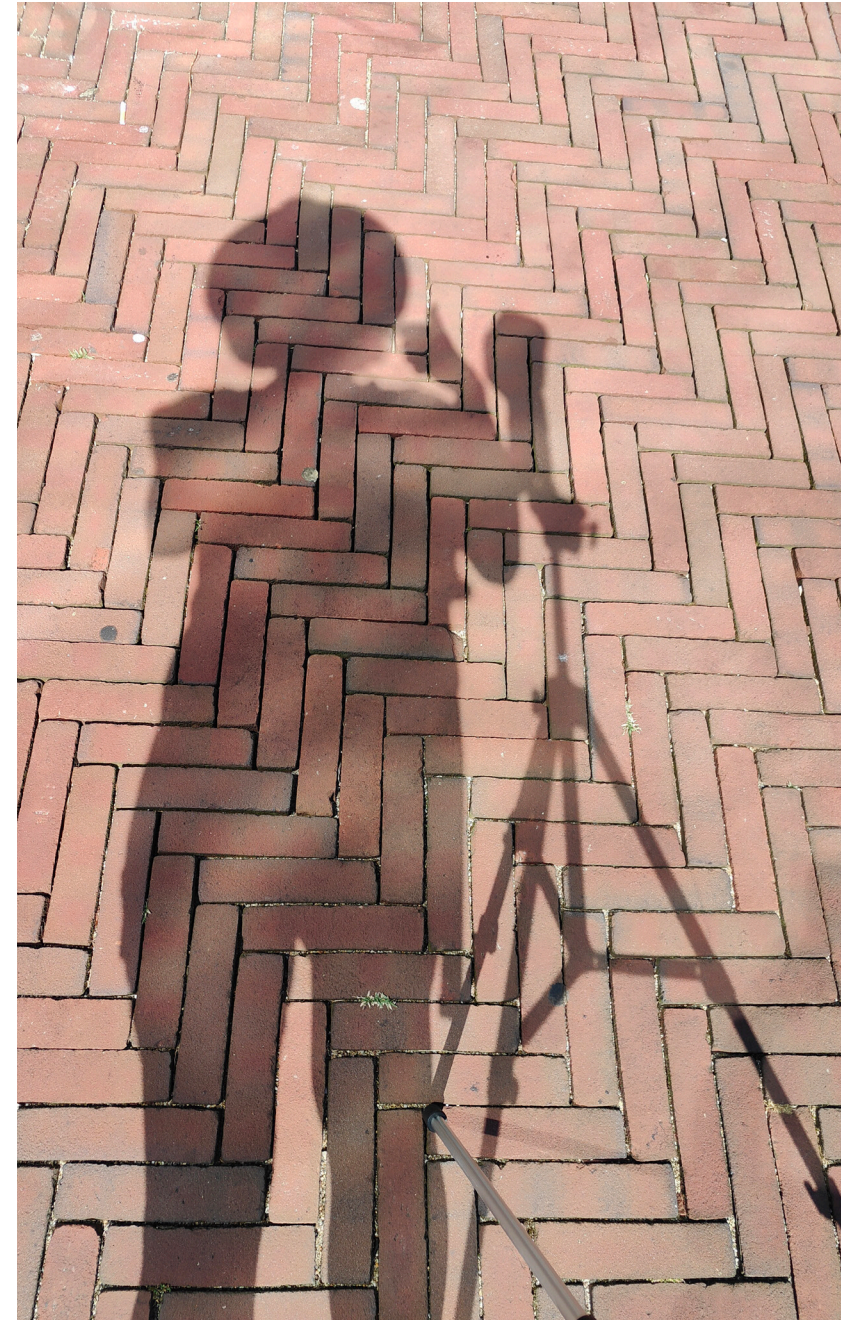
Bij de interpretatie van de infraroodbeelden dient rekening gehouden te worden met een aantal aspecten. Allereerst zijn de beelden en bijbehorende temperaturen een momentopname. Het moment van het maken van de foto heeft invloed op de uitkomsten. Bij onze metingen was er sprake van een tijdsverschil 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

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 drie 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

6.6 Windreductie in de stad

Bij het berekenen van de gevoelstemperatuur (PET) is de windsnelheid een belangrijke component. Aangezien de meetstations hoger hangen op 3 meter dan de hoogte van 1,5 meter waarop de gevoelstemperatuur wordt bepaald, is een logaritmische windreductie toegepast om hiervoor te corrigeren. Hierbij nemen we aan dat de reductie voor alle drie de stations gelijk is. Toch zien we wel duidelijke verschillen in windsnelheid tussen de stations waarbij de hoogste windsnelheden werden gemeten bij de groenstrook op het Stadhuisplein. Dit is te verklaren doordat de groenstrook precies op het westen georiënteerd is wat de dominante windrichting is en als een soort trechter zich kan versnellen. Bij de beuken zien we lagere windsnelheden ten opzichte van de groenstrook. Dit verschil is te verklaren aan de beschutte ligging tussen de gebouwen en invloed van de boomkroon. Een hogere windsnelheid kan een sterk reducerend effect hebben op de gevoelstemperatuur. Ondanks dat de windsnelheid hier gemiddeld hoger ligt dan op het Rijnplein, is de gevoelstemperatuur voor de periode april tot en met september toch lager voor de groenstrook op het Stadhuisplein. Over het algemeen is de windsnelheid in het stadscentrum van Alphen aan de Rijn juist lager dan in het buitengebied wat eraan bijdraagt de gevoelstemperatuur aanzienlijk hoger ligt in dit stedelijk gebied.



6.7 Hoofdbevindingen

Aan de hand van twee jaar infraroodmetingen en één jaar aan meteorologische observaties kunnen we de volgende bevindingen samenvatten:

- **Koelere groene locaties:** Voor het zomerseizoen (april-september) lag de luchttemperatuur, gemeten op 3-meter hoogte, op het versteende plein gemiddeld één graad hoger dan voor beide groene locaties. De verschillen in gevoelstemperatuur (PET) waren goed te zien tijdens de warme zomermaanden waarbij de gemiddelde PET voor de groenstrook uitkwam op 17,4 °C in juli en 19,2 °C in augustus, terwijl deze voor het versteende plein 18,4 °C en 20,0 °C was. Een verschil van respectievelijk 1,0 tot 0,8 °C dat een eerste indicatie geeft van een lichte verkoelende werking van het groen. Onder de beuk was dit verschil nog duidelijker waarneembaar waarbij de PET tot bijna 2 graden lager lag. Tijdens warme meetdag van 12 augustus waren de verschillen in maximumtemperatuur relatief klein tussen de groenstrook en het Rijnplein, terwijl het onder de beuk 5 graden koeler bleef. In de nacht, die volgende na de warme dag van 12 augustus, liep het verschil in PET op tot 2,5 graden tussen de groenstrook en het versteende plein.
- **Stabiel bodemvochtgehalte:** In de groenstrook was aanzienlijk meer bodemvocht aanwezig (stabiel rond 40%) dan de beuk (steker variërend rond de 20%) in laag van 0 tot 60 cm. Bovendien bleef deze voor de groenstrook constanter dankzij het irrigatiesysteem. Doordat er meer water beschikbaar is in de bodem kan dit gunstig zijn voor de mate van evapotranspiratie wat een verkoelend effect heeft. Planten geven namelijk waterdamp af via hun bladeren, waardoor de omringende lucht afkoelt. Doordat verdamping van water energie (warmte) kost, zorgt dit voor verkoeling. Het verschil in PET, en daarmee het verkoelende effect, is beter waar te nemen in de relatief droge maand augustus waarbij het irrigeerde groen in het voordeel is.
- **Schaduwwerking:** Bomen en planten verminderen zonnestraling en beperken daarmee directe opwarming van het (straat)oppervlak. Dit zien we terug op de locatie langs de glazengevel waar de stralingsintensiteit oploopt tot 1000 W/m² per uur op een warme dag. Onder de beuken ligt de gemiddelde straling slechts rond de 200 W/m² en worden waarden rond de 500 W/m² maar sporadisch bereikt. Deze hoge blootstelling zien we ook terug in infraroodbeelden waar temperaturen rondom de glazengevel worden gemeten van 55 graden. Bij de beuk is de hoeveelheid inkomende straling slechts de helft dan voor meetlocatie van de groenstrook en op het Rijnplein die meer in de zon gelegen zijn. Hierdoor is de gemiddelde gevoelstem-

peratuur bij de beuken tot meer dan 5 graden lager tijdens warme dagen ten opzichte van het Rijnplein en de groenstrook op het Stadhuisplein

- **Windcirculatie:** De windsnelheid was over het algemeen hoger bij de groenstrook dan op het Rijnplein en bij de beuk. Wind speelt een grote rol bij de bepaling van de gevoelstemperatuur en kan zorgen voor verkoeling. Ondanks dit verkoelende effect was het effect van de wind beperkter en hadden andere factoren zoals schaduw en groen een groter verkoelend effect waarbij het op het versteende plein ondanks meer wind toch gemiddeld warmer was.
- **Materiaalkeuze:** Door de hoge soortelijke dichtheid duurt het relatief lang voordat verharde materialen zijn opgewarmd. Deze wordt echter ook voor een lange tijd uitgestraald waardoor ze veel bijdragen aan opwarming ook als de zon niet meer schijnt. Materialen met een hoge reflectie zoals een glazengevel kunnen sterk bijdragen aan de opwarming van de omgeving.

De verwachting van onze hypothese dat het bij de groenstrook koeler zou moeten zijn dan op het versteende plein tijdens warme dagen lijkt vooralsnog met de eerste metingen slechts in beperkte mate bevestigd te worden. Dat het verkoelende effect van het groen beperkt lijkt, is vermoedelijk te danken aan de extra warmtetransmissie van de glazengevel van het stadskantoor op deze locatie. Om daaraan het hoofd te bieden is de irrigatie noodzakelijk, wat we ook terugzien in het stabiele vochtgehalte in de bodem en de uitbundige groei van de beplanting. De resultaten voor de komende jaren, rekening houdend met de ontwikkeling van het groen op de lange termijn, zullen moeten uitwijzen of de verkoelende werking van het groen gaat toenemen met de jaren en ook effectiever is tijdens drogere en langdurigere warme perioden.

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 \(wur.nl\)](#)

Gao, K., Feng, J., & Santamouris, M. (2024). Are grand tree planting initiatives meeting expectations in mitigating urban overheating during heat waves? Sustainable Cities and Society, 113. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105671>

Kluck, J., Klok, L., Solcerová, A., Kleerekoper, L., Wilschut, L., Jacobs, C., ... & Dankers, R. (2020a). De hittebestendige stad: Een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte. Hogeschool van Amsterdam.

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,

Matzarakis, A., Mayer, H. (1996). Another kind of environmental stress: Thermal stress, WHO News, 18, pp. 7-10.

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.

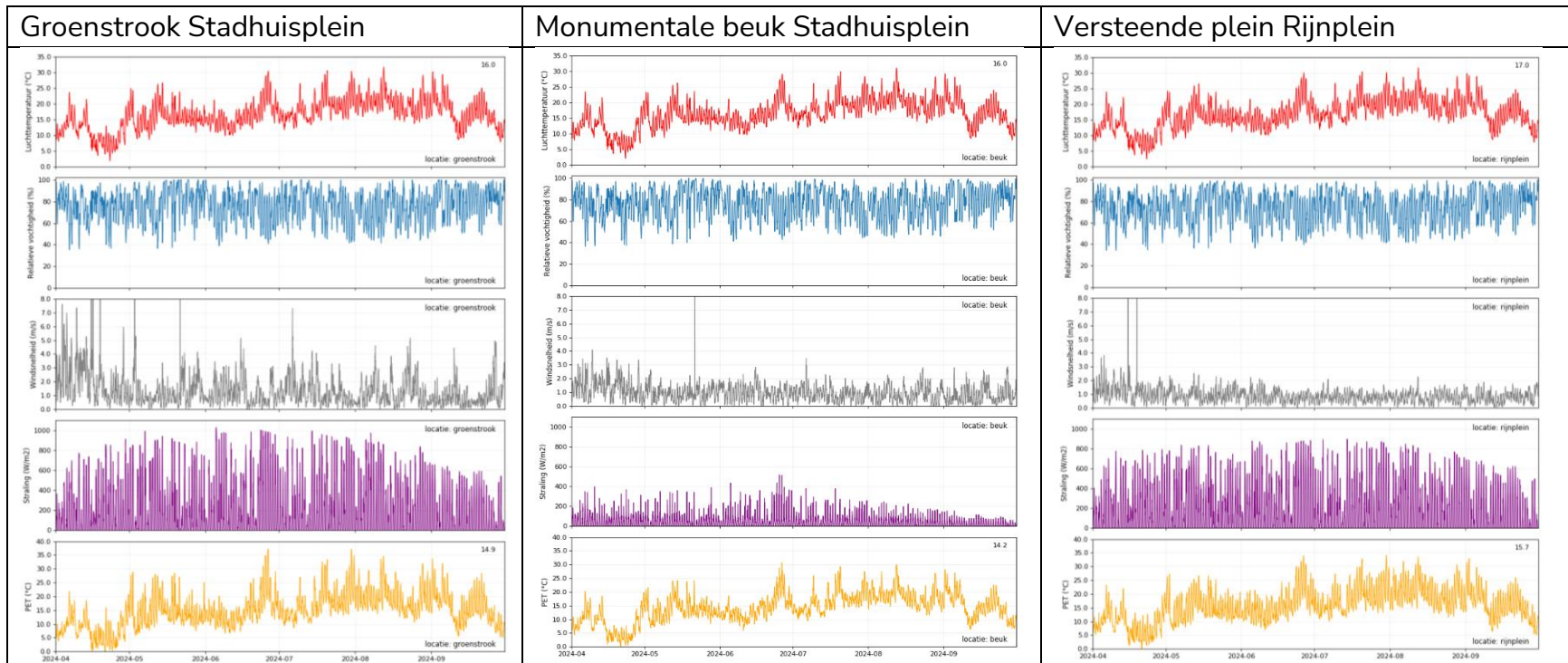
Urban Technology., (2002). Koele bestratingsmaterialen. Hogeschool van Amsterdam. Geraadpleegd op 16 juli 2024, van [Koele bestratingsmaterialen- HvA](#)

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

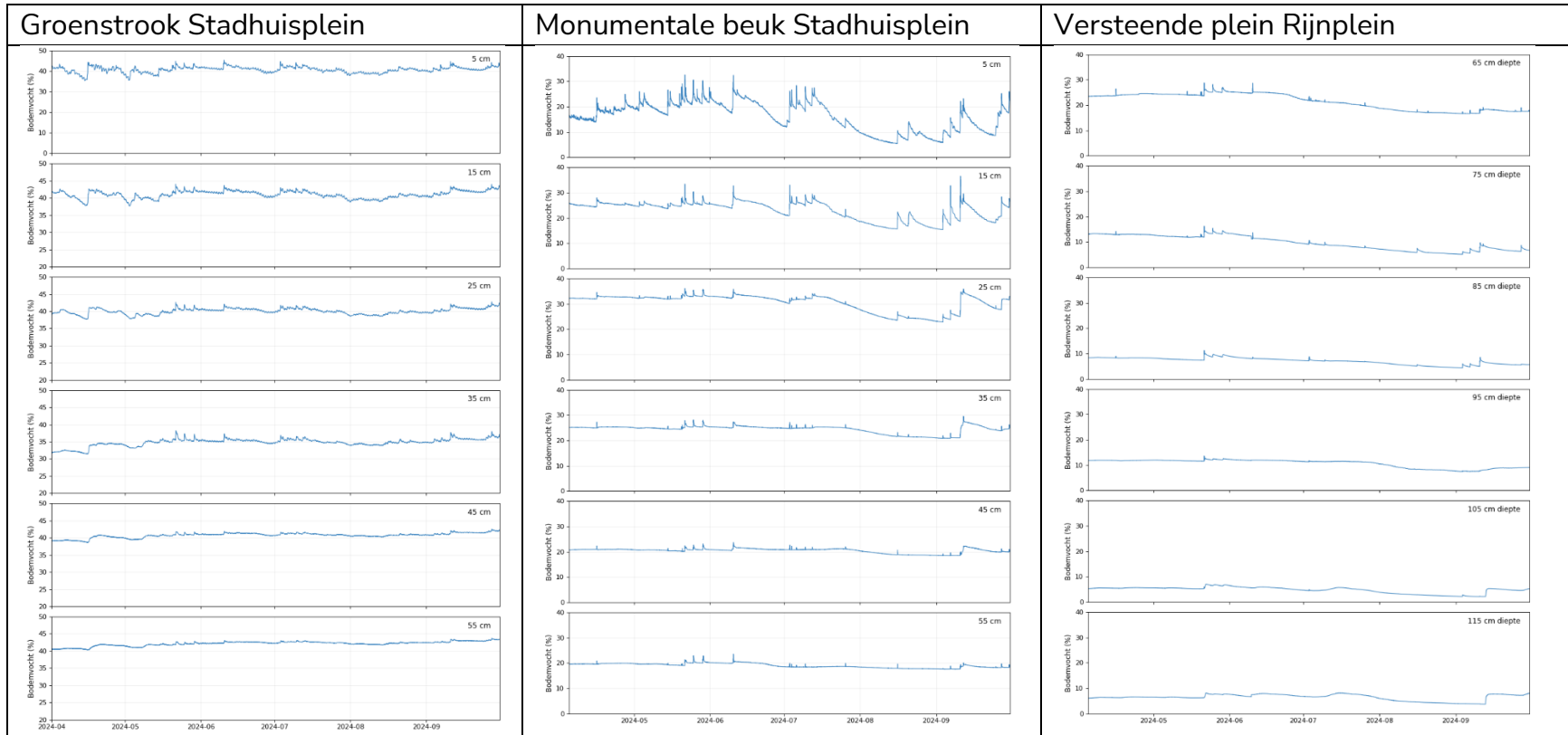
Weppelman, I., Snep, R., Hiemstra, J., Voeten, J., Goossen, M., & Spijker, J. (2023). Aantrekkelijke koele plekken & routes: Basisprincipes en richtlijnen voor natuurlijke verkoeling. (Rapport / Wageningen Environmental Research). Wageningen Environmental Research. <https://edepot.wur.nl/637525>

Bijlagen

Meteorografieken


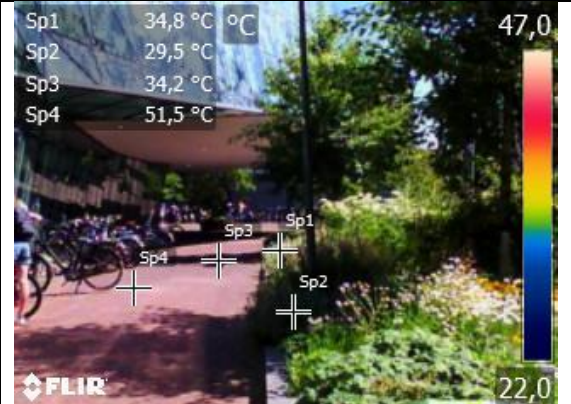

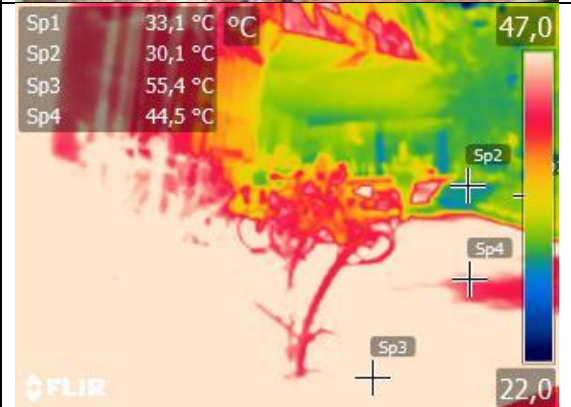
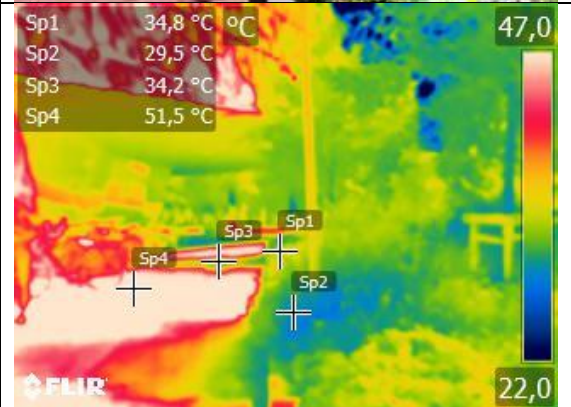
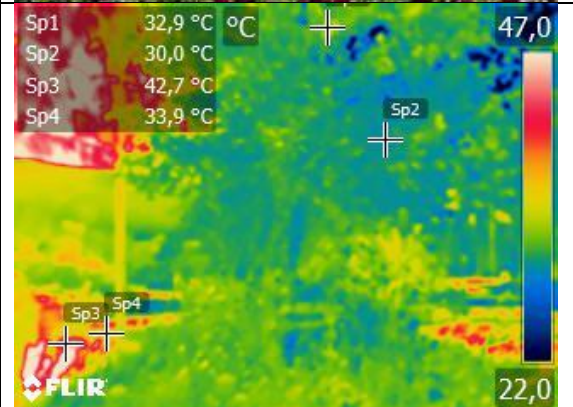


Bodemvochtresultaten

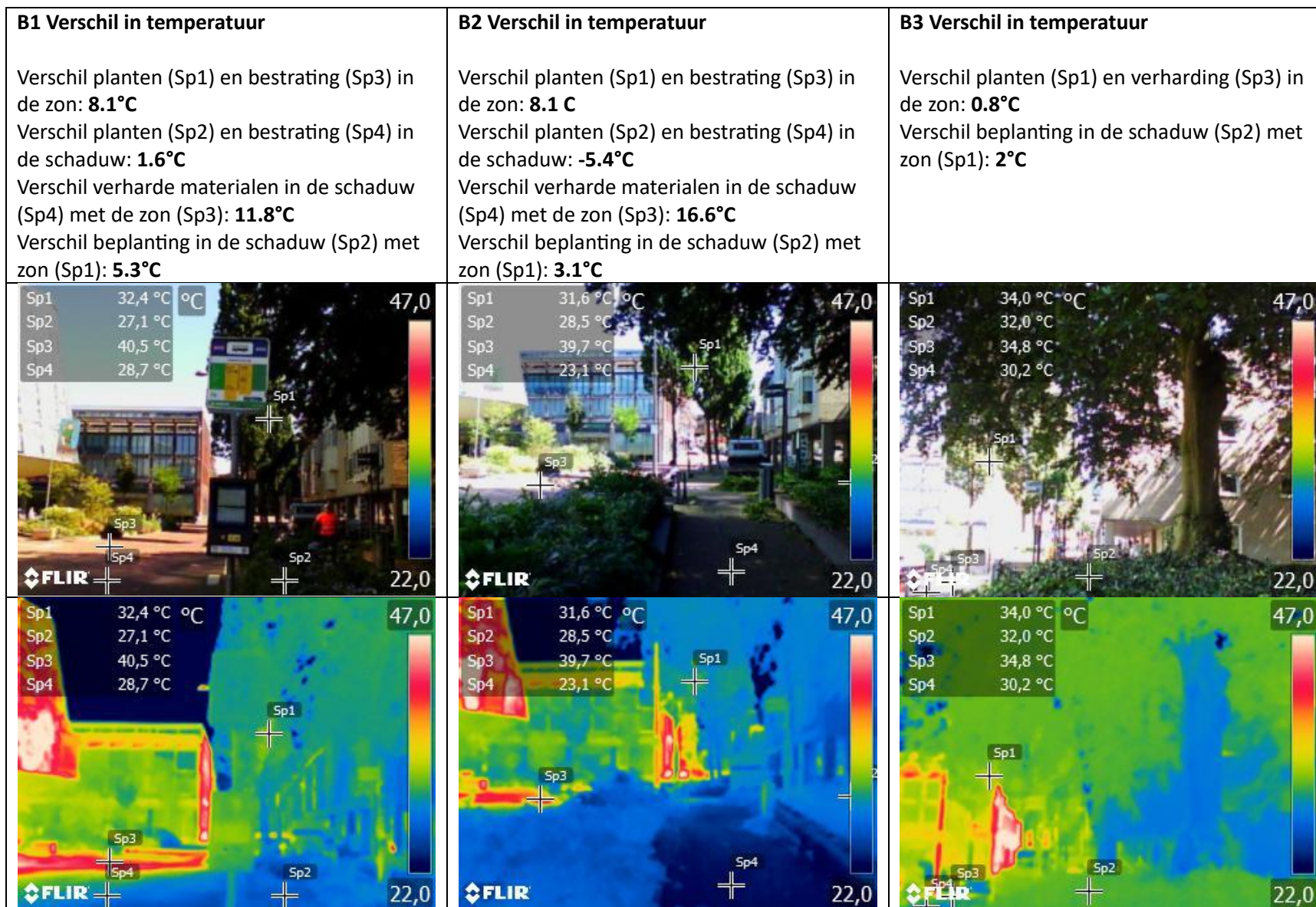


Infraroodtracés 2024

Stadhuisplein - Groenstrook (A)

A1 Verskil in temperatuur Verschil planten (Sp1) en bestrating (Sp3) in de zon: 22.2°C Verschil planten (Sp2) en bestrating (Sp4) in de schaduw: 14.4°C Verschil verharde materialen in de schaduw (Sp4) met de zon (Sp3): 10.9°C Verschil beplanting in de schaduw (Sp2) met zon (Sp1): 3.1°C	A2 Verskil in temperatuur Verschil planten (Sp1) en bestrating (Sp4) in de zon: 16.7°C Verschil planten (Sp2) en bestrating (Sp3) in de schaduw: 4.7°C Verschil verharde materialen in de schaduw (Sp3) met de zon (Sp4): 17.3°C Verschil beplanting in de schaduw (Sp2) met zon (Sp1): 5.3°C	A3 Verskil in temperatuur Verschil planten (Sp1) en bestrating (Sp3) in de zon: 9.8°C Verschil planten (Sp2) en bestrating (Sp4) in de schaduw: 3.9°C Verschil verharde materialen in de schaduw (Sp4) met de zon (Sp3): 8.8°C Verschil beplanting in de schaduw (Sp2) met zon (Sp1): 2.9°C
 <p>Sp1 33,2 °C Sp2 30,1 °C Sp3 55,4 °C Sp4 44,5 °C</p> <p>FLIR 22,0</p>	 <p>Sp1 34,8 °C Sp2 29,5 °C Sp3 34,2 °C Sp4 51,5 °C</p> <p>FLIR 22,0</p>	 <p>Sp1 32,9 °C Sp2 30,0 °C Sp3 42,7 °C Sp4 33,9 °C</p> <p>FLIR 22,0</p>
 <p>Sp1 33,1 °C Sp2 30,1 °C Sp3 55,4 °C Sp4 44,5 °C</p> <p>FLIR 22,0</p>	 <p>Sp1 34,8 °C Sp2 29,5 °C Sp3 34,2 °C Sp4 51,5 °C</p> <p>FLIR 22,0</p>	 <p>Sp1 32,9 °C Sp2 30,0 °C Sp3 42,7 °C Sp4 33,9 °C</p> <p>FLIR 22,0</p>

Stadhuisplein - Volwassen rode beuken (B)



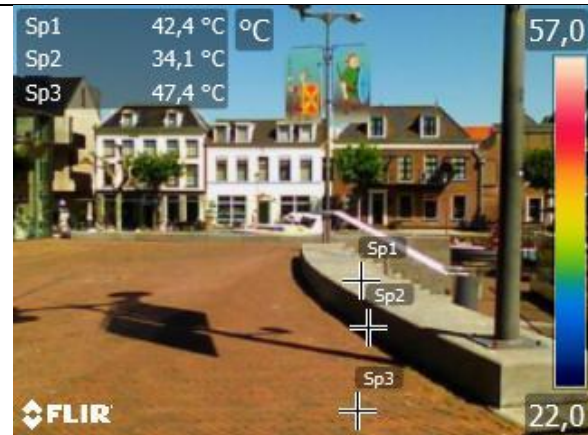
<p>B4 Verschil in temperatuur Verschil planten (Sp1) en verharding (Sp2) in de schaduw: -2.7°C Verschil verharding in de schaduw (Sp2) met zon (Sp3): 1.9°C</p>	<p>B5 Verschil in temperatuur Verschil planten (Sp1) en verharding (Sp2) in de schaduw: -2.7°C Verschil verharding in de schaduw (Sp2) met zon (Sp3): 1.9°C</p>	<p>B6 Verschil in temperatuur Verschil planten (Sp1) en verharding (Sp3) in de zon: 8°C Verschil planten (Sp2) en verharding (Sp4) in de schaduw: -2.4°C Verschil verharding in de schaduw (Sp4) met de zon (Sp3): 15.4°C Verschil beplanting in de schaduw (Sp2) met zon (Sp1): 5°C</p>

Rijnplein – versteend plein (C)

<p>C1 Verschil in temperatuur</p> <p>Verschil bestrating schaduw (Sp2) versus de zon (Sp1): 10.9°C</p> <p>Verschil bestrating schaduw (Sp2) versus de zon (Sp3): 17.4°C</p>	<p>C2 Verschil in temperatuur</p> <p>Verschil bestrating schaduw (Sp2) versus de zon (Sp1): 8.5°C</p> <p>Verschil bestrating schaduw (Sp2) versus de zon (Sp3): 15.9°C</p>	<p>C3 Verschil in temperatuur</p> <p>Verschil bestrating schaduw (Sp2) versus de zon (Sp1): 6.3°C</p> <p>Verschil bestrating schaduw (Sp2) versus de zon (Sp3): 12°C</p>

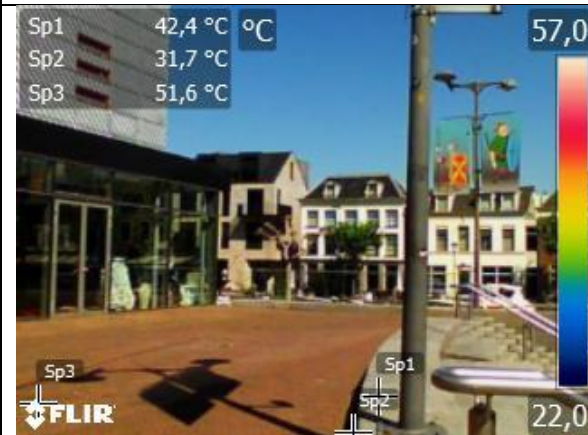
C4 Verschil in temperatuur

Verschil bestrating schaduw (Sp2) versus de zon (Sp1): **8.3°C**
Verschil bestrating schaduw (Sp2) versus de zon (Sp3): **13.3°C**



C5 Verschil in temperatuur

Verschil bestrating schaduw (Sp2) versus de zon (Sp1): **10.7°C**
Verschil bestrating schaduw (Sp2) versus de zon (Sp3): **19.9°C**



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, regenwaterafvang, 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.

