

Het hitte-eilandeffect in Diergaarde Blijdorp



Figuur 1 Hitte camera (Kroonen, 2023)

Door
Remi Groeneweg

Het hitte-eilandeffect in Diergaarde Blijdorp

Remi Groeneweg

0981979

Nederland, Zuid-Holland, Schiedam

Onderzoeksverslag

Watermanagement

Hogeschool Rotterdam

Begeleider: Friso Vos de wael

Stagebedrijf: Diergaarde Blijdorp

Stagebegeleider: Lindsey Schwidder

Stagebegeleider: René Reusen

Stageperiode: april - oktober 2023

9 oktober 2023

Voorwoord

Dit document is geschreven door Remi Groeneweg, student van de Hogeschool Rotterdam, als onderdeel van mijn afstudeerstage bij Diergaarde Blijdorp. Hier deed ik onderzoek naar het hitte-eilandeffect in het nieuwe gedeelte van het park. Deze informatie kan gebruikt worden door Diergaarde Blijdorp en TU Delft om hun kennis te vergroten over het effect van de temperatuur op bezoekers.

Voorafgaand wil ik mijn begeleiders Friso Vos de wael, René Reusen en Lindsey Schwidder bedanken voor hun tijd om mij te begeleiden. Het advies dat ik van hen kreeg, de feedback en de middelen waren onmisbaar voor het voltooien van het onderzoek. Datzelfde geldt voor de inzichten van Martine Rutten over mogelijke variabelen voor het meten van de lokale temperatuur. Verder wil ik Robèrt Kroonen, Bob Hermanns en Thijs de Bruijn bedanken voor het maken van foto's en het samen brainstormen over mogelijke maatregelen.

Remi Groeneweg
Schiedam, 31-8-2023

Samenvatting

Mensen bouwen om hun leven comfortabeler te maken. Deze bouwwerken zijn veelal gemaakt van harde materialen zoals cement of asfalt. Dit zijn materialen die warmte goed vasthouden. Door de hoeveelheid verharde oppervlakte houden steden veel warmte vast. Luchtstromen worden daarnaast door de hoge bebouwing tegengehouden waardoor de warmte blijft hangen. Samen zorgt dit voor hogere temperaturen in de stedelijke gebieden.

Diergaarde Blijdorp ervaart de consequenties van deze hoge temperaturen. Elke graad boven de 24 °C zorgt voor een afname in het aantal bezoekers. Het is daarom voor Diergaarde Blijdorp erg belangrijk dat de mate en locaties van dit probleem worden vastgesteld in het park. Als zij beschikken over deze informatie, dan kunnen er maatregelen worden genomen om het probleem te verhelpen. Daarom is de volgende vraag geformuleerd: "Hoe groot is het hitte-eilandeffect in het nieuwe gedeelte van Diergaarde Blijdorp en welke maatregelen kunnen worden genomen om dit effect te verminderen?"

Om een antwoord te vinden op deze vraag, is een onderzoek gestart om het hitte-eilandeffect te meten in de zomermaanden. Deze metingen vinden plaats in het nieuwe gedeelte van het park. Hier zijn op zeven locaties sensoren opgehangen die elke 10 minuten metingen doen van de temperatuur, gevoelstemperatuur, dauwpunten en windsnelheid. Op basis van deze metingen kan een beeld worden gevormd van het hitte-eilandeffect in de diergaarde.

Het merendeel van de meetlocaties zijn in vergelijking tot het buitengebied Cabauw tussen de 1 en 2 graden warmer. Dit duidt op de aanwezigheid van een hitte-eilandeffect in het park. De afwijkende locaties hebben een temperatuurverschil tot Cabauw op de warmste dagen bereikt van 3 en 9 graden. Dit zijn de locaties bij het uitkijkpunt van de bizons en de speeltuin bij de ingang van Amazonica. Deze locaties hebben prioriteit voor het nemen van maatregelen. Om het hitte-eilandeffect te verlagen zijn mogelijke maatregelen op te delen in: Vegetatie, hoge albedo, oppervlaktewater, menselijke uitstoot en overdekking.

Het onderzoek heeft de gewenste informatie opgeleverd over de loop van de metingen. Doordat de sensoren, om technische redenen, niet optimaal geplaatst konden worden, hebben variabelen zoals bezoekers en zonlicht een groter effect gehad op de onderzoeksresultaten dan gewenst. Dit heeft geleid tot het verlies van een sensor en onverwachte pieken in de visualisaties.

Op termijn kan dit onderzoek worden uitgebreid met een aanvullend onderzoek naar bewegingspatronen van bezoekers en het testen van maatregelen. Het nemen van maatregelen zal daarbij prioriteit moeten krijgen. De maatregel waar het meest aandacht aan zal moeten worden besteed is de aanleg van grote vegetatie. Hiermee wordt overdekking gecreëerd waardoor het zonlicht niet in direct contact komt met het oppervlakte en de bezoekers. Daarnaast gebruikt vegetatie de energie in de omgeving voor transpiratie (Verdamping vanuit planten) Dit samen zorgt voor routes en verblijfplaatsen met een lagere temperatuur.

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	4
Inleiding	7
Aanleiding	7
Probleemstelling	8
Doelstelling	8
Leeswijzer	8
Organisatie omschrijving	9
Missie en visie	9
Theoretisch kader	11
Sensor	12
Welke begrippen gebruikt om de hoofdvraag en deelvragen te beantwoorden	14
Welke modellen gebruikt om de hoofdvraag en deelvragen te beantwoorden	16
Afbakening	18
Methodologie	19
Hoofd-/deelvragen	19
Beroepsproducten/-eisen	19
Onderzoek	20
Onderzoek verloop	20
Resultaten	21
Op welke locaties in het park wordt het hitte-eilandeffect verwacht?	21
Temperatuurverschillen tussen de gemeten locaties	22
Afwijking in meetgegevens	23
Maximum temperatuur	24
Minimum temperatuur	25
Hitte-eilandeffect	26
Patroon vergelijking	27
Temperatuurverschillen stedelijk en landelijk	28
Maatregelen om de temperatuur te verlagen	29
Conclusie	31
Op welke locaties in het park wordt het hitte-eilandeffect verwacht?	31
Welke temperatuurverschillen zijn er tussen de gemeten locaties binnen en buiten Diergaard Blijdorp?	32
Welke maatregelen kunnen genomen worden om de temperatuur te verlagen?	33

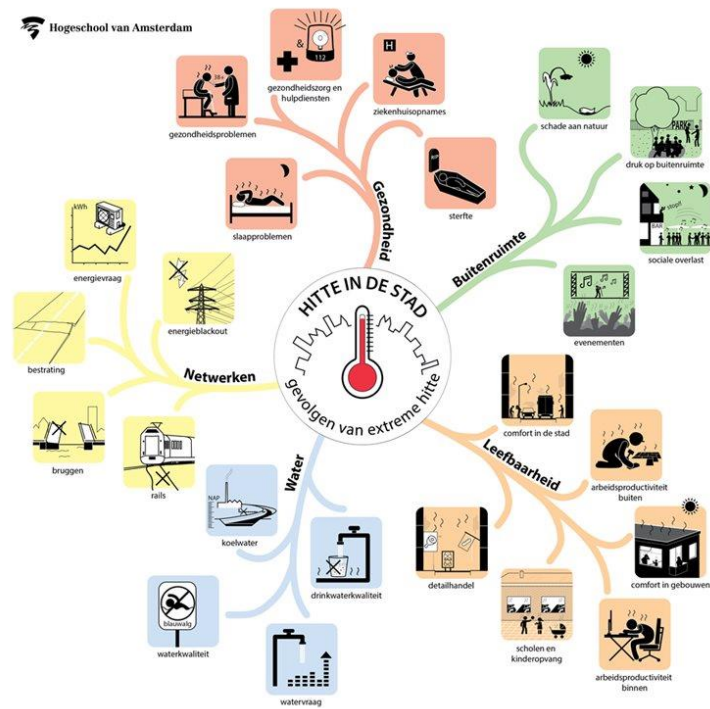
Hoe groot is het hitte-eilandeffect in het nieuwe gedeelte van Diergaarde Blijdorp en welke maatregelen kunnen genomen worden om dit effect te verminderen?.....	33
Discussie	34
Parameters.....	34
Fouten	34
Interpretatie	35
Implicaties.....	35
Aanbeveling.....	36
Bibliografie.....	37

Inleiding

Dit document is een onderzoeksrapport over hittestress in Diergaarde Blijdorp. Om een goed beeld te vormen van het rapport wordt aangeraden om het document in paginavolgorde door te lezen.

Aanleiding

De gemiddelde temperatuur op aarde is aan het stijgen. Als gevolg hiervan is een globale klimaatverandering in gang gezet met frequentere en extremere neerslag, hittegolven en droogte. Hitte wordt vastgehouden in steden en zorgt voor aanzienlijke temperatuurverschillen binnen en buiten de stad. Dit kan leiden tot schade aan infrastructuur, een lagere productiviteit, watertekorten, minder gebruik van de stad en haar voorzieningen, overlast in groene gebieden en lichamelijke klachten (Amsterdam, 2019). De gevolgen van extreme hitte zijn weergegeven op de afbeelding rechts van deze tekst.



Figuur 2 (Amsterdam, 2019)

De hittestress die ontstaat door de versterking en de toenemende temperaturen zorgen ook binnen Diergaarde Blijdorp voor problemen. De hoge gevoelstemperaturen hebben een impact op de hoeveelheid bezoekers die het park betreedt. Volgens een eerder onderzoek van Manon Kraan neemt het bezoekersaantal met elke graad stijging boven de 24 °C af met 160 lidmaatschapsbezoekers en 130 ticketbezoekers. De onderstaande tabel laat voor drie scenario's zien hoeveel potentieel inkomen verloren gaat als gevolg van hoge temperaturen. (Kraan, 2022).

Type Verloren inkomen (tabel 1)	Scenario: 11 juli 2022 25,0 °C	Scenario: 24 augustus 2022 32,2 °C	Scenario: 19 juli 2022 37,1 °C
<i>In-park aankopen</i>	€ 3.591,0	€ 29.446,2	€ 47.042,1
<i>Tickets</i>	€ 4.536,0	€ 37.195,2	€ 59.421,6
<i>Totaal</i>	€ 8.127,0	€ 66.641,4	€ 106.463,7

Het is dan ook van groot belang voor de dierentuin om erkend te worden als locatie die bezocht kan worden tijdens hete periodes. Om dit te bereiken is het onderzoek van Manon Kraan voortgezet en werkt Diergaarde Blijdorp samen met TU Delft om het probleem te verhelderen. Hierbij ligt de focus op de temperatuur van de openlucht wandelroutes die bezoekers gebruiken. Op basis van deze data kunnen maatregelen worden opgesteld. Het doel van dit onderzoek is te bepalen welke locaties in het park een hitte-eilandeffect ervaren en hoe hoog de temperaturen stijgen.

Probleemstelling

De huidige problemen van het park zijn de grote hoeveelheid verharding en het gebrek aan beschuttende vegetatie. Dit leidt tot een hitte-eilandeffect waarbij de gevoelstemperatuur in het park hoger is dan buiten het park. Als bezoekers deze warme locaties betreden, kan dit leiden tot hittestress. De hoge gevoelstemperaturen maken het park een onaantrekkelijke plek om warme dagen te besteden. Dit zorgt voor lagere bezoekersaantallen en lagere inkomsten.

Voorafgaand aan dit onderzoek zijn er geen maatregelen genomen om dit probleem voor bezoekers te verhelpen. Wel zijn de resultaten van het voorgaande onderzoek gebruikt tijdens het herinrichten van het olifantenverblijf.

Volgens de KNMI-klimaatscenario's van 2014 zal de gemiddelde temperatuur in Nederland stijgen (KNMI K. N., 2014). Dit kan leiden tot hogere temperaturen in de zomer waardoor het gemiddelde bezoekersaantal kan gaan dalen. Dit zou leiden tot flinke verliezen voor Diergaarde Blijdorp. Het effect op de inkomsten van lagere bezoekersaantallen was te zien tijdens corona.

Doelstelling

Het doel van het onderzoek is om informatie te verzamelen over de temperaturen die binnen het park ervaren kunnen worden. Het hitte-eilandeffect kan uit deze gegevens worden afgeleid. Op basis van het vastgestelde probleem en de locaties kunnen maatregelen worden opgesteld om de beleving van de bezoekers te verbeteren.

Leeswijzer

Om een beeld te geven van de hoofdstukken en het navigeren te versimpelen volgt een korte beschrijving van de onderdelen in dit document. Het hoofdstuk Theoretisch kader gaat in op het literatuuronderzoek, begrippen, formules en specificaties om de onderzoeksvraag te beantwoorden. Het tweede hoofdstuk Methodologie gaat in op de hoofdvraag, de deelvraag, onderzoeksmethoden en het onderzoekverloop. Het derde hoofdstuk Resultaten toont de vergaarde informatie en de gemaakte berekeningen. Het vierde hoofdstuk Conclusie kijkt naar de belangrijkste informatie verzameld bij de resultaten en beantwoordt met deze informatie de hoofd- en deelvragen. Het vijfde hoofdstuk Discussie behandelt de validatie, opgedane inzichten, mijn interpretatie en de implicaties. Het zesde hoofdstuk Aanbeveling kijkt naar de onderzoeksrichtingen en adviseert over de toepasbare maatregelen in het park.

Organisatie omschrijving

Diergaarde Blijdorp werd opgericht door twee spoorwegambtenaren voor hun verzameling exotische vogels. De heren Van den Bergh en Van der Valk deden dit in de binnenstad van Rotterdam in 1856 in een spoortuintje. Dit breidde zich het jaar erna in 1857 uit tot “de Rotterdamsche Diergaarde”. In 1937 moesten zij van de gemeente uitwijken voor de groei van de stad. De diergaarde begon toen met het bouwen van de huidige locatie, genoemd naar de wijk Diergaarde. Tijdens de constructie van deze nieuwe locatie werd de oude dierentuin tijdens WWII gebombardeerd waarbij veel dieren tijdens en na de bommen zijn overleden (Diergaarde, ORGANISATIE, z.d.).

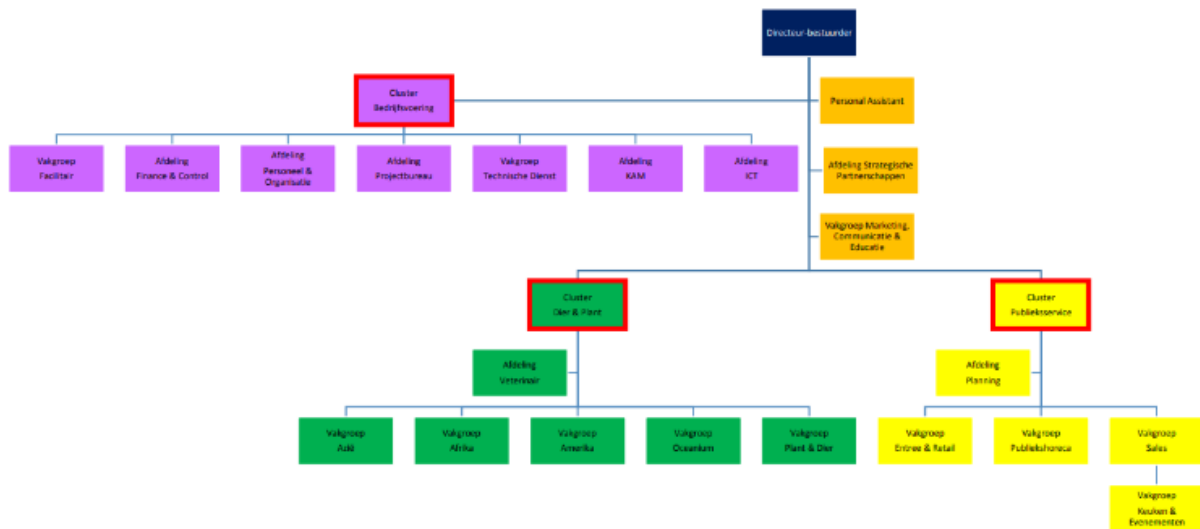
Missie en visie

Diergaarde Blijdorp heeft een grote historische waarde voor het gebied met 21 vooroorlogse monumenten. Maar de organisatie biedt nog veel meer aan haar bezoekers en de wereld als geheel. Haar bijdrage wordt het best weergegeven in de doelen waarnaar wordt gestreefd (Zevenbergen, 2022):

- “het culturele en educatieve beleid en de bescherming van het op haar terrein gevestigde culturele erfgoed en gedachtegoed van architect Sybold van Ravesteyn;
- het steunen en uitdragen van natuurbehoud in de breedste zin van het woord, door middel van het beheren en behouden van een verscheidenheid aan (bedreigde) diersoorten en de zoölogische en botanische biodiversiteit van de diergaarde;
- de onderzoeksactiviteiten en in de steun aan projecten die de bevordering van biodiversiteit, de bescherming van natuur en de instandhouding van bedreigde soorten dieren en planten dienen;
- het bieden van een aangename recreatieve tijdsbesteding aan bezoekers van de diergaarde;
- het organiseren en uitdragen van culturele activiteiten en het bieden van een sociale en verbindende ontmoetingsplek voor bewoners van de stad Rotterdam en daar buiten.”

Om dit voor elkaar te krijgen doet de dierentuin veel onderzoek naar de verschillende dieren- en plantensoorten in het park. Deze informatie kunnen zij delen met andere organisaties en/of gebruiken om bezoekers te onderwijzen. Ook zorgen zij voor fokprogramma's om het bestaan van bedreigde diersoorten veilig te stellen. De dierentuin vindt het van groot belang dat leefomgevingen in stand blijven. Daarom ondersteunt Diergaarde Blijdorp verschillende natuurbehoudsprojecten (Zevenbergen, 2022).

Binnen de organisatie valt het afstudeeronderzoek onder de afdeling Projectbureau. Hier worden verschillende grote projecten, zoals het aanpassen van verblijven, uitgewerkt.



Figuur 3 (Diergaarde, Organigram Diergaarde Blijdorp (per 9 augustus 2018))

Theoretisch kader

Dit hoofdstuk bespreekt de gebruikte theorieën, begrippen en onderzoeken die de basis vormen voor de rest van dit document. De belangrijkste onderzoeken die zijn geraadpleegd over de oorzaken van het hitte-eilandeffect zijn Nuruzzaman 2015, Bornstein 1968, Natalie E. Theeuwes 2016 en KNMI 2010. Uit deze documenten is de volgende informatie verzameld.

Weerkaatsing

De temperatuur binnen steden is veelal hoger dan in landelijke gebieden. Dit wordt veroorzaakt door de grote hoeveelheden verharding waaruit de steden zijn opgebouwd. Deze materialen in combinatie met de opstelling zorgen veelal voor een lage albedo (lage percentage van inkomend licht weerkaatst) wat leidt tot een hoger percentage geabsorbeerde zonnestrallen (Nuruzzaman, 2015). De straling die wordt weerkaatst, heeft een grote kans om vervolgens een hoger gebouw tegen te komen. Dit tweede gebouw zal een groot percentage van de energie absorberen en de rest wordt weerkaatst om potentieel opnieuw een gebouw tegen te komen. Dit leidt tot de opbouw van warmte in de materialen, die later aan de omgeving wordt afgegeven. Als gevolg hiervan wordt het overdag warmer en blijft het warm.

Energie

De energie die normaal gesproken gebruikt wordt om water te evaporeren (verdamping uit de omgeving) of door planten voor transpiratie (verdamping door planten), wordt gebruikt voor andere processen, zoals het opwarmen van de materialen in de omgeving. Dit leidt tot meer energieopslag door de omgeving en een groter restant in de lucht (Bornstein, 1968). De hoge concentratie van mensen in de stad zorgt voor een hogere uitstoot aan CO₂ en andere luchtvervuilende stoffen. Deze vervuiling absorbeert straling en houdt de warmte vervolgens vast. De hogere temperaturen die hiermee gepaard gaan leiden tot het gebruik van airconditioning die de warmte in gebouwen afgeven aan de buitenlucht. Dit zorgt voor hogere energierestanten in de omgeving (Nuruzzaman, 2015).

Obstakels

Hiernaast zorgt de bebouwing voor een gebrek aan luchtstromingen. Dit zorgt voor hogere temperaturen binnen gebieden met een groot percentage aan verharde oppervlakte (Instituut, Warmte-eilandeffect van de stad Utrecht, 2010). Hogere windsnelheden zorgen voor een betere vermenging van de horizontale en verticale temperaturen. Hierdoor verspreidt de temperatuur zich beter en dit leidt tot een lagere gemiddelde temperatuur (Natalie E. Theeuwes, 2016).

Maatregelen

De theoretische achtergrond voor de verkoelingsmaatregelen zijn gebaseerd op een RIVM-rapport voor de ontwikkeling van een standaard stresstest voor hitte (T. de Nijs, 2020). Hieruit kwamen formules voor het meten van het hitte-eilandeffect en de gevoelstemperatuur.

Sensor

Tijdens het onderzoek is data verzameld over de temperatuur binnen het park. Op basis van deze informatie kon worden bepaald hoe groot het hitte-eilandeffect is binnen Diergaarde Blijdorp. Het laatste onderzoek afgelegd door Manon Kraan gebruikte de Kestrel Drop D2HS, een hittestress monitor (Kraan, 2022). Deze sensor verzamelt informatie over de temperatuur, de windsnelheid, het dauwpunt en de gevoelstemperatuur. De verzamelde gegevens kunnen met bluetooth op de meetlocaties worden gedownload en afgelezen. Tijdens dit vervolgonderzoek wordt gebruik gemaakt van dezelfde meetapparatuur.



Figuur 4 Kestrel Drop D2HS en Kestrel app (Kestrel, z.d.)

Op tabellen 2 en 3 zijn de specificaties van de sensoren af te lezen (Naughton, 2020):

- Welke sensoren zijn aanwezig op het apparaat.
- Welke waarden worden gebruikt.
- Het mogelijke verschil tussen de gemeten waarden en de realiteit.
- Kleinste verandering dat gedetecteerd kan worden.
- Tussen welke waarden de gemeten gegevens valide zijn.
- Berekende metingen.
- Per berekening welke sensoren worden gebruikt.

Sensoren (Tabel 2)			
Sensor	Nauwkeurigheid (+/-)	Resolutie	Specificatie bereik
<i>Omgevingstemperatuur</i>	0.9 °F 0.5 °C	0.1 °F 0.1 °C	14 to 131°F -10 to 55 °C
<i>Relatieve vochtigheid</i>	2%RH	0.1 %RH	10 to 90% 25°C niet condenserend
<i>Druk</i>	1.5 hPa mmbar 0.044 inHg 0.022 PSI	0.1 hPa mmbar 0.01 inHg 0.01 PSI	25°C/77°F 700-1100 hPa mmbar 20.67- 32.48 inHg 10.15-15.95 PSI

Gecalculeerde metingen (tabel 3)			
Meting	Nauwkeurigheid (+/-)	Resolution	Gebruikte sensoren
<i>Dichtheid hoogte</i>	226 ft 69 m	1 ft 1 m	Temperatuur Relatieve vochtigheid Druk
<i>Dauw punt</i>	3.4 °F 1.9 °C 15-95% RH. Ga naar bereik voor temperatuur sensor	0.1 °F 0.1 °C	Temperatuur Relatieve vochtigheid
<i>Gevoels temperatuur</i>	7.1°F 4.0°C	0.1 °F 0.1 °C	Temperatuur Relatieve vochtigheid
<i>THI (NRC)</i>	1.5 °F 0.8 °C	0.1 °F 0.1 °C	Temperatuur Relatieve vochtigheid
<i>THI (Yousef)</i>	2.3 °F 1.3 °C	0.1 °F 0.1 °C	Temperatuur Relatieve vochtigheid
<i>Natteboltemperatuur</i>	3.2 °F 1.8 °C	0.1 °F 0.1 °C	Temperatuur Relatieve vochtigheid Druk

Welke begrippen gebruikt om de hoofdvraag en deelvragen te beantwoorden

Broeikaseffect:	Gassen in de atmosfeer absorberen warmtestraling die de oppervlakte afgeeft. Hierdoor krijgt de energie niet de kans om in de atmosfeer te ontsnappen en wordt het teruggezonden naar het aardoppervlak. De broeikasgassen die dit effect veroorzaken zijn in de laatste eeuwen in grote hoeveelheden door de mens in de atmosfeer terecht gekomen. Dit versterkt het broeikaseffect wat leidt tot hogere temperaturen en een veranderend klimaat (KNMI, Hoe warmen broeikasgassen de aarde op?, 2010).
Klimaatverandering:	De gemiddelde temperatuur van de aarde is aan het stijgen. Dit zorgt voor verschillen in weerspatronen zoals extremere neerslag en regelmatigere hittegolven. Hierdoor verandert de leefomgeving van de planten en dieren waardoor een groot deel zal uitsterven of zich moet verplaatsen. Ook kan dit zorgen voor watertekorten en hittestress voor de mens (KNMI, Klimaatverandering, z.d.).
Hitte-eilandeffect	Het temperatuurverschil in temperatuur tussen het stedelijk en landelijk gebieden. Veroorzaakt door een verschil in oppervlakte materialen, bebouwing, vegetatie en energieproductie (Nuruzzaman, 2015).
Temperatuur:	De thermische energie geabsorbeerd door de aardoppervlakte en weerkaatst door de gassen in de atmosfeer. Deze energie wordt beïnvloed door de luchtstromingen en luchtvochtigheid in de omgeving (Ritter, z.d.).
Gevoelstemperatuur:	Het warmteverlies of het gebrek ervan die levende wezens kunnen ervaren met een medium zoals de wind. Deze temperatuur kan niet worden gemeten met instrumenten maar wordt uitgerekend met formules of tabellen (KNMI, Kou, z.d.).
Hittestress:	Gezondheidsproblemen veroorzaakt door hoge temperaturen (Klimaatadaptatie, z.d.).
Verharding:	Oppervlaktes van hard materiaal zoals cement, beton of bakstenen.
Verdamping:	Verandering in de staat van water van vloeibaar naar gas (Stowa, z.d.).
Evaporatie:	Verdamping uit de omgeving (Stowa, z.d.).

Transpiratie:	Verdamping uit planten (Stowa, z.d.).
Nieuwe gedeelte:	Het deel van Diergaarde Blijdorp vanaf de parkeerplaats in het zuiden tot de spoorweg Viaduct HSL in het oosten.
Oude gedeelte:	Het deel van Diergaarde Blijdorp vanaf de ingang aan de Van Aerssenlaan in het oosten tot aan de spoorweg Viaduct HSL in het westen.
Albedo:	Het percentage van inkomende zonnestrallen die gereflecteerd worden (Nuruzzaman, 2015).
Cabauw:	Een dorp omgeven door landbouwgrond. Hier bevindt zich een weerstation van het KNMI. De informatie uit deze locatie is gebruikt als landelijkgebied voor gemaakte berekeningen en vergelijkingen.

Welke modellen gebruikt om de hoofdvraag en deelvragen te beantwoorden

Om een beeld te vormen van de theoretische temperaturen in het park en de effecten van maatregelen is gewerkt met de Tygron Client. Aan de hand van dit programma kunnen simulaties worden uitgewerkt met verschillende factoren. In dit programma wordt gebruik gemaakt van de volgende formule (T. de Nijs, 2020):

$$UHI_{max} = (2 - SVF - f_{veg}) \cdot \sqrt[4]{\frac{S \cdot DTR^3}{U}}$$

Afkortingen (tabel 4)	Betekenis
UHI_{max}	Het maximale verschil tussen ($T_{Stedelijk} - T_{Landelijk}$) van een 1 uur gemiddelde.
S	Dagelijks gemiddelde globale radiatie.
U	Gemiddelde windsnelheid op 10 meter van een 1 uur gemiddelde in de stedelijke omgeving.
DTR	Verschied tussen de maximale en minimale temperatuur in de stedelijke omgeving.
f_{veg}	Vegetatie fractie in een radius vanaf het stedelijke meetpunt.
SVF	Sky-viewfactor is het zichtbare percentage van de lucht zichtbaar vanaf de grond.

Om het uitwerken van het hitte-eilandeffect te versimpelen is een programma van Friso Vos de wael gebruikt. De gemaakte berekening hebben een aanname van de ndvi in mei en de T_{regio} van 3. Hiervoor is gekozen om een beter beeld te kunnen vormen van het effect dat het aanplanten van groen heeft op het hitte-eilandeffect. Het programma gebruikt de volgende formule (wael, 2023):

$$UHI = (2 - ndvi - SVF) * T_{regio} + T$$

Afkorting (tabel 5)	Betekenis
UHI	Het maximale verschil tussen ($T_{Stedelijk} - T_{Landelijk}$).
ndvi	De activiteit van planten in de maand mei.
SVF	Sky-viewfactor is het zichtbare percentage van de lucht zichtbaar vanaf de grond. Bepaald op basis van kaarten van het KNMI.
T_{regio}	Regionale temperatuurstijging met een aanname van 3 graden.
T	De gemeten temperatuur op locatie.

De beleving van de bezoekers is van groot belang voor Diergaarde Blijdorp. Hoe mensen zich voelen wordt grotendeels bepaald door de temperatuur. Om de gevoelstemperatuur te bepalen zijn de volgende gestandaardiseerde formules ontworpen. De eerste formule kan gebruikt worden voor overdag voor oppervlaktes in contact met zonlicht (T. de Nijs, 2020):

$$PET_{sun} = -13,26 + 1,25T_{a,t} + 0,011Q_{gl,t} - 3,37 \ln(u_t) + 0,078T_{w,t} + 0,0055Q_{gl,t} \ln(u) \sin(\phi_t) + 0,546B_{b,t} + 1,94S_{vf}$$

In de nacht of schaduw wordt gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$PET_{shade,night} = -12,14 + 1,25T_{a,t} - 1,47 \ln(u_t) + 0,060T_{w,t} + 0,015S_{vf}Q_{d,t} + 0,0060(1 - S_{vf})\sigma(T_{a,t} + 273,15)^4$$

Afkorting (tabel 6)	Betekenis
$T_{a,t}$	De gecalculeerde atmosferische temperatuur bij tijd t.
$Q_{gl,t}$	De radiatie per uur bij tijd t.
u_t	De gecalculeerde windsnelheid bij 1,2 meter boven grondniveau bij tijd t.
$T_{w,t}$	De gecalculeerde natteboltemperatuur bij tijd t.
ϕ_t	Stand van de zon bij tijd t.
$B_{b,t}$	Bowen ratio bij tijd t.
S_{vf}	Gecalculeerde sky-view factor.
$Q_{d,t}$	Diffuse straling.
σ	Stefan Boltzmann constant.

Heat Index

De gebruikte gevoelstemperatuur gegevens zijn afkomstig van de opgehangen sensoren. Deze waarden zijn niet berekend met een formule. In plaats daarvan is gebruik gemaakt van een tabel opgesteld door de Amerikaanse National Weather Service. Op basis van de relatieve luchtvochtigheid en de temperatuur kan met behulp van de tabel bepaald worden hoe warm het voelt.

De gevoelstemperatuur kan dan worden gekoppeld aan het gevaar op lichamelijke klachten.

HEAT INDEX °F (°C)													
The heat index is an accurate measure of how hot it really feels when the affects of humidity are added to high temperature.													
Temp.	RELATIVE HUMIDITY (%)												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
110	136												
(47)	(58)												
108	130	137											
(43)	(54)	(58)											
106	124	130	137										
(41)	(51)	(54)	(58)										
104	119	124	131	137									
(40)	(48)	(51)	(55)	(58)									
102	114	119	124	130	137								
(39)	(46)	(48)	(51)	(54)	(58)								
100	109	114	118	124	129	136							
(38)	(43)	(46)	(48)	(51)	(54)	(58)							
98	105	109	113	117	123	128	134						
(37)	(41)	(43)	(45)	(47)	(51)	(53)	(57)						
96	101	104	108	112	116	121	126	132					
(36)	(38)	(40)	(42)	(44)	(47)	(49)	(52)	(56)					
94	97	100	103	106	110	114	119	124	129	135			
(34)	(36)	(38)	(39)	(41)	(43)	(46)	(48)	(51)	(54)	(57)			
92	94	96	99	101	105	108	112	116	121	126	131		
(33)	(34)	(36)	(37)	(38)	(41)	(42)	(44)	(47)	(49)	(52)	(55)		
90	91	93	95	97	100	103	106	109	113	117	122	127	132
(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(38)	(39)	(41)	(43)	(45)	(47)	(50)	(53)	(56)
88	88	89	91	93	95	98	100	103	106	110	113	117	121
(31)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(37)	(38)	(39)	(41)	(43)	(45)	(47)	(49)
86	85	87	88	89	91	93	95	97	100	102	105	108	112
(30)	(29)	(31)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(38)	(39)	(41)	(42)	(44)
84	83	84	85	86	88	89	90	92	94	96	98	100	103
(29)	(28)	(29)	(29)	(30)	(31)	(32)	(32)	(33)	(34)	(36)	(37)	(38)	(39)
82	81	82	83	84	84	85	86	88	89	90	91	93	95
(28)	(27)	(28)	(28)	(29)	(29)	(29)	(30)	(31)	(32)	(32)	(33)	(34)	(35)
80	80	80	81	81	82	82	83	84	84	85	86	86	87
(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	(28)	(28)	(28)	(29)	(29)	(29)	(30)	(30)	(31)

Figuur 6 tabel gevoelstemperatuur (Service, z.d)

Category	Heat Index	Possible heat disorders for people in high risk groups
Extreme Danger	130°F or higher (54°C or higher)	Heat stroke or sunstroke likely.
Danger	105 - 129°F (41 - 54°C)	Sunstroke, muscle cramps, and/or heat exhaustion likely. Heatstroke possible with prolonged exposure and/or physical activity.
Extreme Caution	90 - 105°F (32 - 41°C)	Sunstroke, muscle cramps, and/or heat exhaustion possible with prolonged exposure and/or physical activity.
Caution	80 - 90°F (27 - 32°C)	Fatigue possible with prolonged exposure and/or physical activity.

Figuur 5 tabel gezondheidsgevaar (Service, z.d)

Afbakening

Tijdens het laatste onderzoek van 2022 lag de focus op het verzamelen van data in het oude gedeelte van het park. Om een dekkend beeld te vormen van Diergaarde Blijdorp wordt de focus tijdens dit onderzoek gelegd op het nieuwe gedeelte. In dit deel van het park staan binnenkort maatregelen op de planning. Dit onderzoek zal informatie bieden voor dit proces.

Dit nieuwe gedeelte van het park bevat grote verharde oppervlaktes met weinig mogelijkheden voor verkoeling of beschutting. Het is van belang dat er data vergaard wordt die inzicht geeft in het exacte probleem om de mogelijke keuzes te onderbouwen.

De data voor dit onderzoek zijn verzameld met een gelimiteerd aantal sensoren. De kastjes werden op zo'n manier geïnstalleerd, dat ze samen een zo groot mogelijke dekking realiseerden. Blijdorp streeft ernaar haar bezoekers een zo aangenaam mogelijke ervaring in het park te bieden. Dat is de reden dat de sensoren in de buitenlucht zijn geplaatst, langs looproutes op plekken met hoge temperaturen. Om warme temperaturen te meten, vond het onderzoek plaats in de zomermaanden.



Figuur 7 Kaart geplande sensoren (Blijdorp, z.d.)

Methodologie

Hoofd-/deelvragen

Tijdens mijn afstudeeronderzoek was het doel de volgende hoofdvraag te beantwoorden:

“Hoe groot is het hitte-eilandeffect in het nieuwe gedeelte van Diergaarde Blijdorp en welke maatregelen kunnen genomen worden om dit effect te verminderen?”

Om deze vraag te kunnen beantwoorden was deze opgedeeld in deelvragen die samen de hoofdvraag beantwoorden:

1. Op welke locaties in het park wordt het hitte-eilandeffect verwacht?
2. Welke temperatuurverschillen zijn er tussen de gemeten locaties binnen en buiten Diergaarde Blijdorp.
3. Welke maatregelen kunnen genomen worden om de temperatuur te verlagen?

Beroepsproducten/-eisen

Het doel van het onderzoek is het verzamelen van data die Diergaarde Blijdorp kan gebruiken. Hiervoor is een document opgesteld waarin de vergaarde data wordt getoond en geanalyseerd. Op basis van de analyses, kunnen mogelijke oorzaken en oplossingen worden bepaald voor het probleem. Deze kunnen vervolgens gebruikt worden voor de herinrichting van het park. Daarnaast bieden de verkregen data een duidelijke basis voor vervolgonderzoeken. Het eindproduct zal aan de volgende eisen moeten voldoen:

- Overzicht van de verzamelde data.
- Analyse van de verzamelde data.
- Mogelijke maatregelen.
- Visualisatie van een aantal maatregelen op meetlocaties.
- De maatregelen worden niet gekwantificeerd.

Aan het eind van het onderzoek is een document met voorbeeld maatregelen opgeleverd voor het nieuwe gedeelte van Diergaarde Blijdorp. Hierin wordt de mate van hittestress aangegeven van de verschillende meetlocaties. Vervolgens zijn deze locaties aangevuld met visualisaties van mogelijke maatregelen. Deze kunnen worden gebruikt als inspiratie voor het herontwerpen van de betreffende locaties.

Onderzoek

Tijdens het onderzoek is gebruik gemaakt van drie onderzoeksmethoden.

Allereerst is kwalitatief onderzoek toegepast: literatuuronderzoek. Hierbij lag de focus op het begrijpen van het hitte-eilandeffect en de mogelijke koelingsmethoden. De documenten zijn gekozen op basis van citaten bronnen, auteur(s) en organisatie. De informatie verzameld uit deze documenten werd vervolgens gevalideerd door de stellingen tegen elkaar af te wegen. Hieruit kwam informatie die elkaar ondersteunde en aanvulde.

De methoden monitoring en observaties zijn kwantitatief met de focus op het verzamelen en verwerken van data. Deze werden verzameld met sensoren en KNMI-weerstations. Door de meetgegevens van verschillende sensoren en weerstations met elkaar te vergelijken, kon worden vastgesteld dat de sensoren werkten zoals verwacht. Vervolgens is met een hittecamera gekeken naar de temperaturen op de betreffende locaties om afwijkingen te toetsen. Hieruit kwam de conclusie dat de gewenste data verzameld werd. Om het hitte-eilandeffect te bepalen, is de temperatuur binnen het park vergeleken met een weerstation in Rotterdam en Cabauw.

De informatie die uiteindelijk is gebruikt voor de resultaten en conclusie zijn gekozen op basis van:

- Betrouwbaarheid van de bron.
- Overeenstemming tussen de bronnen.
- Belang tot de onderzoeksvragen.

Onderzoek verloop

Voor het onderzoek waren acht sensoren en een weerstation beschikbaar voor het nemen van metingen. Helaas hadden enkele sensoren voor een korte periode uitval. Tijdens het plaatsen van de sensoren bleek de Oceanium-locatie geen connectie te kunnen maken met bluetooth. Hierdoor konden de meetgegevens niet opgehaald worden en was de sensor onbruikbaar. Daarnaast is tussen 10 en 17 juli de Zeearend-sensor weggehaald door een onbekende partij. Ook bleken tijdens het analyseren van de meetgegevens de data van het weerstation onbruikbaar voor het onderzoek.

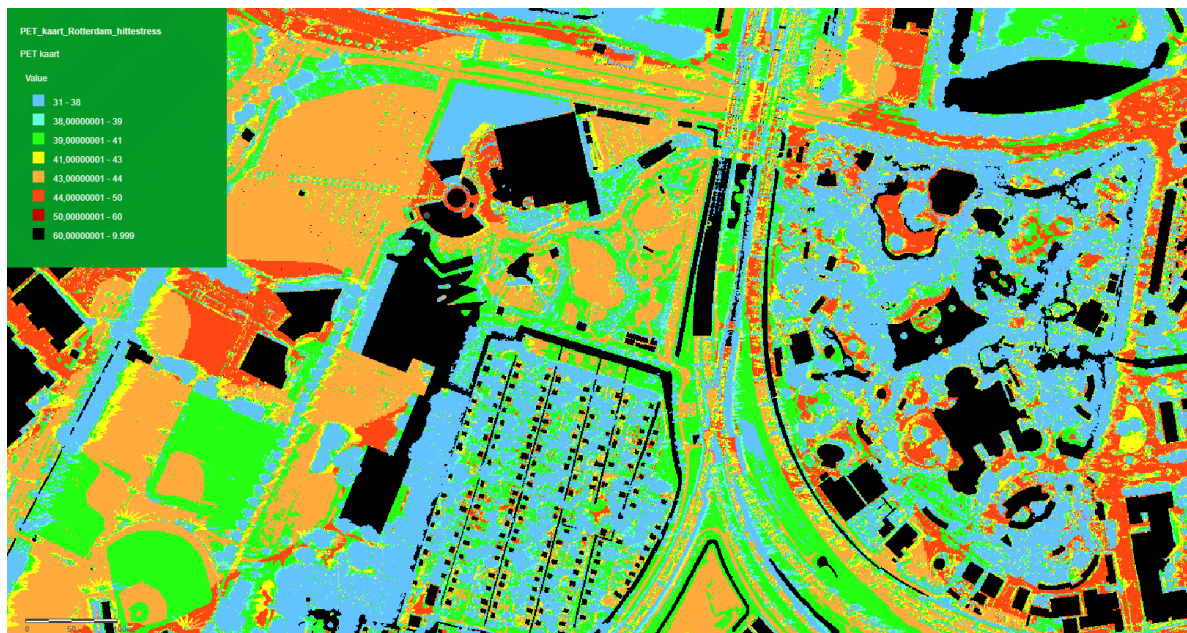
Tijdens de meetperiode is wekelijks data uit de sensoren gedownload, omgezet naar Excel en gecorrigeerd. De meetgegevens zijn vervolgens gebruikt voor berekeningen en visualisaties. Deze visualisaties en berekeningen werden vervolgens gebruikt om een beeld te vormen van de afwijkingen en de mate van het hitte-eilandeffect. Nadat voldoende informatie was verzameld, mochten de sensoren blijven hangen om potentiële informatie te verzamelen voor vervolgonderzoeken.

Resultaten

Tijdens de loop van het onderzoek zijn de volgende resultaten verzameld. Deze resultaten geven een beeld van de situatie en zijn bruikbaar om conclusies voor de deelvragen te onderbouwen. De informatie is per deelvraag geordend.

Op welke locaties in het park wordt het hitte-eilandeffect verwacht?

Op basis van de eisen was vastgesteld, dat het onderzoeksgebied begrenst was tot het nieuwe gedeelte van het park. Op figuur 7 is te zien dat de gevoelstemperaturen in het oude gedeelte laag zijn met hoge temperaturen bij de verblijven en het personeelsterrein. Daarentegen ervaren mensen op de looproute vanaf de parkeerplaats tot aan de spoorwegovergang veel hogere temperaturen.



Figuur 8 (Rotterdam, z.d.)

Op basis van deze kennis en na overleg met mijn begeleiders zijn vervolgens een zevental locaties in het nieuwe gedeelte gekozen vanwege hun potentieel hoge maximum temperaturen, op basis van de hoeveelheid verharding, het gebrek aan beschutting, het gebrek aan vegetatie en/of gebruikte materialen. De locaties zijn:

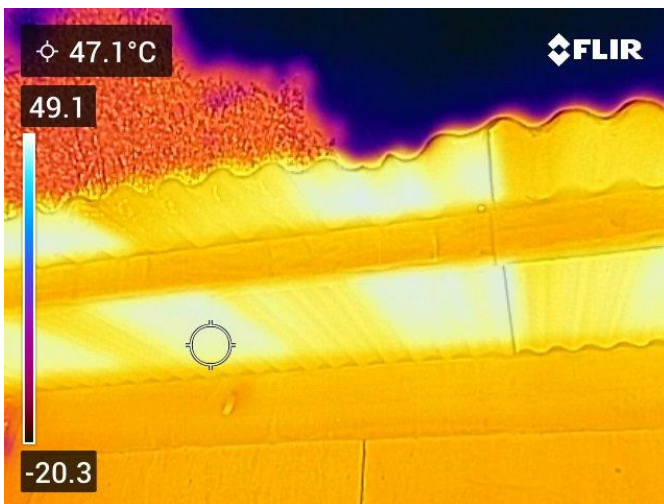
- Wandelpad parkeerplaats.
- Nieuwe-ingang plein.
- Plein zeearend en ijsbeer.
- Wandelpad bizon.
- Speeltuin Amazonica ingang.
- Wandelpad ringstaartmaki en Vicuña.
- Viaduct HSL.

Temperatuurverschillen tussen de gemeten locaties

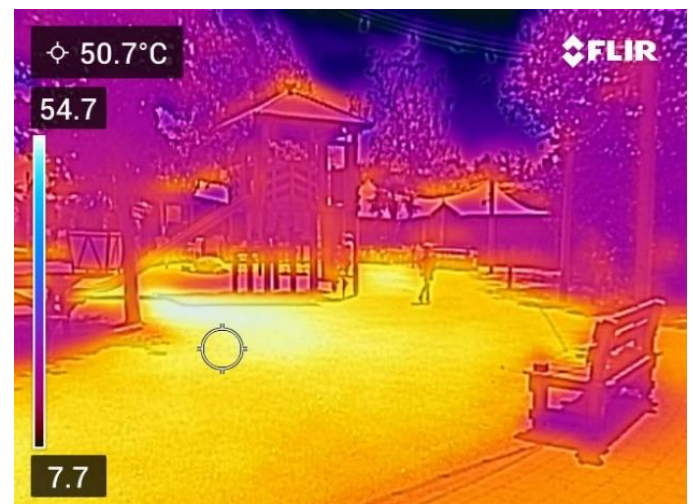
De onderstaande grafieken laten de temperaturen van de wekelijkse meetreeksen zien. De temperaturen van de verschillende locaties hebben vergelijkbare patronen. De patronen wijken op een aantal locaties af. De temperaturen die gemeten zijn bij de Amazonica-locatie reiken in het algemeen hoger dan op de andere locaties. Het temperatuurverschil van de Amazonica en de andere sensoren is groter op warmere dagen. Terwijl op dagen met lagere temperaturen een kleinere afwijking is te zien in de grafieken. De reden hiervoor is niet vastgesteld. Om deze observatie te beargumenteren, hebben wij een aantal mogelijke oorzaken bepaald.

- Het metalen dak boven de sensor warmt op wat leidt tot warmere temperaturen onder het dak en hogere temperaturen bij de sensor.
- Het oppervlak van de speeltuin bereikt hogere temperaturen dan het oppervlak op de andere meetlocaties. Dit in combinatie met een gebrek aan vegetatie leidt tot een groter hitte-eilandeffect op de meetlocatie.

Om een beter beeld te krijgen van de situatie is gebruik gemaakt van een hitte-camera. Op de foto's onder deze tekst is te zien dat zowel het toiletgebouw waaraan de sensor is opgehangen als het speelplein hoge temperaturen kunnen bereiken. De kans is dan ook groot dat de hoge temperaturen zijn ontstaan door de materialen van het plein en het gebouw. Samen zorgen deze voor een groot hitte-eilandeffect op locatie. Dit is ook te ervaren door er tijd door te brengen. De locatie voelt in vergelijking met de andere meetpunten warmer aan.



Figuur 9 Toilet Amazonica

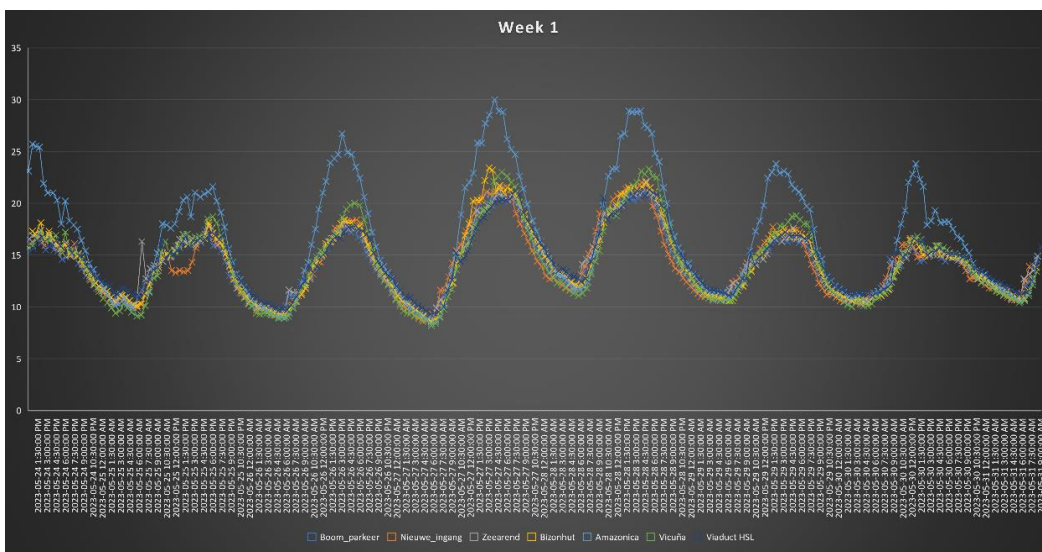


Figuur 10 Speelplein Amazonica

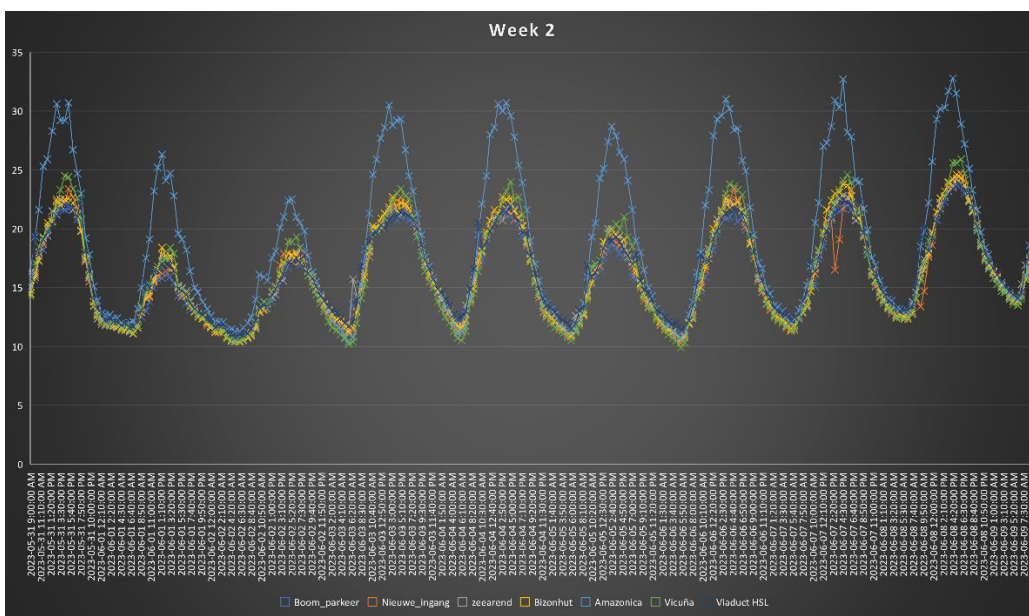
Afwijking in meetgegevens

Verder kijken de meetgegevens van elkaar af met abrupte pieken en dalen. De Viaduct HSL locatie ervaart 's morgens rond 10 uur pieken. Na observatie op locatie kon worden vastgesteld dat het zonlicht rond deze tijd op de sensor valt. Hieruit is af te leiden dat de pieken aanwezig op andere tijden en locaties vergelijkbare oorzaken hebben. De pieken op andere locaties zijn niet consistent en komen minder vaak voor. Dit zou veroorzaakt kunnen worden door de dekkende vegetatie.

De temperaturen gemeten bij de nieuwe ingang laten in figuur 11 en 12 een trog zien. De reden voor deze afwijking is onduidelijk. Dit zou veroorzaakt kunnen worden door de dichtbij gelegen oppervlaktewateren van het Oceanium. Luchtstromen zouden de lagere temperaturen van het water naar de sensorlocatie kunnen verplaatsen. Een andere mogelijkheid is dat de vegetatie op deze momenten wordt besproeid.



Figuur 11 week 1



Figuur 12 week 2

Maximum temperatuur

De hoogst gemeten temperaturen en gevoelstemperaturen zijn verspreid over twee dagen 25-6 en 8-7 (zie tabel 7 en 8). De warmste temperaturen op de meetlocaties variëren met 2,7 tot 10,8 graden. Deze temperatuurverschillen zijn niet op datum gebaseerd maar op de heetst gemeten data per meetlocatie. De data van Cabauw en Rotterdam zijn afkomstig van KNMI-weerstations (Instituut, Uurgegevens van het weer in Nederland, 2023). De laagste temperatuur is gemeten bij de Viaduct HSL en de hoogste bij de Amazonica. Deze gevoelstemperaturen verschillen met 0,1 tot 2,6 graden met het kleinste verschil bij de ingang waar de gevoelstemperatuur lager is dan de gemeten temperatuur. Het grootste verschil van gevoelstemperatuur en gemeten temperatuur is bij de Amazonica.

De gemeten temperatuur in Rotterdam was 0,2 graden hoger dan bij Cabauw. Terwijl de temperatuur (met afzondering van de Viaduct HSL) minstens 1 graden hoger is in Diergaarde Blijdorp dan in Rotterdam (zie tabel 9 en 13). Dit wijst erop dat de temperaturen binnen het park hoger zijn dan die van het omliggende stedelijke gebied.

Locatie (tabel 7)	Maximum temperatuur	Relatieve vochtigheid	Datum
<i>Parkeerplaats</i>	33,1	31,2	8-7-2023 17:20
<i>Ingang</i>	33,2	30	25-6-2023 17:20
<i>Zeearend</i>	33,2	36	8-7-2023 16:00
<i>Bizons</i>	35,1	36,3	8-7-2023 15:50
<i>Amazonica</i>	41,2	23,6	8-7-2023 14:40
<i>Vicuña</i>	33,6	33,2	8-7-2023 16:00
<i>Viaduct HSL</i>	30,4	40,1	25-6-2023 18:10
<i>Rotterdam</i>	32,1	47	8-7-2023 14:00
<i>Cabauw</i>	31,9	35	8-7-2023 15:00

Locatie (tabel 8)	Maximum gevoelstemperatuur	Relatieve vochtigheid	Datum
<i>Parkeerplaats</i>	33,2	31,2	8-7-2023 17:20
<i>Ingang</i>	33,1	30	25-6-2023 17:20
<i>Zeearend</i>	34,3	36	8-7-2023 16:00
<i>Bizons</i>	36,3	36,3	8-7-2023 15:50
<i>Amazonica</i>	43,8	23,6	8-7-2023 14:40
<i>Vicuña</i>	35,7	38,9	8-7-2023 18:20
<i>Viaduct HSL</i>	30,6	40,1	25-6-2023 18:10
<i>Rotterdam</i>	-	-	-
<i>Cabauw</i>	-	-	-

Locatie (tabel 9)	Maximum temperatuur	Temperatuurverschil Rotterdam	Temperatuurverschil Cabauw
<i>Parkeerplaats</i>	33,1	1	1,2
<i>Ingang</i>	33,2	1,1	1,3
<i>Zeearend</i>	33,2	1,1	1,3
<i>Bizons</i>	35,1	3	3,2
<i>Amazonica</i>	41,2	9,1	9,3
<i>Vicuña</i>	33,6	1,5	1,7
<i>Viaduct HSL</i>	30,4	-1,7	-1,5

Minimum temperatuur

Op de koudste dagen binnen de meetperiode toont Diergaarde Blijdorp hogere temperaturen dan de meetpunten in Rotterdam en Cabauw (zie tabel 10). De laagste temperaturen binnen de diergaarde zijn geobserveerd bij de Amazonica. De Viaduct HSL toonde de laagste maximale temperatuur en het kleinste temperatuurverschil van alle meetpunten (zie tabel 12). Dit is niet terug te zien in de minimale temperaturen waar het een van de hogere temperaturen ervaart.

De gevoelstemperatuur op de locaties is gelijk of lager dan de gemeten temperatuur (zie tabel 10 en 11). De lage temperaturen gingen niet gepaard met neerslag. De gemeten relatieve vochtigheid is hoger bij de minimumtemperaturen dan bij de maximumtemperaturen.

Locatie (tabel 10)	Minimum temperatuur	Relatieve vochtigheid	Datum
Parkeerplaats	8,6	82,2	27-5-2023 06:00
Ingang	8,6	82,1	27-5-2023 05:40
Zeearend	8,6	82,3	27-5-2023 06:00
Bizons	8,6	82,2	27-5-2023 06:00
Amazonica	8,4	83,6	27-5-2023 05:50
Vicuña	9,9	87,3	25-5-2023 01:40
Viaduct HSL	9,20	78,1	27-5-2023 06:20
Rotterdam	6,9	88	27-5-2023 04:00
Cabauw	7,1	88	26-5-2023 04:00

Locatie (tabel 11)	Minimum gevoelstemperatuur	Relatieve vochtigheid	Datum
Parkeerplaats	8,4	82,2	27-5-2023 06:00
Ingang	8,5	82,1	27-5-2023 05:40
Zeearend	8,5	82,3	27-5-2023 06:00
Bizons	8,5	82,2	27-5-2023 06:00
Amazonica	8,3	83,6	27-5-2023 05:50
Vicuña	9,9	87,3	25-5-2023 01:40
Viaduct HSL	8,9	78,1	27-5-2023 06:20
Rotterdam	-	88	27-5-2023 04:00
Cabauw	-	88	26-5-2023 04:00

Locatie (Tabel 12)	Verschil maximum en minimum temperatuur	Verschil maximum en minimum gevoelstemperatuur
Parkeerplaats	24,5	24,8
Ingang	24,6	24,6
Zeearend	24,6	25,8
Bizons	26,5	27,8
Amazonica	32,8	35,5
Vicuña	23,7	25,8
Viaduct HSL	21,2	21,7
Rotterdam	25,2	-
Cabauw	24,8	-

Locatie (tabel 13)	Minimum temperatuur	Temperatuurverschil Rotterdam	Temperatuurverschil Cabauw
<i>Parkeerplaats</i>	8,6	1,7	1,5
<i>Ingang</i>	8,6	1,7	1,5
<i>Zeearend</i>	8,6	1,7	1,5
<i>Bizons</i>	8,6	1,7	1,5
<i>Amazonica</i>	8,4	1,5	1,3
<i>Vicuña</i>	9,9	3	2,8
<i>Viaduct HSL</i>	9,20	2,3	2,1

Hitte-eilandeffect

Het hitte-eilandeffect op de 7 locaties is met behulp van het programma van Friso Vos de wael uitgerekend (wael, 2023). Zoals te zien is op tabel 14 hieronder hebben de locaties Ingang en Viaduct de hoogste hitte-eilandeffect waardes. De tweede tabel geeft weer welk effect het vergroten van de ndvi en SVF hebben op het UHI. Tijdens het gebruik van de formules werd geen verschil gedetecteerd tussen het effect van een stijging in ndvi of SVF. Beide zorgen met een stijging van 10% in een daling van 0,3 in het UHI.

Locatie (tabel 14)	Maximum temperatuur	Maximum temperatuur met UHI	UHI
<i>Parkeerplaats</i>	33,1	35,4	2,3
<i>Ingang</i>	33,2	37,2	4,0
<i>Zeearend</i>	33,2	35,2	2,0
<i>Bizons</i>	35,1	37,2	2,1
<i>Amazonica</i>	41,2	43,5	2,3
<i>Vicuña</i>	33,6	35,7	2,1
<i>Viaduct HSL</i>	30,4	33,4	3,0

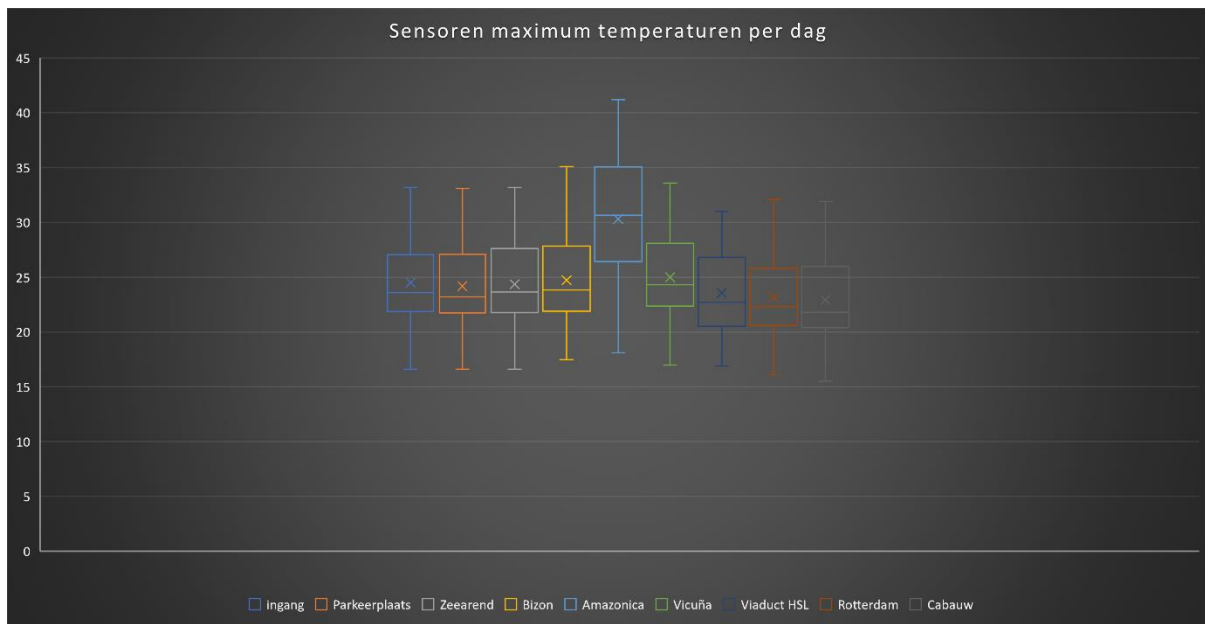
Locatie (tabel 15)	UHI	UHI met 10% stijging in ndvi	UHI met 10 procent stijging in SVF
<i>Parkeerplaats</i>	2,30	2,0	2,0
<i>Ingang</i>	4,01	3,7	3,7
<i>Zeearend</i>	2,04	1,7	1,7
<i>Bizons</i>	2,14	1,8	1,8
<i>Amazonica</i>	2,27	2	2
<i>Vicuña</i>	2,05	1,8	1,8
<i>Viaduct HSL</i>	2,97	2,7	2,7

Temperatuurverschillen stedelijk en landelijk

Op figuur 15 en tabel 16 hieronder is te zien dat in het stedelijke gebied van Diergaarde Blijdorp, met uitzondering van de locatie Viaduct als geheel, hogere maximumtemperaturen per dag ervaren worden dan het buitengebied bij Cabauw en het meetpunt in Rotterdam. De boxplot (figuur 15) geeft duidelijk weer hoe groot de verschillen zijn in gemeten temperaturen per locatie, terwijl de tabel beter weergeeft welke temperaturen een gast zou kunnen ervaren als zij deze locaties bezoeken.

De locaties Ingang, Parkeerplaats en Zeearend hebben een vrijwel gelijke minimum en maximum temperatuur, maar verschillen in de kwartielen en de mediaan. De verschillen zijn duidelijker af te lezen bij de tabel, waarbij de gemiddelde maximum temperatuur van de parkeerplaats 1 graad lager is dan die van de ingang.

Daarentegen verschilt de vorm van de locaties Vicuña en Viaduct sterker. Dit is niet terug te zien in de berekende gemiddelden waarbij er een 0,1 graden verschil is af te lezen. De gemiddelde waarden van de sensoren verschillen tussen de 0,5 en 4,2 graden. Hierbij wijkt de Amazonica locatie het meest af van de ander meetlocaties in zowel de boxplot als de tabel.



Figuur 15 Sensoren maximum temperaturen per dag boxplot (24-5-2023 13:00 tot 31-5-2023 12:00 AM) (Instituut, Uurgegevens van het weer in Nederland, 2023)

Locatie (tabel 16)	Gemiddelde maximum temperatuur per dag
Parkeerplaats	23,7
Ingang	24,7
Zeearend	24,3
Bizons	24,4
Amazonica	27,1
Vicuña	23,4
Viaduct HSL	23,5
Rotterdam	23,2
Cabauw	22,9

Maatregelen om de temperatuur te verlagen

De onderstaande tabellen zijn afkomstig uit “De hittebestendige stad: een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte van de Hogeschool van Amsterdam”. Ze geven verkoelende waarden weer voor maatregelen die genomen kunnen worden in een stedelijk gebied. De waarden zijn gekoppeld aan een niveau en dagdeel. De getoonde waarden zijn gekoppeld aan mogelijke temperaturodalingen. Onduidelijk is hoe groot het effect van de maatregel daadwerkelijk zou zijn na toepassing (Kluck, 2020).

Vergroening

Het aanleggen van vegetatie is het grondigst onderbouwd als oplossing tegen het hitte-eilandeffect. Het planten van bomen zorgt voor schaduw en transpiratie van water. De schaduw zorgt voor lagere oppervlakte temperaturen. Terwijl de transpiratie van water energie onttrekt uit de omgeving, wat zorgt voor een koelere luchttemperatuur (zie tabel 17). Ook heeft het planten van bomen het voordeel dat oppervlaktes doorlaatbaar worden. Hier kan water infiltreren en zorgen voor een grotere berging potentiaal in het gebied. Naast deze voordelen zorgt het aanleggen van bomen en andere vegetatie voor (Teri Knight, 2021):

- Minder energiegebruik voor verkoelingselementen door de lagere temperaturen.
- Planten houden gassen vast en zetten ze om naar minder schadelijke varianten.
- Schaduwen zorgen voor langere levensduren van materialen.
- Planten bieden beschutting en leefruimte voor verschillende dieren.
- Planten dempen geluid.
- Planten zijn esthetisch aangenaam.

Groen (tabel 17)								
Maatregel	Principe	Tijd		Schaal		Luchttemperatuur		Gevoelstemperatuur
		Dag	Nacht	Stad	Lokaal	Stad	Lokaal	Lokaal
Bomen/leibomen	Verdamping Beschaduwing	x		x	x	0,2-2,7	0,7-2,7	3,4-19
Gras/struiken	Verdamping Reflectie	x	x	x	x	0,1-1,1	0,9-1,2	0,4-4,9
Grasbetontegels	Verdamping	x	x		x	-	-	-
Groene gevels	Verdamping	x	x		x	0-1,9	0,2-1,5	??
Groene daken (extensief)	Verdamping		x	x		0-1,8	0-0,8	-
Groene daken (intensief)	Verdamping	x	x	x		0-1,7	1,0-1,6	-
Park	Verdamping Beschaduwing	x	x	x		??	1,1-2,0	1,9 – 4,2

Waterlichamen

Aangelegde waterlichamen zoals vijvers of fonteinen (Zie tabel 18) bieden de kans op evaporatie. Tijdens dit proces wordt energie onttrokken uit de omgeving wat leidt tot een daling in temperatuur. Hierbij stijgt het vochtgehalte in de lucht.

Ander onderzoek geeft aan dat de aanleg van een waterlichaam een stijging in gevoelstemperatuur kan veroorzaken. Waterlichamen houden warmte beter vast wat kan leiden tot hogere watertemperaturen in koudere maanden of in de nacht. Dit kan zorgen voor hogere nachtelijke temperaturen in de omgeving. Daarnaast zorgt de verdamping voor een hogere luchtvochtigheid. Luchtvochtigheid zorgt voor een hogere kans op hittestress. Overeenstemming over de potentiële kansen van waterlichamen op het gebied van hittedeductie is er nog niet. Meer kennis is nodig voor inzicht in het precieze effect van waterlichamen op het minimaliseren of verhelpen van hittestress (N.E. Theeuwes, 2012).

Blauw (tabel 18)								
Maatregel	Principe	Tijd		Schaal		Luchttemperatuur		Gevoelstemperatuur
		Dag	Nacht	Stad	Lokaal	Stad	Lokaal	Lokaal
Vijver	Verdamping	x			x	0,5-1,3	0,5-0,7	0,6-3,6
Meer	Verdamping	x		x		1,0-2,0	0,5-1,6	??
Singels/grachten/sloten	Verdamping	x			x	??	0,1-0,8	0,2-2,0
Rivier	Verdamping Ventilatie	x		x		??	0,5-4,0	1,0-4,0
Fonteinen	Verdamping	x			x	-	1,0-4,7	1,0-5,0
Vernevelingsinstallaties	Verdamping	x			x	-	0,7-3,0	??
Besprekingsstraten	Verdamping	x			x	-	0,8-3,0	??
Polderdaken	Verdamping	x		x		??	-	-

Schaduw en reflectie

Overdekkingen zorgen voor locaties waar zonlicht niet in direct contact komt met oppervlaktes die zich eronder bevinden. Dit zorgt voor lagere energieafgiften op de locatie. Daarnaast kunnen materialen worden gebruikt met een hogere albedo. Dit zou betekenen dat een grotere hoeveelheid van de inkomende straling wordt weerkaatst en niet wordt vastgehouden. Dit kan zorgen voor een lagere energieopslag in de materialen (Zie tabel 19). Daarnaast kan worden gelet op de hitteproductie van mensen zoals de energie uit airconditioning (Nuruzzaman, 2015).

Schaduw en reflectie (Tabel 19)								
Maatregel	Principe	Tijd		Schaal		Luchttemperatuur		Gevoelstemperatuur
		Dag	Nacht	Stad	Lokaal	Stad	Lokaal	Lokaal
<i>Parasols/ doeken/beschuttingen/..</i>	Beschaduwing	x			x	-	0-1,0	2,0-17,0
<i>Lichte bestrating</i>	Reflectie	x			x	-	0,1-0,7	??
<i>Witte daken</i>	Reflectie	x			x	-	Max 1,9	-
<i>Witte gevels</i>	Reflectie	x		x		Max 0,9	-	??

Conclusie

Diergaarde Blijdorp heeft in 2022 onderzoek gedaan naar het effect van temperatuur op het aantal bezoekers dat het park betreedt. Dit onderzoek werd echter niet uitgevoerd in de zomermaanden, waardoor toen niet de hoogst mogelijke temperaturen werden gemeten. Dat is de reden dat hiernaar in de lente en zomer van 2023 opnieuw onderzoek is gedaan op diverse locaties in het park.

Daarnaast wil de diergaarde maatregelen nemen om de temperaturen binnen het park te verlagen. In dat kader moest onderzocht worden hoe groot het effect van de omgeving is op de temperatuur binnen het park. Dit laat namelijk zien of het hitte-eilandeffect een rol speelt bij de hoge temperaturen in de diergaarde. Als dit het geval is, dan zou de dierentuin een document willen met visualisaties van verschillende maatregelen op meetlocaties. Deze vragen kwamen uiteindelijk op de volgende hoofdvraag: “Hoe groot is het hitte-eilandeffect in het nieuwe gedeelte van Diergaarde Blijdorp en welke maatregelen kunnen genomen worden om dit effect te verminderen?”

Op welke locaties in het park wordt het hitte-eilandeffect verwacht?

Op de gevoelstemperatuurkaart van de gemeente Rotterdam is af te lezen dat bezoekers hogere temperaturen ervaren op de looproutes in het nieuwe gedeelte van het park. Dit gedeelte van het park bestaat uit veel verharde oppervlaktes met (in vergelijking tot het oude gedeelte) minder groene overdekking.

Op basis van gesprekken met mijn begeleiders en eerder onderzoek door Manon Kraan is bepaald dat een 8-tal locaties de grootste kans hebben op een hitte-eilandeffect (zie figuur 16). Hiervan zijn er 7 geanalyseerd. Deze locaties hebben de grootste verharde oppervlaktes, het minst vegetatie en weinig dekking:

1. Wandelpad parkeerplaats
2. Ingang Oceanium
3. Nieuwe ingang plein
4. Plein Zeearend en IJsbeer
5. Wandelpad Bizon
6. Speeltuin Amazonica ingang
7. Wandelpad Ringstaartmaki en Vicuña
8. Viaduct HSL



Figuur 17 Hitte-eiland locaties (Blijdorp, z.d.)

Welke temperatuurverschillen zijn er tussen de gemeten locaties binnen en buiten Diergaarde Blijdorp?

Maximum

Om te bepalen welke temperatuurverschillen er zijn binnen en buiten Diergaarde Blijdorp zijn 7 sensoren opgehangen in het park die gegevens hebben verzameld over de temperatuur. Op basis van deze metingen kunnen verschillen in de maximum temperatuur worden geconstateerd (zie tabel 20). De sensor bij het Viaduct heeft de laagst maximumtemperaturen gemeten. De meetgegevens geven aan dat de temperatuur 1,5 graden lager was dan de maximum temperatuur gemeten bij Cabauw. Daarentegen ervaarde de sensor bij de Amazonica de hoogste maximum temperatuur met een verschil tot de gegevens van Cabauw van 9,1 graden. De andere locaties ervaarden gemiddeld een verschil tussen de 1 en 2 graden.

Locatie (tabel 20)	Maximum temperatuur	Temperatuurverschil Rotterdam	Temperatuurverschil Cabauw
<i>Parkeerplaats</i>	33,1	1	1,2
<i>Ingang</i>	33,2	1,1	1,3
<i>Zeearend</i>	33,2	1,1	1,3
<i>Bizons</i>	35,1	3	3,2
<i>Amazonica</i>	41,2	9,1	9,3
<i>Vicuña</i>	33,6	1,5	1,7
<i>Viaduct HSL</i>	30,4	-1,7	-1,5

Minimum

De gemeten minimum temperaturen in Diergaarde Blijdorp zijn hoger dan de temperaturen gemeten in Rotterdam en Cabauw (zie tabel 21). De laagste temperatuur is gemeten door de Amazonica sensor. Dit is dezelfde locatie als de hoogste maximum temperatuur. De hoogste minimum temperatuur is gemeten door de sensor dicht bij het Vicuña-verblijf. De meetlocatie bij het HSL Viaduct had de laagste maximum temperatuur gemeten. Daarentegen heeft deze locatie de een na hoogste minimum temperatuur gemeten in het park.

Locatie (tabel 21)	Minimum temperatuur	Temperatuurverschil Rotterdam	Temperatuurverschil Cabauw
<i>Parkeerplaats</i>	8,6	1,7	1,5
<i>Ingang</i>	8,6	1,7	1,5
<i>Zeearend</i>	8,6	1,7	1,5
<i>Bizons</i>	8,6	1,7	1,5
<i>Amazonica</i>	8,4	1,5	1,3
<i>Vicuña</i>	9,9	3	2,8
<i>Viaduct HSL</i>	9,2	2,3	2,1

Welke maatregelen kunnen genomen worden om de temperatuur te verlagen?

Het onderzoek naar mogelijke oplossingen voor het verlagen van de temperatuur op de meetlocaties heeft geleid tot de volgende opties:

- Aanleggen van vegetatie.
- Creëren van oppervlaktewater.
- Wandelroutes overdekken.
- Materialen vervangen voor hogere albedo varianten.
- Uitstoot van door mens gemaakte warmtebronnen limiteren.

Het effect van deze maatregelen is sterk afhankelijk van de variant, de toepassing en de omgeving. De meest grondig onderzochte oplossing is het aanleggen van vegetatie. Op basis van de gekozen soort kan het zorgen voor transpiratie, lagere hiteretentie door de oppervlaktes van de plant en het creëren van schaduwen. Door oppervlaktewateren te creëren, zal de temperatuur lager blijven. Het vocht zal wel zorgen voor een hogere gevoelstemperatuur. Wandelpaden overdekken zorgt voor schaduw op locaties die mensen vaak gebruiken. Hier zijn geen doeken voor nodig, want bomen kunnen dezelfde functie hebben. Een hogere albedo leidt tot meer weerkaatsing van zonnestrallen en minder energieretentie.

Hoe groot is het hitte-eilandeffect in het nieuwe gedeelte van Diergaarde Blijdorp en welke maatregelen kunnen genomen worden om dit effect te verminderen?

Zoals verwacht ervaart Diergaarde Blijdorp op meerdere locaties in het park een hitte-eilandeffect. Het grootste deel van de locaties ervaart een stijging in temperatuur in vergelijking tot Cabauw tussen de 1 en 2 graden. Met een uitwijking van deze generalisatie van 3, 9 en -1,5 graden op de maximum gemeten temperatuur. Om de temperatuurstijging van het hitte-eilandeffect te verminderen wordt geadviseerd om vegetatie aan te leggen, oppervlaktewater te creëren en slimmere (Bijv. Groene gevels of grasbetontegels) materialen te gebruiken voor het verharde oppervlak.

Kortom, het onderzoek heeft geconcludeerd dat Diergaarde Blijdorp een hitte-eilandeffect heeft op meerdere locaties in het nieuwe gedeelte en dat gerichte aanpassingen aan de inrichting van deze locaties het effect kunnen verminderen.

Discussie

Parameters

Tijdens het onderzoek werd prioriteit gegeven aan het meten van hoge temperaturen om het hitte-eilandeffect te bepalen. Daarom werd gekozen voor locaties met veel verharding, vegetatie en direct zonlicht. Diverse warme dagen werden meegenomen in de onderzoeksperiode. Dit zorgde ervoor dat de gewenste informatie verzameld kon worden.

Verder waren er optimale omstandigheden bekend voor het gebruik van de sensoren. Deze konden niet altijd gerealiseerd worden. Dit kan ertoe hebben geleid dat de sensoren ongewild iets boven of onder de optimale hoogte hingen en/of (te) dicht in de buurt van obstakels. Ook was het van belang dat de sensoren niet afwisselend in het zonlicht en de schaduw hingen. Daarom is zoveel als mogelijk gekozen voor locaties waar het zonlicht geen contact kon maken met de meetapparatuur. Direct zonlicht kon echter niet altijd worden voorkomen.

Om zoveel mogelijk relevante informatie te verzamelen werden de sensoren geplaatst langs looproutes of verblijfplaatsen van bezoekers. Om te voorkomen dat bezoekers aan de sensoren zouden komen, was het zicht tot de sensoren beperkt vanaf de looproutes. Dit heeft niet voorkomen dat er een sensor is gestolen. Aangezien facilitaire dienst, bewaking en medewerkers Groenonderhoud niet in aanraking zijn geweest met de sensoren, is de kans groot dat een bezoeker deze heeft meegenomen.

Fouten

Tijdens het plannen van de sensor locaties was de aannahme gedaan dat 8 sensoren beschikbaar zouden zijn. Tijdens het plaatsen ging het bluetooth-contact met een van de meetpunten verloren. Dit contact kon niet hersteld worden en hierdoor is er een meetlocatie geschrapt. De locatie in kwestie was de ingang tot het Oceanium. Hier zijn geen meetgegevens verzameld tijdens het onderzoek en de sensor is niet meegenomen in de analyse.

Om te zorgen voor zo' min mogelijke downtijd, moesten de batterijen tijdig vervangen worden. Hiervoor was het belangrijk om steeds de beschikbare energie af te lezen tijdens het ophalen van de meetgegevens. Tijdens het aflezen, werd al snel vreemd gedrag gedetecteerd: de batterijduur ging van halfvol naar vol in zeven dagen. Na verder onderzoek moest worden geconstateerd dat niet altijd het juiste beschikbare energiepercentage werd weergegeven. Dit heeft tijdens de eerste weken van de metingen mogelijk gezorgd voor onnodig gebruik van nieuwe batterijen. Om dit te voorkomen was het belangrijk om een aantal keer opnieuw contact te leggen met de sensor om het juiste beeld te krijgen van de energierestanten in de apparatuur.

Tijdens het ontwikkelen van het beroepsproduct heb ik gezocht naar een visualisatieprogramma. Hiervoor heb ik gekeken naar Photoshop, GIMP, Pixlr en SketchUp. Na deze programma's te hebben uitgeprobeerd, bleek SketchUp het effectiefst voor mijn doel om buitenruimtes te ontwerpen. Ik had alleen geen ervaring met het programma en heb daarom een week langer gewerkt aan de visualisaties

dan gepland. Omdat ik niet bekend was met de problemen die konden ontstaan, had ik te grote bestanden gecreëerd die crashten als nieuwe modellen werden toegevoegd of als de camera bewoog. Daarom hebben niet alle visualisaties menselijke modellen. Verder voldoet het beroepsproduct aan de opgestelde eisen. De visualisaties bespreken de gevonden informatie en analyseren deze. Daarnaast laten de visualisaties de mogelijke oplossingsrichtingen zien en de toegepaste maatregelen.

Interpretatie

Voordat het onderzoek begon, werd al aangenomen dat er in het nieuwe gedeelte van het park locaties zijn met een hitte-eilandeffect. De resultaten van het onderzoek wijzen erop dat dit inderdaad het geval is. Hoogstwaarschijnlijk komt dit door de grote hoeveelheid verhard oppervlak en een gebrek aan grote dekkende vegetatie. De warmst gemeten opstellingen waren daarnaast het verst verwijderd van vegetatie. Dit heeft er mogelijk voor gezorgd dat de gemeten temperatuur op deze locaties hoger is. Omdat Diergaarde Blijdorp in relatie tot een gemiddelde Rotterdamse straat minder bebouwing heeft en meer groen oppervlak kan worden aangenomen, dat een groot aantal locaties in Rotterdam hogere temperaturen kunnen bereiken dan de diergaarde.

Voorafgaand aan het onderzoek was aangenomen, dat de locaties Amazonica, Bizon en het meetpunt Parkeerplaats de hoogste temperaturen zouden ervaren. Dit was gebaseerd op gesprekken met mijn begeleiders, de hoeveelheid verharding en het gebrek aan vegetatie. Zoals verwacht waren de locaties Amazonica en Bizon warmer dan de andere meetpunten. In tegenstelling tot de verwachting viel het meetpunt Parkeerplaats in lijn met de meetpunten Zeearend en Ingang. Dit verschil zou kunnen liggen in het beter mixen van de verticale en horizontale temperaturen door een hogere sky-viewfactor. Ook de meetgegevens van het HSL Viaduct waren onverwacht. De temperatuur was hier lager dan het gekozen landelijke gebied Cabauw.

De maatregel met de meeste potentie voor het verlagen van de temperatuur in het park is het aanleggen van vegetatie. Deze maatregel is makkelijk toe te passen en heeft naast het verlagen van de temperatuur nog andere voordelen. Daarnaast kan het creëren van oppervlaktewater ook een (deel van de) oplossing zijn voor het verlagen van de temperatuur in de diergaarde. Het probleem is dat een hoger vochtgehalte in de omgeving zorgt voor een hogere gevoelstemperatuur. Het toepassen van deze maatregel zou dus goed moeten worden overwogen op basis van deze voor- en nadelen.

Implicaties

De warmste meetlocatie van het onderzoek was een speeltuin die gebruikt wordt door kleine kinderen. Jonge kinderen hebben een hoger risico om problemen te ervaren omdat zij minder goed hun warmte kwijt kunnen en hun eigen limiet niet kennen.

Deze gevaarlijke temperaturen zullen in de komende jaren verder stijgen door klimaatverandering. Als het probleem niet wordt aangepakt met maatregelen, dan bestaat het risico dat het park onveilig wordt voor bezoek door kwetsbare groepen

als kinderen, bejaarden en mensen met een zwakke gezondheid op warmere dagen. De mondiale temperatuurstijging zal ervoor zorgen dat het aantal dagen boven de 24 °C zal toenemen. Meer warme dagen betekent, dat minder mensen het park zullen bezoeken met als gevolg dat de potentiële inkomsten verder zullen dalen.

Aanbeveling

Opzichzelfstaand lost het onderzoeksrapport en het beroepsproduct niet het hitte-eilandprobleem op. Daarentegen vormt het een basis voor vervolgonderzoeken. Op basis van de resultaten van dit onderzoek en de opgedane ervaring wordt het volgende onderdeel besteed aan het leveren van een aanbeveling voor mogelijke maatregelen en vervolgonderzoeken.

Hoewel de momenteel beschikbare informatie over de temperatuur en het hitte-eilandeffect van belang is voor Diergaarde Blijdorp, wordt aangeraden om het onderzoek naar de temperatuur in het park en de beleving daarvan voort te zetten.

Er kan gekeken worden naar de effecten die warmte heeft op de bezoekers. Door bezoekers rond te laten lopen met gps om routes te koppelen aan de temperatuur. Hierbij kan worden gevarieerd in bezoekers op leeftijd, bouw en groepssamenstelling. Daarnaast kunnen groepen bevestigd en geïnformeerd worden over de beleving van temperatuur met bijvoorbeeld interactieve informatiepanelen en vraagknoppen (bijvoorbeeld met blije of sippe gezichtjes) in het park. Op basis hiervan kan onderzocht worden of kennis over temperatuur een effect heeft op looproutes. Dit onderzoek kan verder uitgebreid worden door maatregelen te nemen op de looproutes en variaties in bewegingspatronen voor en na het plaatsen van de maatregelen. Deze informatie kan vervolgens gebruikt worden om te bepalen of maatregelen invloed hebben op de looproutes van bezoekers. Ook kan voor het meten van temperaturen in vervolgonderzoeken technisch betere opstellingen gecreëerd worden om te voorkomen dat hoogte, dekking, zonlicht, materiaal, obstakels of bezoekers invloed uitoefenen op de resultaten van het onderzoek. Dit kan gepaard gaan met het opzetten van een weerstation met dezelfde omstandigheden om te zorgen voor extra validatie.

Om het probleem van hitte aan te pakken moet gefocust worden op het creëren van schaduw. Langs de looproutes en in de speeltuin zal vegetatie aangelegd moeten worden. Volgroeide bomen zijn zeer kostbaar. Daarom is het waarschijnlijk niet haalbaar om (alleen) hoge bomen aan te planten. Daarom is het belangrijk om, terwijl jongere aanplant groeit, schaduwdoeken of -netten te spannen die tijdelijk de rol van volgroeide bomen overnemen. Dit kan gepaard gaan met vormen van oppervlaktewater zoals fonteinen of vijvers die zorgen voor extra verkoeling en waterberging en hergebruik. De hoge temperaturen in de speeltuin moeten aangepakt worden met een nieuwe inrichting met oppervlaktes die minder energie vasthouden en schaduwen waar bezoekers kunnen uitrusten, bijvoorbeeld onder begroeide pergola's. Op de parkeerplaats zouden auto's moeten kunnen parkeren in de schaduw. Een oplossing kan gecombineerd worden met overdekking met zonnepanelen die helpen bij de opwekking van energie voor elektrische auto's, scooters en fietsen.

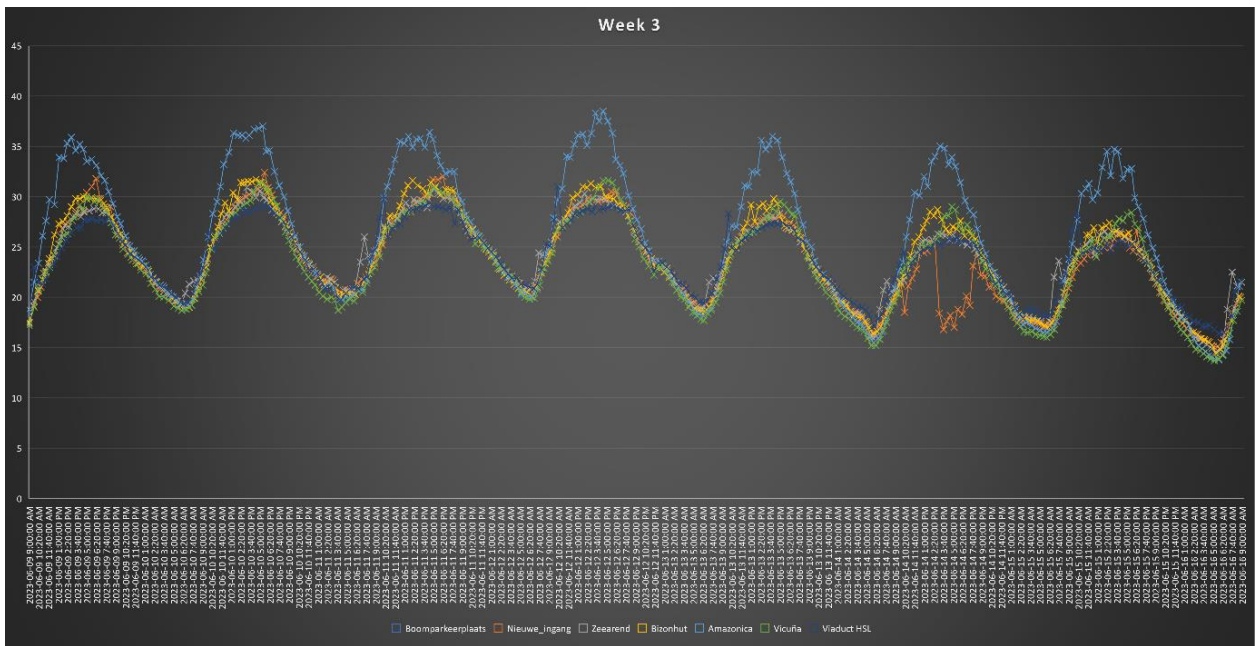
Bibliografie

- Amsterdam, H. v. (2019, april z.d.). *Mindmap hitte in de stad*. Opgehaald van Hogeschool van Amsterdam: <https://www.hittebestendigestad.nl/mindmap/>
- Blijdorp, D. (z.d., z.d. z.d.). *PLATTEGROND*. Opgeroepen op 9 19, 2023, van Diergaarde Blijdorp: <https://www.diergaardeblijdorp.nl/plattegrond/>
- Bornstein, R. D. (1968, augustus 1). *Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City*. Opgeroepen op mei 22, 2023, van AMS Publications: https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/7/4/1520-0450_1968_007_0575_ootuhi_2_0_co_2.xml?tab_body=abstract-display
- Diergaarde, S. K. (2018, augustus 9). *Organigram Diergaarde Blijdorp (per 9 augustus 2018)*. Opgeroepen op mei 12, 2023, van Diergaarde Blijdorp: <https://www.diergaardeblijdorp.nl/wp-content/uploads/2018/10/Organigram-Diergaarde-Blijdorp-per-9-augustus-2018.pdf>
- Diergaarde, S. K. (z.d., z.d. z.d.). *ORGANISATIE*. Opgeroepen op mei 5 12, 2023, van Diergaarde Blijdorp: <https://www.diergaardeblijdorp.nl/organisatie/>
- Instituut, K. N. (2010, november z.d.). *Warmte-eilandeffect van de stad Utrecht*. Opgeroepen op mei 16, 2023, van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/warmte-eilandeffect-van-de-stad-utrecht>
- Instituut, K. N. (2023, 9 17). *Uurgegevens van het weer in Nederland*. Opgeroepen op 9 19, 2023, van KNMI: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>
- Kestrel. (z.d., z.d. z.d.). *Kestrel DROP D2HS Heat Stress Monitor*. Opgeroepen op september 7, 2023, van Kestrel Instruments: <https://kestrelinstruments.com/kestrel-drop-d2-heat-stress-monitor>
- Klimaatadaptatie, K. (z.d., z.d. z.d.). *Hitte*. Opgeroepen op september 7, 2023, van ennisportaal Klimaatadaptatie: <https://klimaatadaptatienederland.nl/stresstest/bijsluiter/hitte/>
- Cluck, d. i. (2020, mei z.d.). *De hittebestendige stad*. Opgeroepen op september 7, 2023, van Hogeschool van Amsterdam: https://www.hva.nl/binaries/content/assets/subsites/kc-techniek/publicaties-klimaatbestendige-stad/hva_2020_hittebestendige_stad_online.pdf
- KNMI. (2010, december z.d.). *Hoe warmen broeikasgassen de aarde op?* Opgeroepen op september 7, 2023, van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/hoe-warmen-broeikasgassen-de-aarde-op>
- KNMI. (z.d., z.d. z.d.). *Klimaatverandering*. Opgeroepen op september 7, 2023, van KNMI: <https://www.knmi.nl/producten-en-diensten/klimaatverandering>
- KNMI. (z.d., z.d. z.d.). *Kou*. Opgeroepen op september 7, 2023, van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/waarschuwingen/kou#:~:text=De%20gevoelstemperatuur%20wordt%20berekend%20uit,de%20berekende%20gevoelstemperatuur%20doet%20vermoeden>
- KNMI, K. N. (2014, mei z.d.). *KNMI'14 Klimaatscenario's - Kerncijfers*. Opgeroepen op mei 15, 2023, van knmi: https://www.knmi.nl/nederland-nu/KNMI14_klimaatscenarios/kerncijfers

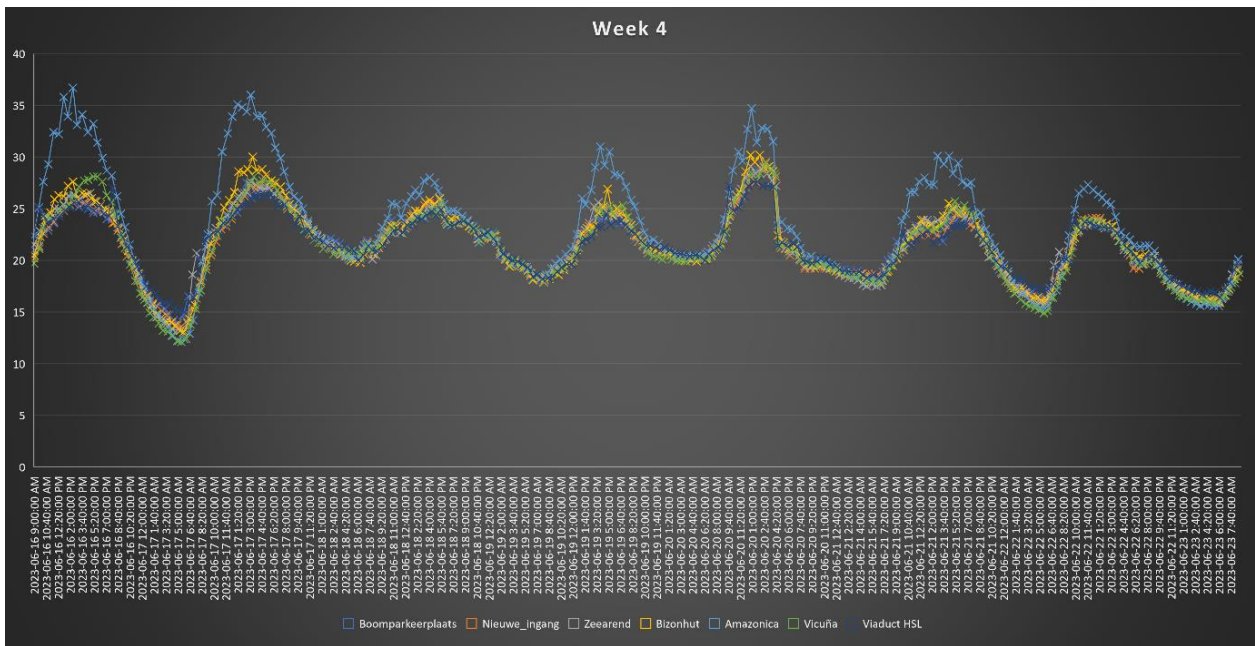
- Kraan, M. (2022, z.d. z.d.). Heat stress in Diergaarde Blijdorp. Rotterdam, Zuid-Holland, Nederland. Opgeroepen op mei 9, 2023
- Kroonen, R. (2023). Hitte camera. *Diergaarde Blijdorp*. VPdelta+, Delft. Opgeroepen op september 18, 2023
- N.E. Theeuwes, G. S. (2012). *Mitigation of the urban heat island effect using vegetation*. Wageningen: Wageningen University. Opgeroepen op september 7, 2023, van <https://edepot.wur.nl/218899>
- Natalie E. Theeuwes, *. G.-J. (2016). *A diagnostic equation for the daily maximum urban heat*. Wageningen: International Journal of Climatology. Opgeroepen op mei 22, 2023
- Naughton, M. (2020, Juli 3). *Certificate of Conformity*. Opgeroepen op september 7, 2023, van Kestrel Instruments: <https://kestrelinstruments.com/mwdownloads/download/link/id/39>
- Nuruzzaman, M. (2015, maart 10). *Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures -A Review*. Opgeroepen op 9 5, 2023, van ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/283507719_Urban_Heat_Island_Causes_Effects_and_Mitigation_Measures_-_A_Review
- Ritter, M. E. (z.d., z.d. z.d.). *5.2: Controls over Air Temperature*. Opgeroepen op september 7, 2023, van LibreTexts Geosciences: [https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Geography_\(Physical\)/The_Physical_Environment_\(Ritter\)/05%3A_Air_Temperature/5.02%3A_Controls_over_Air_Temperature#:~:text=The%20air%20temperature%20at%20any,of%20air%20called%20air%20masses.](https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Geography_(Physical)/The_Physical_Environment_(Ritter)/05%3A_Air_Temperature/5.02%3A_Controls_over_Air_Temperature#:~:text=The%20air%20temperature%20at%20any,of%20air%20called%20air%20masses.)
- Rotterdam, G. (z.d., z.d. z.d.). *PET kaart Hittestress Rotterdam*. Opgeroepen op september 7, 2023, van Rotterdam: <https://rotterdam.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=ac7323a8afc34b7d89c9917cb8552021>
- Service, N. W. (z.d, z.d. z.d.). *Heat Index Chart*. Opgeroepen op september 5, 2023, van Weather: <https://www.weather.gov/ffc/hichart>
- Stowa. (z.d., z.d. z.d.). *Verdamping*. Opgeroepen op september 7, 2023, van Stowa: <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/verdamping>
- T. de Nijs. (2020). *Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid, Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid. Opgeroepen op september 5, 2023, van <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2019-0008.pdf>
- Teri Knight, S. P. (2021, september 2). *How effective is 'greening' of urban areas in reducing human exposure to ground-level ozone concentrations, UV exposure and the 'urban heat island effect'? An updated systematic review*. Opgeroepen op september 8, 2023, van Environmental Evidence: <https://environmentalevidencejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13750-021-00226-y>
- wael, F. V. (2023, augustus 23). Hitte-eilandeffect. (R. Groeneweg, Interviewer) Rotterdam, Zuid-Holland, Nederland. Opgeroepen op september 7, 2023

Zevenbergen, E. (2022, december 1). *Jaarverslag 2021*. Opgeroepen op mei 12, 2023, van Diergaarde Blijdorp: <https://www.diergaardeblijdorp.nl/wp-content/uploads/2023/03/Jaarverslag-2021.pdf>

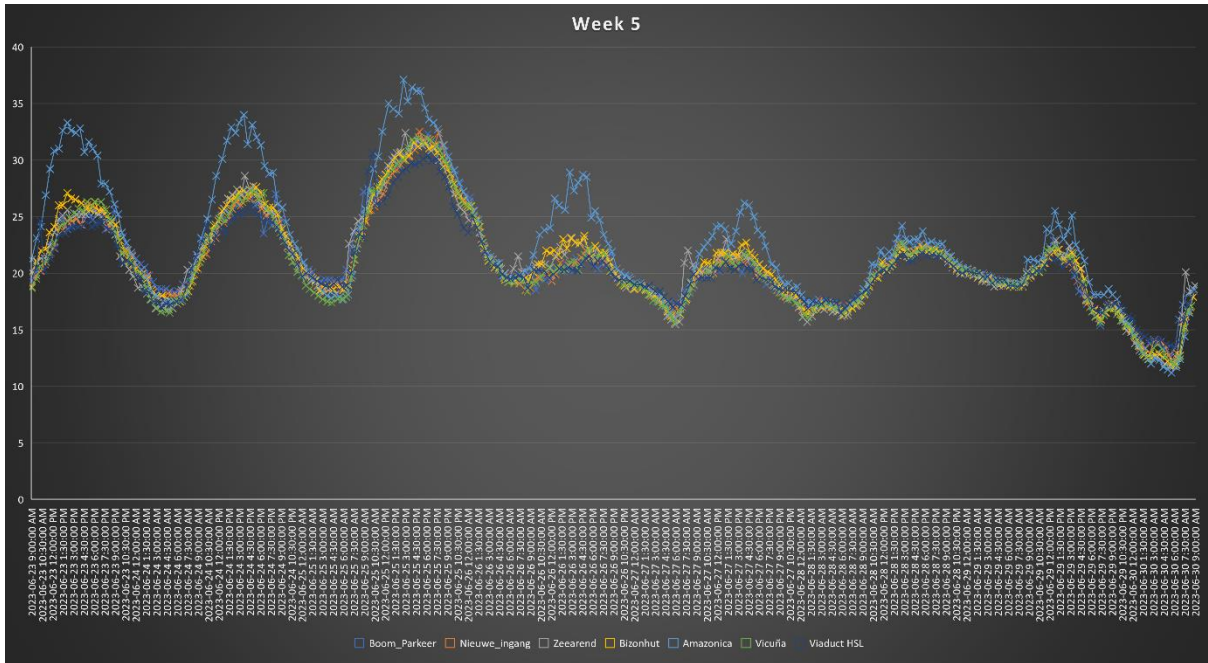
Bijlage



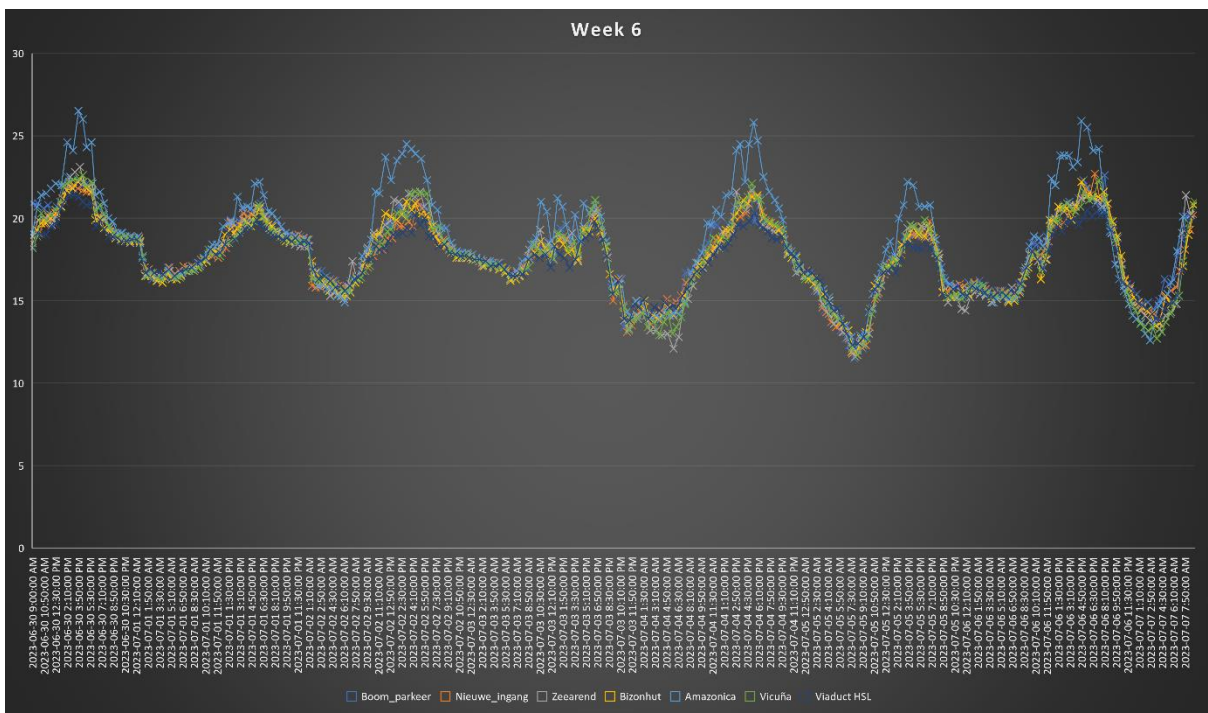
Bijlage 1 Week 3



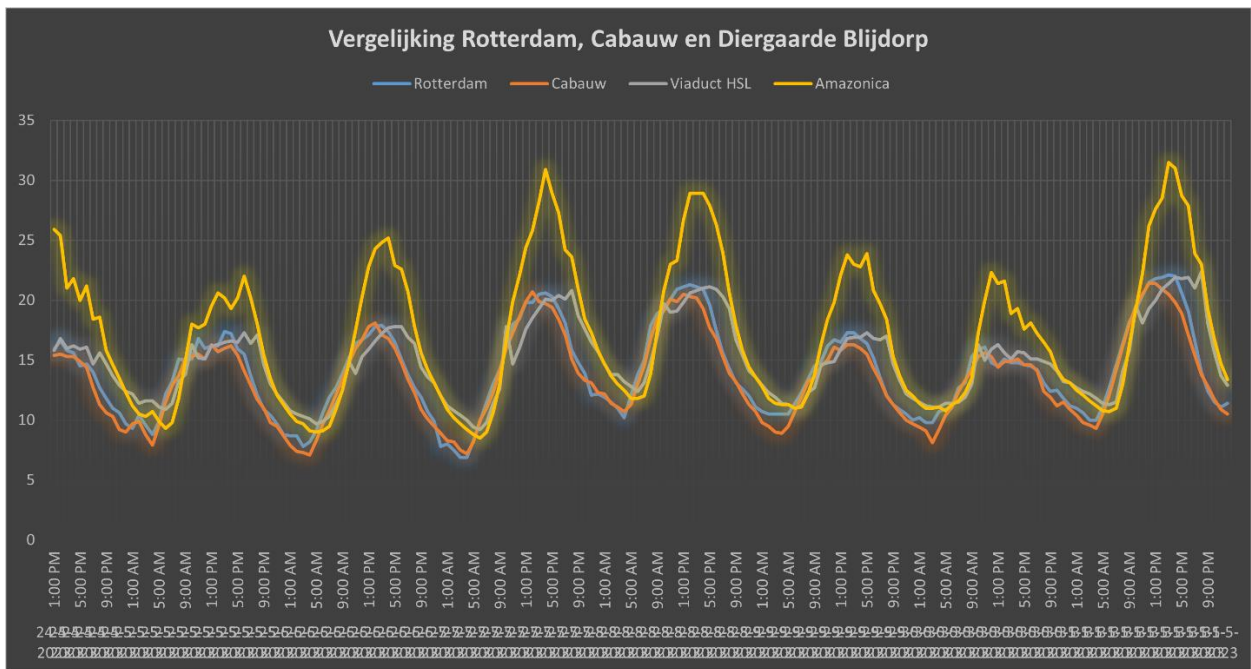
Bijlage 2 Week 4



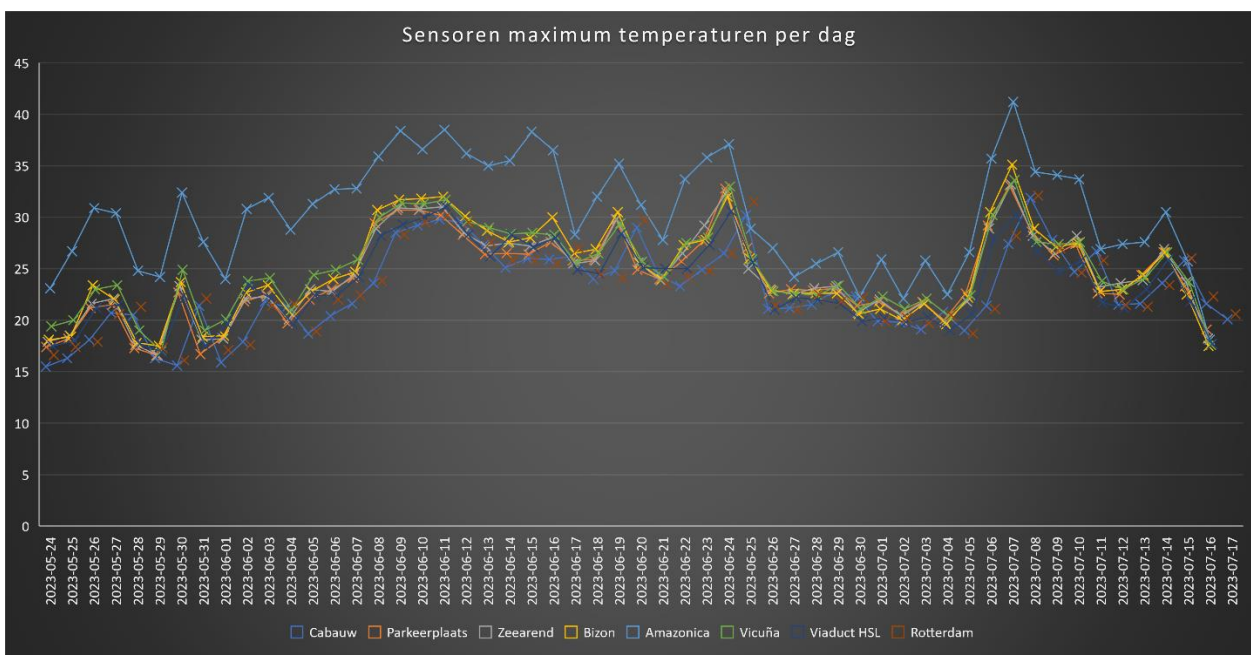
Bijlage 3 Week 5



Bijlage 4 Week 6



Bijlage 5 Vergelijking R, C en D (Instituut, Uurgegevens van het weer in Nederland, 2023)



Bijlage 6 Maximum temperatuur per dag (Instituut, Uurgegevens van het weer in Nederland, 2023)

Foto's



Bijlage 7 Sensor Viaduct HSL (Kroonen, 2023)



Bijlage 8 Overdekking Viaduct HSL (Kroonen, 2023)



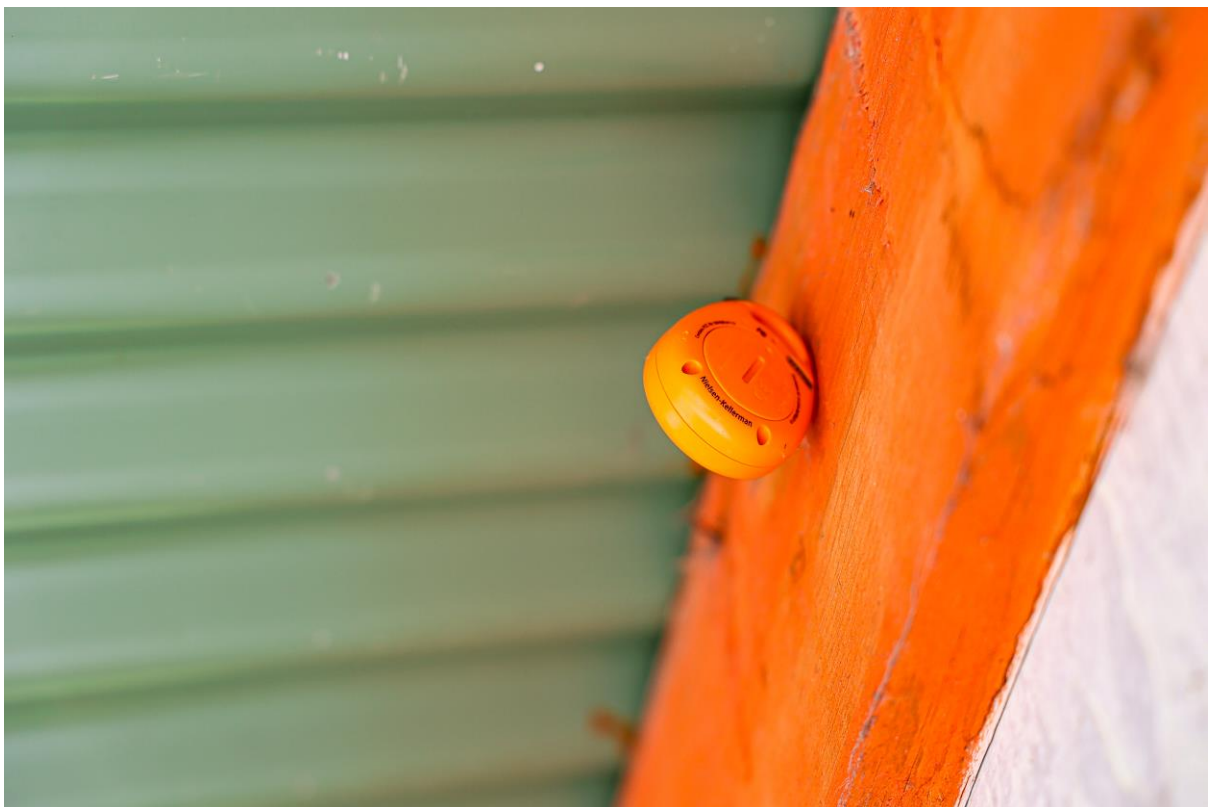
Bijlage 9 Viaduct HSL Temperatuurverschil (Kroonen, 2023)



Bijlage 10 Vicuña wandelpad (Kroonen, 2023)



Bijlage 11 Amazonica speelplaats (Kroonen, 2023)



Bijlage 12 Sensor Amazonica (Kroonen, 2023)



Bijlage 13 Hitte-camera Amazonica (Kroonen, 2023)



Bijlage 14 Temperatuurverschil Bizonhut (Kroonen, 2023)



Bijlage 15 Pad naar Zearend (Kroonen, 2023)



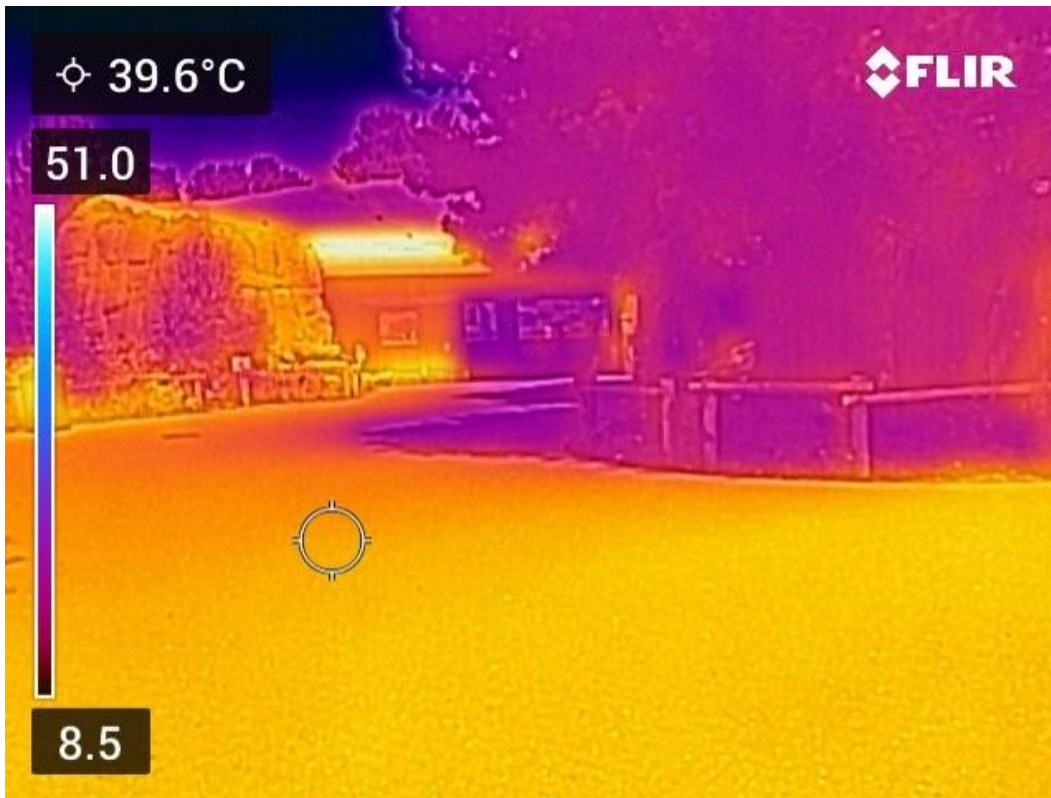
Bijlage 16 Nieuwe ingang Sensor (Kroonen, 2023)



Bijlage 17 Oceanium hitte-camera (Kroonen, 2023)



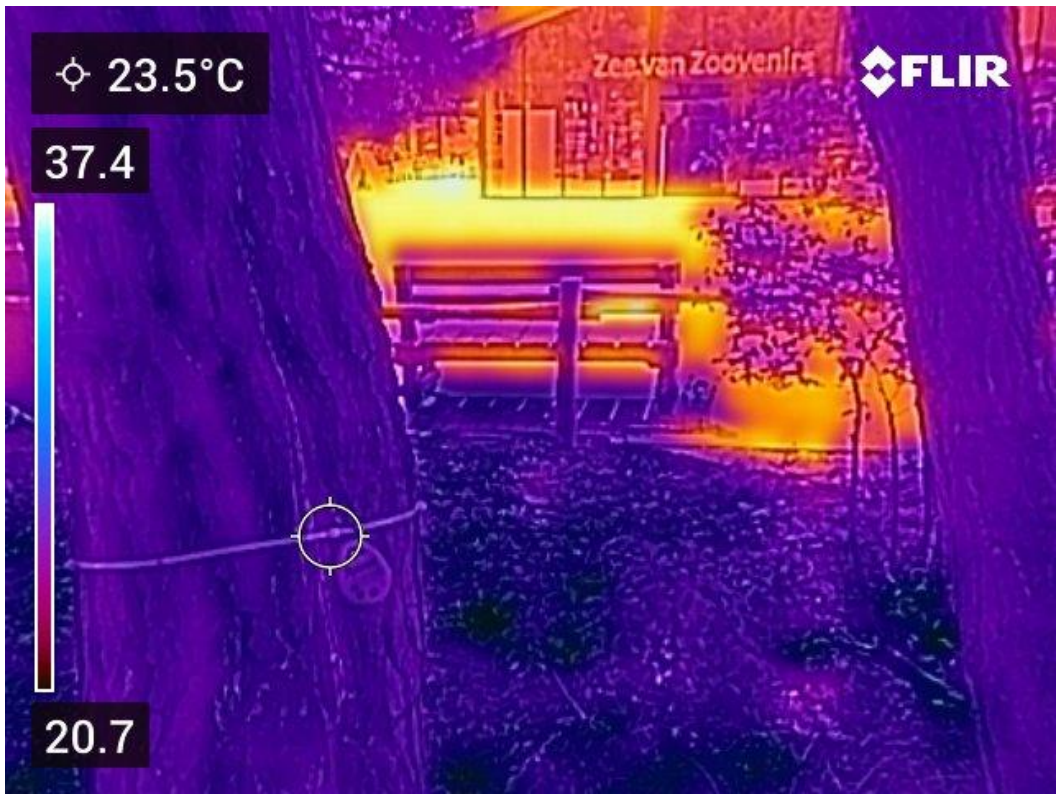
Bijlage 18 Speeltuon hitte-camera



Bijlage 19 Nieuwe ingang hitte-camera



Bijlage 20 Viaduct HSL hitte-camera



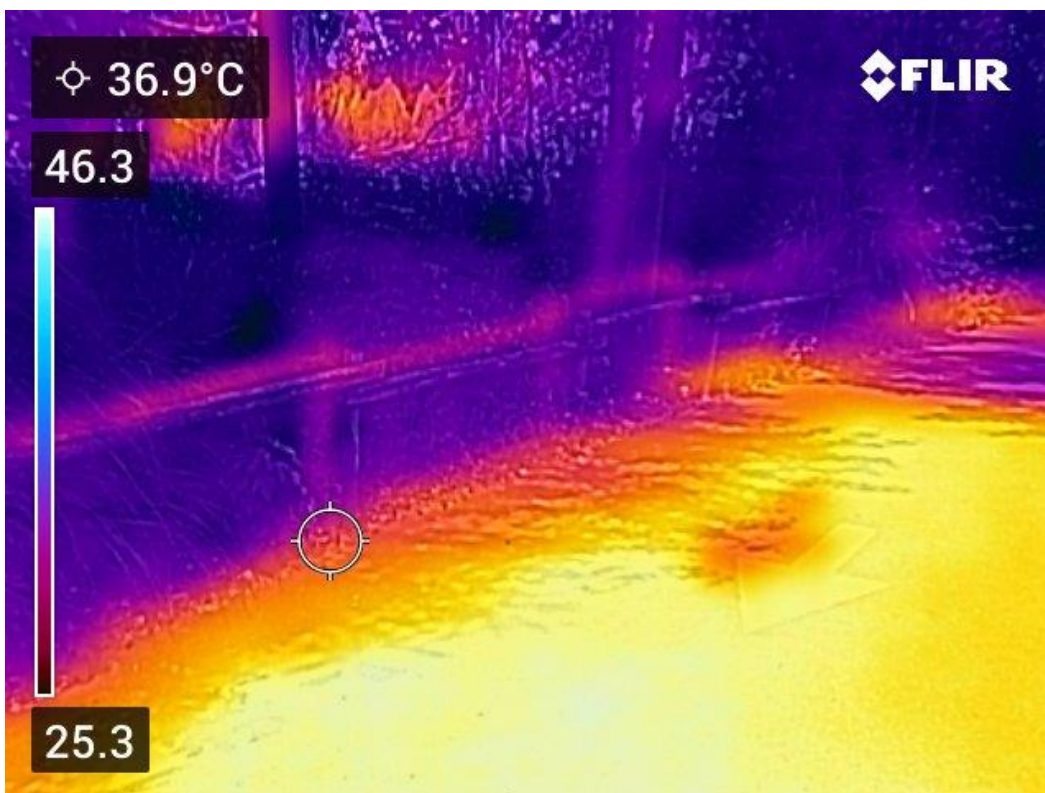
Bijlage 21 Nieuwe ingang sensor



Bijlage 22 Amazonica sensor



Bijlage 23 Vicuña sensor



Bijlage 24 Vicuña hitte-camera