

UNIVERSITY OF TWENTE.



# Het mitigeren van stedelijke hittestress door middel van groene infrastructuur: naar een ontwerpstrategie voor de gemeente Arnhem

Bachelor Thesis Civiele Techniek

Kevin Vermeulen

25-01-2021

## **Bachelor Thesis Civiele Techniek**

Datum: 25-01-2021  
Versie: Definitieve versie

### **Student:**

Naam: Kevin Vermeulen  
Opleiding: Bachelor Civiel Techniek  
Studentnummer: s2008254  
Email: k.r.vermeulen@student.utwente.nl  
Telefoonnummer: +31 6 83354262

### **Externe Begeleiders**

Naam: Alexander Veenstra  
Email: alexander.veenstra@sweco.nl  
Telefoonnummer: +31 88 811 61 86

Naam: ir. Tim Reuvekamp  
Email: tim.reuvekamp@sweco.nl  
Telefoonnummer: +31 6 55 79 52 85

### **Interne Begeleider**

Naam: dr. ir. Joanne Vinke – De Kruijf  
Email: joanne.vinke@utwente.nl  
Telefoonnummer: +31 53 489 14 25

### **Tweede Beoordelaar**

Naam: dr. ir. Bas Borsje  
Email: b.w.borsje@utwente.nl  
Telefoonnummer: +31 53 489 10 94

### **Extern Bedrijf**

Naam: Sweco Nederland  
Afdeling: Civiele Techniek Arnhem  
Adres: Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem  
Telefoonnummer: +31 6 88 811 66 00

### **Universiteit**

Naam: University of Twente  
Adres: Drienerlolaan 5, 7500 AE Enschede  
Faculteit: Engineering Technology  
Studie: Civil Engineering  
Afdeling: Construction Management & Engineering (CME)

## Voorwoord

In dit verslag presenteer ik de resultaten van mijn bachelor thesis als afronding van mijn bachelor Civil Engineering aan de University of Twente. Ik heb voor mijn bachelor thesis stage gelopen bij Sweco. Dit heb ik gedaan voor een periode van 11 werkweken in de periode van 26 Oktober 2020 tot 22 Januari 2021. Vanwege de corona situatie gedurende deze periode heb ik voor het grootste gedeelte vanuit huis gewerkt aan de thesis.

De opdracht is tot stand gekomen vanuit de klimaatadaptatie ontwerpstrategie van de gemeente Arnhem, de eerste uitgebreide klimaatadaptatie ontwerpstrategie van een Nederlandse stad. Naar aanleiding van deze ontwerpstrategie is contact gezocht met de gemeente Arnhem. Uiteindelijk is deze opdracht er uit gekomen: Het mitigeren van stedelijke hittestress door middel van groene infrastructuur: naar een ontwerpstrategie voor de gemeente Arnhem.

Sweco is een ingenieursadviesbureau dat internationaal actief is in 70 landen. Sweco is gevestigd in 13 landen en heeft wereldwijd 17.500 werknemers. Sweco Nederland houdt zich bezig met ingenieursadvies op het gebied van mobiliteit en infrastructuur, bouw en vastgoed, gebiedsontwikkeling, energie, water en industrie. Zelf heb ik stage gelopen bij de afdeling Civiele Techniek in Arnhem. Ik ben zelf met deze scriptie bezig geweest op het gebied van klimaatadaptatie en gebiedsontwikkeling.

Ik wil graag Sweco bedanken die mij de kans gegeven hebben om bij hen mijn bachelor thesis te schrijven. In het bijzonder wil ik mijn begeleiders Alexander Veenstra en Tim Reuvekamp bedanken voor de hulp bij het schrijven van mijn thesis. Ondanks dat ik vanwege de corona situatie grotendeels thuis moest werken waren ze altijd bereid om me te helpen en te begeleiden waarvan ik veel geleerd heb.

Ook wil ik in het bijzonder Joanne Vinke – de Kruijf bedanken die mij vanuit de Universiteit Twente begeleid en geholpen heeft bij het schrijven van mijn bachelor thesis. Ik heb veel feedback gekregen wat mij ontzettend geholpen heeft tijdens het onderzoek. Ik heb zo veel geleerd van deze bachelor thesis.

## Samenvatting

De gemeente Arnhem heeft een klimaatadaptatie ontwerpstrategie opgesteld voor de periode 2020 – 2030 om de stad Arnhem veerkrachtig en bestendig te maken voor extreem weer. Een aspect hiervan is het mitigeren van stedelijke hittestress wat een groter probleem zal worden bij meer of extremere hittegolven. Een voorgestelde maatregel is het plaatsen van meer stedelijke groene infrastructuur. Stedelijke groene infrastructuur verwijst in dit onderzoek naar gras, heggen & struiken, bomen, groene daken en groene gevels. Wetenschappelijke studies bevestigen het vermogen van stedelijke groene infrastructuur om stadswarmte te verminderen en het thermisch comfort te verbeteren. Bij het plaatsen van meer stedelijk groen is vaak niet volledig bekend hoe door plaatsing van stedelijk groene infrastructuur zoveel mogelijk hittestress beperkt kan worden en wat het gekwantificeerde effect hiervan is.

Dit onderzoek wil daarom namens de gemeente Arnhem in opdracht en onder begeleiding van Sweco een ontwerpstrategie voor stedelijk groene infrastructuur ontwerpen volledig gericht op het mitigeren van hittestress. Elke stap in de ontwerpstrategie is dus gericht op de meest optimale hittestress mitigatie. De ontwerpstrategie is hierbij toegepast op de hittestress gevoelige wijk Kronenburg in Arnhem en het resulterende ontwerp is getoetst op het gekwantificeerde effect op hittestress.

De ontwerpstrategie is ontworpen met een iteratieve ontwerp onderzoek methode met enkel een onderzoeksdoel: Het ontwerpen van een stedelijk groene infrastructuur ontwerpstrategie gericht op het zo effectief mogelijk mitigeren van stedelijke hittestress. De ontwerp onderzoek methode bestaat uit drie iteratieve onderdelen: probleemverkenning, ontwerp en validatie. Bij de probleemverkenning is onderzocht voor wie, waarom en hoe een ontwerpstrategie voor stedelijk groene infrastructuur van toegevoegde waarde kan zijn. Vervolgens zijn in het hoofdstuk ontwerp ontwerpvoorwaarden opgesteld op basis van de resultaten van de probleemverkenning en hiermee is de ontwerpstrategie ontworpen. Voor de validatie zijn de opgestelde ontwerpvoorwaarden gevalideerd en is de bruikbaarheid van de ontwerpstrategie voor de doelgroep onderzocht door middel van een interview.

Geconcludeerd kan worden dat een ontwerpstrategie specifiek gericht op het effectief mitigeren van stedelijke hittestress ontbreekt bij de doelgroep gemeenten, de gemeente Arnhem als primaire doelgroep in dit onderzoek, consultancies en architectenbureaus. Er is gebleken dat er recent veel meer kennis is te vinden in wetenschappelijke literatuur over effectiviteit van verschillende groenmaatregelen, echter wordt deze maar beperkt vertaald naar bruikbare kennis in stedelijk ontwerp. De gevonden kennis over effectiviteit en de invloed van vormcomplexiteit, fragmentatie en ventilatie op hittestress mitigatie door stedelijk groene infrastructuur is samen met een prioriteerkader en ontwerprichtlijnen geïntegreerd in de ontwerpstrategie. Het toepassen van de ontwerpstrategie deed gemiddelde hittestress binnen het ontwerpgebied dalen. Met name bomen met grote boomkruinen verlagen de hittestress significant door het creëren van schaduw. Wel blijkt dat de ontwerpstrategie vooral geschikt als een set richtlijnen / checklist voor het effectief mitigeren van hittestress met stedelijk groene infrastructuur. De ontwerpstrategie zal als checklist of set richtlijnen niet stap voor stap gevolgd worden omdat bij ontwerpen in de openbare ruimte er andere doelen en belangen zijn dan alleen hittestress mitigatie. Het analyseren van hittestress in het ontwerpgebied als onderdeel van de ontwerpstrategie tijdens het ontwerpproces bijdragen aan het maken van betere afwegingen tijdens het ontwerp en effectieve hittestress mitigatie. Verder kan de ontwerpstrategie bijdragen aan de communicatie bij het verkopen van een ontwerp voor vergroening omdat het effect op hittestress beter gecommuniceerd of aangetoond kan worden.

## Summary

The Municipality of Arnhem has prepared a climate adaptation design strategy for the period 2020 - 2030 to make the city of Arnhem resilient and resistant to extreme weather. One aspect of this is to mitigate urban heat stress which will become a greater problem with more frequent or extreme heat waves. One proposed measure is the placement of more urban green infrastructure. Urban green infrastructure in this study refers to grass, hedges & shrubs, trees, green roofs and green facades. Scientific studies confirm the ability of urban green infrastructure to reduce urban heat stress and improve thermal comfort. When placing more urban green infrastructure, it is often not fully known how the placement of urban green infrastructure can reduce heat stress as effective as possible and what the resulting quantified effect of this is.

This research therefore aims to design a design strategy for urban green infrastructure on behalf of the municipality of Arnhem, commissioned and supervised by Sweco, entirely focused on mitigating heat stress. Each step in the design strategy is therefore aimed at the most optimal heat stress mitigation. The design strategy was applied to the heat stress sensitive neighborhood Kronenburg in Arnhem and the resulting design was tested for its quantified effect on heat stress.

The design strategy was designed using an iterative design research method with only one research goal: Design an urban green infrastructure design strategy aimed at mitigating urban heat stress as effectively as possible. The design research method consists of three iterative components: problem exploration, design, and validation. The problem exploration section examined for whom, why, and how a design strategy for urban green infrastructure might add value. Then, in the design section, design requirements were set based on the results of the problem exploration, and this was used to design the design strategy. For validation, the design requirements were validated and the usability of the design strategy for the target group was examined through an interview.

It can be concluded that a design strategy specifically aimed at effective mitigation of urban heat stress is lacking among the target group such as municipalities, the municipality of Arnhem as the primary target group in this study, consultancies and architectural firms. It was found that recently there is much more knowledge to be found in scientific literature about the effectiveness of various green measures, but this is only translated for a limited extent into useful knowledge for urban design. The found knowledge about effectiveness and the influence of shape complexity, fragmentation and ventilation on heat stress mitigation by urban green infrastructure was integrated into the design strategy together with a priority framework and design guidelines. Applying the design strategy decreased average heat stress within the design area. In particular, trees with large tree canopies significantly reduced heat stress by creating shade. However, it does appear that the design strategy is primarily suitable as a set of guidelines/checklist for effectively mitigating heat stress with urban green infrastructure. As a checklist or set of guidelines, the design strategy will not be followed step by step because in public space design there are other goals and interests than only heat stress mitigation. Analyzing heat stress in the design area as part of the design strategy during the design process helps to make better tradeoffs during design and effective heat stress mitigation. Furthermore, the design strategy can contribute to communication when selling a urban green infrastructure design because the effect on heat stress can be better communicated or demonstrated.



## Inhoudsopgave

Voorwoord .....	2
Samenvatting .....	3
Summary .....	4
Lijst met afbeeldingen.....	8
Lijst met tabellen .....	9
1 Introductie .....	10
1.1 Probleemomschrijving .....	10
1.2 Onderzoek Motivatie .....	11
1.3 Onderzoek Doel .....	11
1.4 Onderzoek Focus.....	12
1.5 Toepassing Locatie .....	12
1.6 Wetenschappelijke Relevantie.....	13
1.7 Verslag Structuur .....	13
2 Onderzoeksmethodiek.....	14
2.1 Probleemverkenning.....	14
2.1.1 Probleem Context & Doelgroep.....	14
2.1.2 Stedelijk Groene Infrastructuur Kennis.....	15
2.1.3 Huidige ontwerpstrategieën .....	15
2.2 Ontwerp .....	15
2.2.1 Opstellen Ontwerpvoorwaarden .....	15
2.2.2 Opstellen Concept Ontwerpstrategie .....	15
2.2.3 Toepassing & Toetsing .....	15
2.3 Validatie .....	16
2.3.1 Validatie van Ontwerpvoorwaarden.....	16
2.3.2 Validatie van Bruikbaarheid .....	16
3 Probleemverkenning.....	17
3.1 Probleem Context & Doelgroep.....	17
3.2 Literatuuronderzoek .....	18
3.2.1 Stedelijk Groene Infrastructuur Kennis.....	18
3.2.2 Huidige ontwerpstrategieën .....	20
3.3 Conclusie Probleemverkenning .....	21
4 Ontwerp .....	22
4.1 Opstellen Ontwerpvoorwaarden .....	22
4.2 Opstellen Concept Ontwerpstrategie .....	24
4.2.1 Algemene Toelichting Ontwerpstrategie.....	24

4.2.2 Toelichting Implementatie van Ontwerpvoorwaarden .....	25
4.3 Toepassing & Toetsing .....	26
4.3.1 Toepassing .....	27
4.3.2 Toetsing.....	28
5 Validatie .....	29
5.1 Validatie Ontwerpvoorwaarden .....	29
5.2 Validatie Bruikbaarheid.....	30
5.3 Definitieve Ontwerpstrategie .....	31
6 Discussie .....	32
6.1 Discussie Ontwerpstrategie .....	32
6.2 Discussie Toepassing.....	32
6.3 Discussie Buikbaarheid Ontwerpstrategie.....	33
6.4 Toegevoegde Waarde Onderzoek.....	33
7 Conclusies & Aanbevelingen .....	34
7.1 Conclusies .....	34
7.2 Aanbevelingen .....	34
8 Bibliografie .....	35
Appendix .....	37
A Literatuurstudie Probleemverkenning .....	37
A.1 Volledige Literatuurstudie naar stedelijk groene infrastructuur inclusief kwantificatie van effectiviteit.....	37
A.2 Volledige Literatuurstudie naar invloed van fragmentatie, vormcomplexiteit en ventilatie op effectiviteit stedelijk groene infrastructuur inclusief definities en uitleg .....	39
A.3 Ontwerprichtlijnen Klemm, Lenzholzer & van den Brink (2017) .....	41
B Toepassing & Toetsing Ontwerpstrategie – Case Studie Kronenburg.....	42
B.1 Ontwerprandvoorwaarden.....	42
B.2 Concept Ontwerpstrategie & Toepassing.....	44
B.3 Onderzoek naar benodigde software, data, data beschikbaarheid en hittestress indicatoren .....	47
B.4 Bepaling van ontwerplocaties van case studie Kronenburg.....	56
B.5 Analyse Ontwerplocatie.....	59
B.6 Vervanging van verharding / plaatsen van gras.....	61
B.7 Plaatsen van Heggen & Struiken.....	61
B.8 Plaatsen van Bomen .....	62
B.9 Gevelgroen.....	62
B.10 Groene Daken .....	63

B.11 Validatie Toepassing .....	64
Appendix C Interview .....	66
C 1 Interview Protocol met notulen.....	66
C 2 Feedback gesprek over bruikbaarheid van ontwerpstrategie.....	68
Appendix D Foto's Locatiebezoek Kronenburg.....	70



## Lijst met afbeeldingen

Figuur 1: Toepassingsgebied: Kronenburg op OpenMaps & Hitte attentiekaart Arnhem (Gemeente Arnhem, 2020, p.9) .....	12
Figuur 2: Aangepaste Ontwerpcyclus (Wieringa, 2014) .....	14
Figuur 3: Toepassingscyclus geadapteerd van Wieringa (2014) .....	26
Figuur 4: Windroos De Bilt gemiddelde van juli met ingetekend de gekozen windrichtingen (KNMI, 2020) .....	54
Figuur 5: Overzicht Tygron 3D Model & Boomregister Geodata (Alterra Wageningen UR, Neo & Geodan, 2020).....	56
Figuur 6: Hittestress (PET) Kronenburg & Schaduwgebied 15:00u .....	56
Figuur 7: Ontwerpgebieden .....	57
Figuur 8: Tygron model overzicht met locatiebezoek foto's .....	58
Figuur 9: Tygron Model bovenaanzicht en Hittestress om 15u op ontwerplocatie .....	59
Figuur 10: Ingezoomd bovenaanzicht ontwerplocatie Google Maps .....	59
Figuur 11: Gemiddelde zomerse windrichtingen en windsnelheden in ontwerpgebied bij gem. van 4 m/s bij 270° .....	60
Figuur 12: Zinloze Verharding Kronenburg .....	61
Figuur 13: Hittestress om 15u op ontwerplocatie na toevoegen van gras en heggen .....	61
Figuur 14: Overzicht en hittestress om 15u in ontwerpgebied na plaatsen van gras, heggen en bomen .....	62
Figuur 15: Gevels waar gevelgroen is aangebracht .....	62
Figuur 16: Hittestress om 15u in ontwerpgebied na plaatsen van gras, heggen, bomen, groene gevels en daken.....	63

## Lijst met tabellen

Tabel 1: Rangorde effectiviteit stedelijk groene infrastructuur .....	19
Tabel 2: Prioriteer kader voor optimaliseren stedelijk groene infrastructuur effectiviteit (Norton, et al., 2015) .....	20
Tabel 3: Implementatie Ontwerpvoorwaarden ontwerpstrategie .....	25
Tabel 4: Resultaten Toetsing: PET Waarden in ontwerpgebied voor elke fase gemiddeld tussen 12u – 18u onder verschillende ventilatieomstandigheden .....	28
Tabel 5: Validatie van Ontwerpvoorwaarden .....	29
Tabel 6: Definitieve Ontwerpstrategie.....	31
Tabel 7: Overzicht translatie wetenschappelijke kennis naar ontwerprichtlijnen en operationele uitgangspunten (Klemm, Lenzholzer, & van den Brink, 2017) .....	41
Tabel 8: Software voorwaarden ontwerpevaluatie tool.....	47
Tabel 9: Vergelijking RayMan Pro en Tygron DPRA Hitte Module.....	48
Tabel 10: Uitvoermogelijkheden Tygron DPRA Hitte Module .....	49
Tabel 11: Uitvoermogelijkheden RayMan Pro .....	50
Tabel 12: Hittestressindicatoren en definities .....	52
Tabel 13: De comfort schaal van de fysiologisch equivalente temperatuur (PET) (Sodoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018, p.89) .....	52
Tabel 14: Uur gegevens meetstation Deelen (KNMI, 2020) .....	53
Tabel 15: Dag gegevens meetstation Deelen (KNMI, 2020) .....	53
Tabel 16: Dag waarden invoer Tygron .....	54
Tabel 17: Uur waarden invoer Tygron .....	55
Tabel 18: PET Waarden in ontwerpgebied (Huidige Situatie) gemiddeld tussen 12u – 18u onder verschillende ventilatieomstandigheden.....	60
Tabel 19: PET Waarden in ontwerpgebied (Heggen & Struiken, Bomen) gemiddeld tussen 12u – 18u onder verschillende ventilatieomstandigheden .....	62
Tabel 20: PET Waarden in ontwerpgebied (Heggen & Struiken ) gemiddeld tussen 12u – 18u onder verschillende ventilatieomstandigheden.....	63
Tabel 21: Toepassingsvalidatie Praktische Ontwerpvoorwaarden .....	64
Tabel 22: Toepassingsvalidatie Theoretische Ontwerpvoorwaarden .....	65

# 1 Introductie

Extreme weersomstandigheden bedreigen de leefbaarheid van steden en brengen de gezondheid, veiligheid en economie van hun inwoners in gevaar. De door de mens veroorzaakte klimaatverandering zal de kans op overstromingen, hitte en droogte de komende jaren waarschijnlijk vergroten. Steden moeten veerkrachtig zijn om de leefbaarheid te behouden en de risico's te minimaliseren (IPCC, 2014). Om de stad Arnhem veerkrachtig en bestendig te maken voor extreem weer heeft de gemeente Arnhem een klimaatadaptatie ontwerpstrategie opgesteld voor de periode 2020 - 2030. Een van de aspecten van deze ontwerpstrategie is het mitigeren van stedelijke hittestress wat een groter probleem zal worden bij meer of extremere hittegolven (Gemeente Arnhem, 2020). De gevolgen van hitte zijn vooral voelbaar in stedelijke gebieden door het stedelijke hitte-eilandeffect (EPA, 2008).

Een voorgestelde maatregel uit de klimaatadaptatie ontwerpstrategie van Arnhem is het plaatsen van meer stedelijke groene infrastructuur. Stedelijke groene infrastructuur verwijst naar groene elementen zoals bomen, gazons, hagen, struiken, velden, groene daken en groene gevels. (Norton, et al., 2015). Kort samengevat kan de stedelijke groene infrastructuur worden gezien als een mix van de gebouwde omgeving en de groene omgeving. Wetenschappelijke studies bevestigen het vermogen van stedelijke groene infrastructuur om stadswarmte te verminderen en het thermisch comfort te verbeteren (Demezure, et al., 2014). De klimaatadaptatie ontwerpstrategie van de gemeente Arnhem stelt algemene richtlijnen om hittestress beperking met stedelijk groene infrastructuur te realiseren. Echter ontbreekt een concrete ontwerpstrategie met bijbehorende kennis over de effectiviteit van verschillende maatregelen. Dit onderzoek wil daarom onder begeleiding van Sweco en deels in opdracht van de gemeente Arnhem een ontwerpstrategie voor stedelijk groene infrastructuur ontwerpen om hittestress te mitigeren. De ontwerpstrategie zal hierbij toegepast worden op hittestress gevoelige wijk Kronenburg in Arnhem als case studie.

## 1.1 Probleemomschrijving

Een stedelijke omgeving zoals in Arnhem heeft invloed op het lokale klimaat. Stedelijk grondgebruik en stedelijke materialen veroorzaken mede het stedelijke hitte-eilandeffect, dat kan worden verergerd door de klimaatverandering (Albers, et al., 2014). Ook zijn er de laatste jaren in Nederland vaker hittegolven zijn geweest (Boezeman & Kooij, 2015). Hitte-extremen zijn verantwoordelijk voor meer sterfgevallen wereldwijd dan alle andere weer gerelateerde gebeurtenissen (Larsen, 2015). Gezien de genoemde constatering is mitigatie van stedelijke hitte van vitaal belang in de klimaataanpassingsstrategieën van de steden. Vanwege dit vitale belang is het belangrijk dat de te nemen maatregelen en dus stedelijk groene infrastructuur ontwerpen effectief zijn in het mitigeren van stedelijke hittestress.

De ambitie van de gemeente Arnhem om meer stedelijk groene infrastructuur te plaatsen is niet erg specifiek en geeft geen garanties over de effectiviteit. Uit de klimaatadaptatiestrategie blijkt niet wat de optimale methoden zijn om stedelijk groene infrastructuur te implementeren om zoveel mogelijk hitte beperking te realiseren, ook is er geen kwantificatie van de mogelijke effecten. Hoewel uit wetenschappelijke literatuur blijkt dat stedelijk groene infrastructuur in staat is om stadswarmte te verminderen en het thermisch comfort te verbeteren, ontbreken gekwantificeerde effecten van verschillende soorten stedelijke groene infrastructuur en duidelijke ontwerpstrategieën om stadswarmte effectief te verminderen vaak in het ontwerpproces. Universele stedelijke groene oplossingen worden gepresenteerd als een remedie voor alle klimaatproblemen (Klemm, Heusinkveld, Lenzholzer, & van Hove, Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort, 2015). Er is bovendien ook een toepassingskloof die de vertaling van microklimatologische kennis met betrekking tot stedelijk groene infrastructuur naar bruikbare kennis voor klimaatrelevante stedenbouw belemmert (Klemm, Lenzholzer, & van den Brink, 2017).

## 1.2 Onderzoek Motivatie

Hoewel er de afgelopen jaren veel onderzoek is gedaan naar klimaatadaptatie, blijft het volgende citaat uit 2013 relevant: 'Het is moeilijk om de klimaatadaptatie te monitoren en te evalueren, omdat het domein van de verandering dat men probeert te meten, de klimaatbestendigheid of het aanpassingsvermogen, niet goed gedefinieerd is. Dit maakt het erg moeilijk om te weten wanneer er belangrijke veranderingen hebben plaatsgevonden. Een goede monitoring en evaluatie is van cruciaal belang om te zorgen voor effectieve en verantwoorde investeringen.' (Anderson, 2013). Voor de gemeente Arnhem geldt ook dat niet bekend is hoe stedelijk groene infrastructuur zo effectief mogelijk ontworpen kan worden en wat de hittedeductie is van een effectief ontworpen ontwerp. Een ontwerpstrategie die het effect van een ontwerp kwantificeert kan dus helpen bij het maken van effectieven en verantwoorde investeringen. Er kan dan ook meer zekerheid gegeven worden over de haalbaarheid van de doelstellingen. Het effect van het toevoegen van een type stedelijk groene infrastructuur te analyseren zoals bijvoorbeeld gevelgroen zal bijdragen aan verantwoorde investeringen. Wanneer de benodigde hittedeductie gehaald kan worden zonder gevelgroen te implementeren zal dit gunstig zijn voor de kosteneffectiviteit.

In de probleemomschrijving staat beschreven dat universele stedelijke groene oplossingen gepresenteerd worden als een remedie voor alle klimaatproblemen. Ook is er een toepassingskloof die de vertaling van microklimatologische kennis met betrekking tot stedelijk groene infrastructuur naar bruikbare kennis voor klimaatrelevante stedenbouw belemmert. Dit beeld uit de literatuur is terug te zien bij de gemeente Arnhem. Een ontwerpstrategie gericht op hitte stress mitigatie ontbreekt en de gemeente geeft bijvoorbeeld aan te willen weten wanneer gevelgroen een toegevoegde waarde is voor hittestress mitigatie bij stedelijk groen ontwerp. De voornaamste onderzoek motivatie is dus om de gemeente te helpen bij het opstellen van een ontwerp ontwerpstrategie die ze kunnen gebruiken. Door de ontwerpstrategie in te delen in fases per type stedelijk groene infrastructuur en de ontwerpstrategie toe te passen in de wijk Kronenburg kunnen de resultaten worden gebruikt om als gemeente zinvolle investeringen te doen. De gemeente zal dan niet investeren in inefficiënte ontwerpen en maatregelen door een toegepaste en gevalideerde ontwerpstrategie te gebruiken en de ontwerpen achteraf goed te evalueren op basis met behulp van de resultaten van dit onderzoek.

## 1.3 Onderzoek Doel

Uit de probleemomschrijving en onderzoek motivatie is het volgende onderzoek doel geformuleerd :

**Het ontwerpen van een stedelijk groene infrastructuur ontwerpstrategie gericht op het zo effectief mogelijk mitigeren van stedelijke hittestress.**

De ontwerpstrategie zal bestaan uit verschillende stappen die allemaal gericht zijn op het zo effectief mogelijk mitigeren van stedelijke hittestress. Het mitigeren van stedelijke hittestress is specifiek gericht op voetgangers op straatniveau. Bij het ontwerpen van de ontwerpstrategie is een concept versie van de ontwerpstrategie ook toegepast op de hittegevoelige wijk Kronenburg in Arnhem. Hierdoor is de resulterende ontwerpstrategie volgens een 'leer-door-te-doen' principe verbeterd en tegelijk is het een toetsing van de ontwerpstrategie waarbij de gekwantificeerde impact van een ontwerp ontworpen met de ontwerpstrategie gepresenteerd kan worden. Hoewel de ontwerpstrategie wordt toegepast op de wijk Kronenburg in Arnhem is de doelgroep beter dan alleen de gemeente Arnhem. De doelgroep is verder uitgewerkt in de probleemverkenning.

## 1.4 Onderzoek Focus

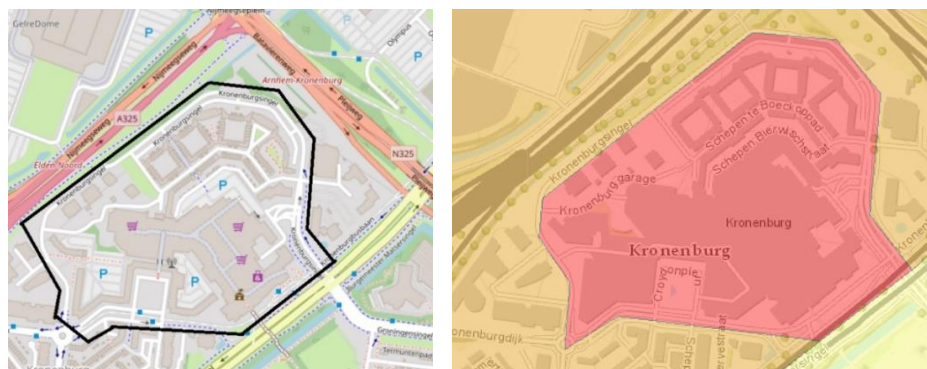
In dit onderzoek hebben veel aspecten een specifieke focus, zo ligt de focus bij stedelijk groene infrastructuur bijvoorbeeld bij hitereductie en niet bij andere mogelijke voordelen. Ook is het gericht op hitte reductie overdag op straatniveau. De focus van het onderzoek van de ontwerpstrategie zal verder bepaald worden tijdens het onderzoek.

De context van de resulterende stedelijk groene infrastructuur ontwerpstrategie waarin de ontwerpstrategie van toepassing is moet relevant zijn voor Arnhem. Aangezien de ontwerpstrategie wordt toegepast op de wijk Kronenburg kan worden aangenomen dat de resulterende ontwerpstrategie relevant is voor andere delen van Kronenburg. Dit moet echter wel gevalideert worden om een onderbouwde conclusie te kunnen trekken. Er kan worden gesteld dat de context in andere buurten van Arnhem en zelfs in andere steden in Nederland niet erg verschillend is en dat de ontwerpstrategie dus ook relevant kan zijn. Maar om echt iets te concluderen over de relevantie en dus focus van de ontwerpstrategie buiten Kronenburg moet er wel een validatie plaatsvinden.

Wat de stedelijk groene infrastructuur betreft die meegenomen zal worden bij het ontwerpen van de ontwerpstrategie, zijn de volgende stedelijk groene infrastructuur elementen meegenomen: gras, heggen en struiken, bomen met een kleine en grote boomkruin, groene gevels en groene daken.

## 1.5 Toepassing Locatie

De ontwerpstrategie zal worden toegepast op de wijk Kronenburg, een wijk in Arnhem die grotendeels wordt ingenomen door een groot winkelcentrum. Het gebied is gemarkeerd als een rood aandachtsgebied op de hitte attentiekaart van de klimaat adaptieve ontwerpstrategie van de gemeente Arnhem (Gemeente Arnhem, 2020). Rood is het hoogste niveau wat duidt op zware hittestress op warme zomerdagen. Het gebied is rood gemarkeerd omdat het samen met enkele andere gebieden in Arnhem de hoogste urgentie heeft om hittestress te mitigeren. Daarom is het gebied geschikt om de stedelijk groene infrastructuur ontwerpstrategie toe te passen, omdat de impact van het ontwerp waarschijnlijk waarneembaarder zal zijn dan in gebieden waar er minder hittestress is. De exacte omvang van het studiegebied is hieronder te zien in figuur 1.



Figuur 1: Toepassingsgebied: Kronenburg op OpenMaps & Hitte attentiekaart Arnhem (Gemeente Arnhem, 2020, p.9)

## 1.6 Wetenschappelijke Relevantie

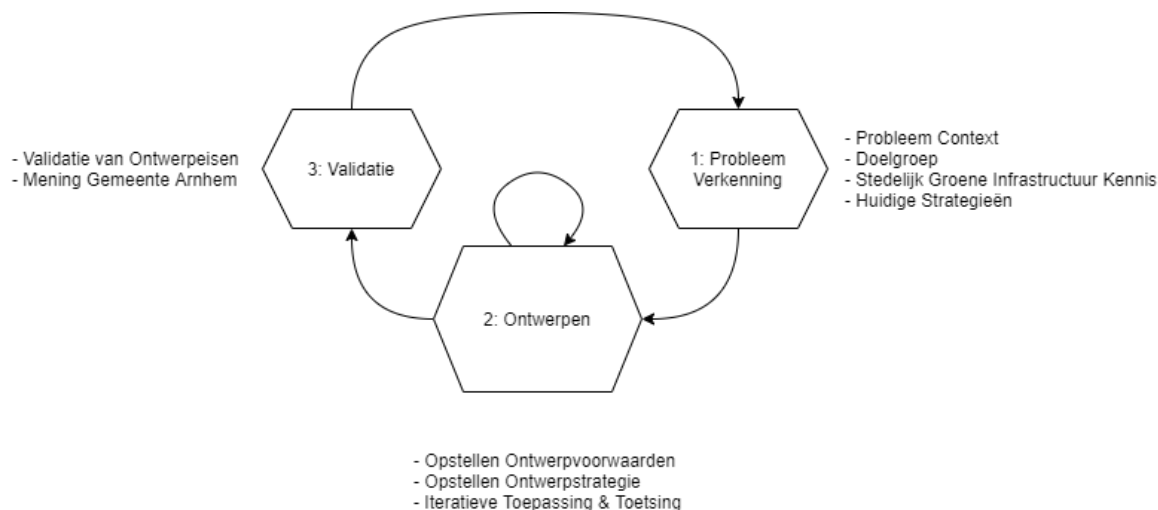
Ontwerprichtlijnen en de effectiviteit van stedelijk groen zijn een relatief nieuw onderzoeksonderwerp in de wetenschappelijke literatuur. Nog maar 10 jaar geleden was het moeilijk om bruikbare informatie of normen te vinden voor de aanpassing van het stedelijk klimaat, met name hitte adaptief stedelijk ontwerp (Brown, 2010). Vooral in de Nederlandse klimaatadaptatie omgeving was er al veel kennis over water, maar het ontwerp van hitte adaptieve maatregelen was grotendeels nieuw. (Pötz, Bleuze, & Alleg, 2010). Er is behoefte aan meer onderzoek naar de voordelen van groene stedelijke infrastructuur in specifieke klimaat- en sociale contexten (Demezure, et al., 2014). Op dit moment is er meer kennis beschikbaar over de effectiviteit van verschillende stedelijke groenmaatregelen en zijn er algemene ontwerprichtlijnen ontwikkeld (Klemm, Lenzholzer, & van den Brink, 2017). Deze studie wil bijdragen aan de kennis over de voordelen van groene stedelijke infrastructuur. Dit wordt gedaan door voornamelijk bestaande kennis toe te passen. De resulterende ontwerpstrategie kan bijdragen aan het dichteren van de toepassingskloof van wetenschappelijke kennis over stedelijk groene infrastructuur in stedelijk ontwerp.

## 1.7 Verslag Structuur

Het verslag is als volgend gestructureerd: hoofdstuk 2 beschrijft de onderzoek methodiek die gebruikt is, wat een aangepaste ontwerp onderzoek methode is (Wieringa, 2014). Dit hoofdstuk bestaat uit drie secties, waarbij elke sectie een van de fases van de ontwerp onderzoek methode uitlegt: probleemverkenning, ontwerp en validatie. Hoofdstuk 3 presenteert de resultaten van de Probleemverkenning. Hoofdstuk 4 presenteert de resultaten van het ontwerp en hoofdstuk 5 de validatie. Hoofdstuk 6 is discussie en hoofdstuk 7 is de conclusie en aanbevelingen van dit onderzoek.

## 2 Onderzoeksmethodiek

Het ontwerpend onderzoek is gebaseerd op een ontwerp cyclus methode (Wieringa, 2014). Deze cyclus bestaat uit 5 stappen. De laatste twee stappen implementatie en evaluatie vallen buiten de focus van dit onderzoek. Een toegevoegd onderdeel van de ontwerpen stap is het iteratief toepassen van de ontworpen concept ontwerpstrategie om deze te verbeteren en toetsing van het ontwerp als resultaat van de toepassing op effectiviteit in hitte mitigatie. De ontwerpcyclus is hieronder weergegeven in (Wieringa, 2014). In de volgende secties wordt elke fase verder uitgelegd.



Figuur 2: Aangepaste Ontwerpcyclus (Wieringa, 2014)

### 2.1 Probleemverkenning

In de probleemverkenning is de probleem context verder uitgewerkt, de doelgroep voor de ontwerpstrategie onderzocht en geformuleerd. Kennis over stedelijke groene infrastructuur die relevant is voor een ontwerpstrategie is verzameld en een overzicht van enkele huidige ontwerpstrategieën is onderzocht. Met behulp van de resultaten van de probleemverkenning zijn ontwerpvoorwaarden en de ontwerpstrategie opgesteld in de sectie 2.2.

#### 2.1.1 Probleem Context & Doelgroep

In dit gedeelte is de probleem context verder uitgewerkt door middel van literatuuronderzoek. Door duidelijk de probleem context te schetsen wordt ook een duidelijk beeld gegeven waarvoor en hoe een ontwerpstrategie een oplossing kan bieden. Ook is binnen de probleem context de doelgroep meegenomen. Als uitgangspunt is de gemeente Arnhem de doelgroep, maar de gehele doelgroep is in dit hoofdstuk onderzocht. Daarbij is ook onderzocht ook wat de ontwerpstrategie moet bereiken en hoe het eruit moet komen te zien. De resultaten van de probleem context zijn gebruikt om de ontwerpvoorwaarden op te stellen in sectie 2.2.1.



### 2.1.2 Stedelijk Groene Infrastructuur Kennis

Om de ontwerpstrategie op te stellen voor stedelijk groene infrastructuur met als doel de meest effectieve mitigatie van stedelijke hitte is veel relevante kennis nodig over stedelijk groene infrastructuur. Vooral belangrijk is de invloed van verschillende factoren die meegenomen kunnen worden bij de plaatsing van de stedelijk groene infrastructuur zoals fragmentatie, ventilatie en meer op de effectiviteit in hitte mitigatie. Ook is in het literatuuronderzoek gekeken naar de kwantificatie van de mitigatie van stedelijke hitte door stedelijk groene infrastructuur om de verschillende typen te rangschikken op effectiviteit. Maar ook om te vergelijken met de resultaten bij het toepassen van de ontwerpstrategie later in het onderzoek. De resultaten van het onderzoek naar stedelijk groene infrastructuur zijn gebruikt om de ontwerpstrategie op te stellen in sectie 2.2.2.

### 2.1.3 Huidige ontwerpstrategieën

Bij het literatuuronderzoek zijn de huidige ontwerpstrategieën onderzocht. De te ontwerpen ontwerpstrategie kan zo bouwen op al bestaande en ontworpen ontwerpstrategieën voor stedelijk groene infrastructuur. Ook zijn zo andere factoren die van belang zijn voor het ontwerp naast hitte mitigatie die meegenomen zijn in de ontwerpstrategieën uit de literatuur ook mee genomen door de ontworpen ontwerpstrategie. De resultaten van dit gedeelte zijn gebruikt om de ontwerpstrategie op te stellen in sectie 2.2.2.

## 2.2 Ontwerp

In dit gedeelte worden eerst de ontwerpvoorwaarden opgesteld, waarmee de ontwerpstrategie ontworpen en opgesteld kan worden. Bij het opstellen van beide wordt gebruik gemaakt van de resultaten van de probleemverkenning.

### 2.2.1 Opstellen Ontwerpvoorwaarden

De ontwerpvoorwaarden voor de ontwerpstrategie bestaan uit voorwaarden die stellen waar de ontwerpstrategie aan moet voldoen. De voorwaarden zijn gebaseerd op de bevindingen uit de probleemverkenning waaronder het literatuuronderzoek naar stedelijk groene infrastructuur en huidige ontwerpstrategieën. De mate waarin aan de ontwerpvoorwaarden wordt voldaan bij de validatie geeft een indicatie van de kwaliteit van de ontwerpstrategie en de effectiviteit.

### 2.2.2 Opstellen Concept Ontwerpstrategie

Met de resultaten van de literatuurstudie naar stedelijke groene infrastructuur en huidige ontwerpstrategieën is de ontwerpstrategie opgesteld. Hierbij is rekening gehouden met de ontwerpvoorwaarden waar de ontwerpstrategie aan moet voldoen. Hierbij is toegelicht hoe de ontwerpvoorwaarden vertaalt zijn naar de ontwerpstrategie. De ontworpen ontwerpstrategie is de concept versie die gebruikt is voor de toepassing en toetsing.

### 2.2.3 Toepassing & Toetsing

De opgestelde ontwerpstrategie wordt gevalideerd op het voldoen aan de gestelde ontwerpvoorwaarden en door een interview met de gemeente Arnhem. Om bij het valideren gekwantificeerde effecten van een ontwerp gemaakt met de ontworpen ontwerpstrategie mee te nemen is de ontwerpstrategie toegepast in een modelsituatie om de effecten te toetsen. Een bijkomend voordeel van het toepassen is dat bij het toepassen volgens een iteratieve methode de ontwerpstrategie verbeterd kan worden. Vervolgens zijn de resultaten van de toepassing & toetsing gepresenteerd.

De ontwerpstrategie is toegepast in een modelsituatie waarbij een stedelijk groen infrastructuur ontwerp ontworpen is. Bij de validatie zijn de gekwantificeerde effecten van het ontwerp gemaakt met de ontwerpstrategie meegenomen. Door een iteratieve toepassingsmethode te gebruiken zijn

problemen gevonden en benodigde aanpassingen gemaakt. Ook zijn in de toepassingsmethode enkele ontwerpvoorwaarden aan het ontwerp meegegeven om een gevalideerd realistisch ontwerp te creëren met de ontwerpstrategie. De toepassingsmethode is ook gebaseerd op ontwerpend onderzoek en kan gezien worden als een ontwerp binnen de ontwerpstudie.

## 2.3 Validatie

In de laatste stap van de gebruikte methode is de ontwerpstrategie gevalideerd. Hierbij wordt de kwaliteit van het model bepaald door te kijken naar de bruikbaarheid van de ontwerpstrategie en de effectiviteit in het mitigeren van stedelijke hitte. Dit is gedaan door validatie van de ontwerpvoorwaarden en een interview met de gemeente Arnhem.

### 2.3.1 Validatie van Ontwerpvoorwaarden

Bij de validatie van de ontwerpvoorwaarden zijn de opgestelde ontwerpvoorwaarden voor de ontwerpstrategie gevalideerd door voor elke voorwaarde te analyseren of de definitieve ontwerpstrategie hier aan voldoet. Ook wordt gekeken naar hoe dit gedaan is en de resultaten hiervan. De validatie kan zo een beeld schetsen van de kwaliteit van de ontwerpstrategie.

### 2.3.2 Validatie van Bruikbaarheid

Door een interview en expertsessie te houden met een ontwerper publieke ruimte van de gemeente Arnhem kan de bruikbaarheid van de ontwerpstrategie beter ingeschat worden. Het interview heeft als doel er achter te komen hoe het huidige ontwerpproces met stedelijke groen infrastructuur er uit ziet bij de gemeente Arnhem. Met deze kennis is een inschatting van de bruikbaarheid van de ontwerpstrategie beter gemaakt worden. Vervolgens is in de expertsessie de ontwerpstrategie uitgelegd en verder toegelicht voor feedback en een mening over de bruikbaarheid van de ontwerpstrategie.

### 3 Probleemverkenning

In de probleemverkenning is onderzocht voor wie, waarom en hoe een ontwerpstrategie voor stedelijk groene infrastructuur precies van toegevoegde waarde kan zijn. Hiervoor is eerst de probleem context verder onderzocht en de doelgroep verder gespecificeerd. Vervolgens is relevante wetenschappelijke kennis over stedelijk groene infrastructuur en huidige ontwerp ontwerpstrategieën verzameld.

#### 3.1 Probleem Context & Doelgroep

Uit de probleem context uit de introductie blijkt dat aanpassingen in de stedelijke omgeving nodig zijn om stedelijke hitte te mitigeren tijdens zomerse weersomstandigheden. Stedelijk groene infrastructuur heeft het vermogen om stedelijke hitte te mitigeren. De gemeente Arnhem heeft het plaatsen van meer stedelijk groene infrastructuur dan ook meegenomen in de klimaat adaptatie ontwerpstrategie van 2020-2030 (Gemeente Arnhem, 2020). Echter ontbreekt nog een ontwerpstrategie om effectief stedelijke hitte te mitigeren met stedelijk groene infrastructuur en is niet bekend hoeveel hitte gereduceerd kan worden met stedelijk groene infrastructuur.

De doelgroep is aanvankelijk de gemeente Arnhem voor de te ontwerpen ontwerpstrategie voor stedelijk groene infrastructuur. De ontwerpstrategie wordt toegepast als case studie in de Arnhemse wijk Kronenburg. Zoals uit de introductie blijkt is een expliciet doel van de klimaatadaptatiestrategie om meer stedelijk groene infrastructuur te plaatsen om stedelijke hittestress te mitigeren. Er zullen dan stedelijke ontwerpen gemaakt moeten worden waar het plaatsen van stedelijk groene infrastructuur het primaire of enige doel is. Wanneer hittestress mitigatie je primaire doel kan de vraag ontstaan hoe de stedelijk groene infrastructuur geplaatst moet worden om zo effectief mogelijk hittestress te mitigeren. De te ontwerpen ontwerpstrategie kan stedelijk ontwerpers hierbij helpen. Er kan waarschijnlijk niet verwacht worden dat de ontwerpstrategie volledig uitgevoerd zal worden of dat er geen enkel aspect ontbreekt., Het doel is wel dat de ontwerpstrategie voor stedelijk ontwerpers bijvoorbeeld een antwoorden geeft op de vraag hoe zo effectief mogelijk stedelijke groene infrastructuur ontworpen kan worden om zo effectief mogelijk stedelijke hitte te mitigeren. Dit kan beantwoord worden omdat kennis uit wetenschappelijke literatuur hierover wordt geïntegreerd in de ontwerpstrategie.

Hoewel de gemeente Arnhem de primaire doelgroep is zal de ontwerpstrategie ook relevant zijn voor andere gemeenten. Om een exacte uitspraak hierover toe doen zal er verder onderzoek gedaan moeten worden aangezien in dit onderzoek de ontwerpstrategie alleen toegepast wordt op Kronenburg in Arnhem. Echter is de inschatting dat de context in andere steden niet heel veel verschillend zal zijn. Aangezien de Nederlandse overheid een nationale klimaatadaptatiestrategie opgesteld heeft en het doel voor 2050 is dat Nederland volledig ruimtelijk wordt ingericht op een klimaat adaptieve manier (Vereniging van Nederlandse Gemeenten, 2020), zullen veel gemeente met een vergelijkbare klimaatadaptatiestrategie zoals die in Arnhem komen, bij veel stedelijk ontwerpers in Nederland zal dus ook een behoefte zijn aan een stedelijk groene infrastructuur ontwerpstrategie gericht op hitte mitigatie. Ook voor consultancy bureaus die met opdrachten van gemeenten ook meer te maken krijgen met de vraag hoe ze zo effectief mogelijk stedelijke hitte mitigeren met stedelijk groene infrastructuur zal de ontwerpstrategie relevant zijn.

Ingenieursadviesbureau Sweco, de deels opdrachtgever van deze thesis en begeleidend bedrijf, geeft dit ook aan. Ze werkend daarom ook aan tools die kunnen helpen bij het uitvoeren van klimaat adaptief stedelijk ontwerp zoals deze ontwerpstrategie.

## 3.2 Literatuuronderzoek

In de literatuur is het geschetste beeld uit de probleemcontext terug te zien, waaruit blijkt dat een ontwerpstrategie ontbreekt gericht op effectief stedelijke hitte mitigatie met stedelijk groene infrastructuur. Daarnaast is niet bekend hoeveel hitte gereduceerd kan worden met stedelijk groene infrastructuur. Een goede monitoring en evaluatie is van cruciaal belang om te zorgen voor effectieve en verantwoorde investeringen bij klimaatadaptatie. (Anderson, 2013). Op dit moment is er meer kennis beschikbaar over de effectiviteit van verschillende stedelijke groenmaatregelen om deze te beperken en zijn er algemene ontwerprichtlijnen ontwikkeld (Klemm, Lenzholzer, & van den Brink, 2017). Als deze kennis toegepast wordt zal dit dus bijdragen aan goede monitoring en evaluatie om te zorgen voor effectieve hittemitigatie. Echter is er sprake van een toepassingskloof die de vertaling van microklimatologische kennis met betrekking tot stedelijk groene infrastructuur naar bruikbare kennis voor klimaatrelevante stedenbouw belemmert (Klemm, Lenzholzer, & van den Brink, 2017). Universeel stedelijk groen wordt gepresenteerd als een remedie voor alle klimaatproblemen. (Klemm, Heusinkveld, Lenzholzer, & van Hove, Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort, 2015).

De ontwerpstrategie moet dus microklimatologische kennis met betrekking tot stedelijk groene infrastructuur en huidige ontwerpstrategieën toepassen om stedelijk groene infrastructuur ontwerpen te creëren die effectief hittestress mitigeren. Deze kennis en huidige ontwerpstrategieën zijn in de volgende paragrafen onderzocht en gepresenteerd. Ook moet de gemeente Arnhem bij het gebruiken van de ontwerpstrategie in staat zijn om de ontwerpen te monitoren en evalueren voor effectieve en verantwoorde investeringen. De gemeente geeft dit ook aan, ze willen bij het ontwerpen bijvoorbeeld weten of stedelijk groene infrastructuur buiten straatniveau zoals gevelgroen nodig is om de gewenste effectiviteit te bereiken. Bij de ontwerpvoorwaarden moet dus een voorwaarde gesteld worden die goede monitoring en evaluatie garandeert.

### 3.2.1 Stedelijk Groene Infrastructuur Kennis

In dit gedeelte van de literatuurstudie zijn de verschillende soorten stedelijke groene infrastructuur onderzocht. Er is gekeken naar het verschil in effectiviteit van types stedelijk groene infrastructuur en het effect op de effectiviteit van fragmentatie, vormcomplexiteit en ventilatie. Ook zijn ontwerpstrategieën uit de wetenschappelijke literatuur onderzocht.

#### 3.2.1.1 *Verskil in effectiviteit van types stedelijk groene infrastructuur*

Wanneer het vegetatie type gras is, is de gemiddelde koelcapaciteit van een of meerdere lappen grond of stroken met gras niet heel groot. Gras heeft een verkoelend effect, echter is dit het minst van alle typen stedelijk groene infrastructuur op straatniveau. Het verschil tussen hoog en laag gras is insignificant. Wanneer het vegetatie type heggen of struiken zijn, is de gemiddelde koelcapaciteit van een of meerdere lappen grond of stroken met heggen en struiken ook niet heel groot. Heggen & Struiken hebben een duidelijk verkoelend effect dat meer is dan het verkoelend effect van gras. Het verschil is echter klein (Sodoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018). Studies tonen aan dat bomen belangrijk zijn voor de aanpassing van het stadsklimaat door te zorgen voor schaduw en verdamping. Bomen verminderen meestal de oppervlaktetemperatuur, maar kleine verlagingen van de luchttemperatuur kunnen ook worden veroorzaakt door stadsbomen. (Skelhorn, Lindley, & Levermore, 2014) De effectiviteit is gerelateerd aan de afmetingen van de bomen en de bladoppervlakken (Moser, Rötzer, Pauleit, & Pretzsch, 2015).

Bij bomen is de gemiddelde koelcapaciteit zeer afhankelijk van de grootte van de boomkruin. Het verschil in gemiddeld koeleffect bij een boom met grote boomkruin is groot onder de verschillende ruimtelijke configuraties (verschil van ong. 3.8 °C) ten opzichte van alle andere groene infrastructuur op straatniveau (verschil bij allen kleiner dan 0.4 °C). (Sodoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018). Er kan ook geconcludeerd worden dat bij bomen met een grote boomkruin de plaatsing en

omgevingsfactoren van veel meer invloed zijn op het koeleffect dan bij andere soorten groene infrastructuur op straatniveau. Alle genoemde graden Celsius zijn bepaald op 2 uur 's middags bij het onderzoek.

Van groene gevels is aangetoond dat ze de gemiddelde stralingstemperatuur verlagen (Jänicke, Meier, Hoelscher, & Scherer, 2014). Groene gevels zijn daarom geschikt om hitte te mitigeren. Met name in gebieden waar extra bomen geen optie zijn vanwege de dichtheid van de gebouwen en concurrerende toepassingen. Groene daken kunnen ook bijdragen aan het mitigeren van stedelijke hitte en verbeteren van het thermisch comfort, maar de effecten van groene daken zijn kleiner in het verbeteren van het thermisch comfort in de stad dan de vegetatie op straatniveau. Toch zijn groene daken effectiever in het verminderen van de koellast van gebouwen; dit is een belangrijk aspect omdat het in zeer dichte stedelijke gebieden door ruimtegebrek wellicht niet mogelijk is om meer vegetatie op de grond toe te voegen, ook al heeft stedelijk groene infrastructuur op straatniveau een hoger positief effect op de buitentemperatuur en het thermische comfort in de zomer (Perini & Magliocco, 2014). De volledige samenvatting van het literatuuronderzoek naar de types stedelijk groene infrastructuur inclusief kwantificatie van de effectiviteit kan gevonden worden in Appendix A.1.

Hieronder in Tabel 1 is de effectiviteit van de verschillende soorten stedelijke groene infrastructuur weergegeven. Deze rangorde is gemaakt op basis van de resultaten uit de vorige paragrafen. Er is onderscheid gemaakt tussen groene infrastructuur op straatniveau en niet op straatniveau aangezien er geen studies te vinden zijn die alle soorten vergelijken. Echter is wel gebleken dat een mix van bomensoorten veel effectiever is in het verbeteren van thermisch comfort dan groene gevels.

Tabel 1: Rangorde effectiviteit stedelijk groene infrastructuur

Effectiviteit	Niet op straatniveau	Straatniveau
1.	Groene Gevels	Bomen met grote boomkruin
2.	Groene Daken	Bomen met kleine boomkruin
3.		Heggen / Struiken
4.		Gras (10/50cm)

### 3.2.1.2 Effect van fragmentatie, vormcomplexiteit en ventilatie op stedelijk groene infrastructuur op straatniveau op hitte mitigatie en verbeteren van thermisch comfort.

De ruimtelijke configuratie van stedelijk groene infrastructuur beïnvloedt het koeleffect op het microklimaat en het thermisch comfort van de mens door de invloed van schaduw, ventilatie en bladoppervlakte.

Het gemiddelde koeleffect, dus het koeleffect over het hele ontwerpgebied genomen, van bomen groeit naarmate de versnippering van de groengebieden toeneemt, omdat er meer schaduw en interactie is. Wanneer het vegetatietypen heggen / struiken of gras is, neemt in tegenstelling tot bij bomen het gemiddelde koeleffect over het gebied af naarmate de fragmentatie van de groengebieden toeneemt. Wat het maximale koeleffect betreft, dus het hoogste koeleffect ergens in het ontwerpgebied, presteert stedelijk groene infrastructuur met een lagere fragmentatie in de meeste gevallen beter.

Ook de vormcomplexiteit van de stedelijk groene infrastructuur oppervlakken heeft invloed op de effectiviteit. Een stedelijk groen infrastructuur ontwerp met een hogere vormcomplexiteit zoals lange rechte stroken groen vormt een lagere gemiddelde luchttemperatuur in vergelijking met met

een lagere vormcomplexiteit zoals een gestippeld patroon met kleine vierkanten. Omdat het groen met een complexere vorm zorgt voor meer interactie met het omliggende stadsgebied

De ventilatie van de groene zones beïnvloedt het microklimaat en het thermisch comfort van de mens, vanwege het effect ervan op de warmteafvoer. De richting van de strookvormige groene zones kan de ventilatie beïnvloeden. Wanneer de richting van de groene gordel evenwijdig aan de heersende windrichting is, is de ventilatieconditie beter en worden er sneller windstromen gevormd. Wanneer je alle factoren combineert kan je concluderen dat de combinatie van bomen met een grote boomkruin en groenstroken langs de windrichting de grootste verbetering van het microklimaat en het thermisch comfort zou kunnen bereiken (Soudoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018). In appendix A.2 kan het volledige literatuuronderzoek naar het effect van fragmentatie, vormcomplexiteit en ventilatie gevonden worden inclusief een uitgebreidere definitie en uitleg van fragmentatie, vormcomplexiteit en ventilatie.

### 3.2.2 Huidige ontwerpstrategieën

In de volgende paragrafen worden twee ontwerpstrategieën uit de wetenschappelijke literatuur besproken. De eerste ontwerpstrategie is een prioriteer kader dat gebruikt kan worden bij de implementatie van stedelijk groene infrastructuur. De tweede ontwerpstrategie bestaat uit ontwerprichtlijnen en operationele uitgangspunten.

#### 3.2.2.1 Prioriteerkader Stedelijk Groene Infrastructuur

De studie Norton et al. (2015) stelt een hiërarchisch, vijfstappenkader voor om prioriteit te geven aan de stedelijke openbare open ruimte voor stedelijke hitte te mitigeren (stappen 1-4) met behulp van de meest geschikte 'geschikt voor plaatsing' stedelijk groene infrastructuur (stap 5). Het prioriteren leidt tot meer effectieve ontwerpen op een stadschaal, aangezien in wijken die weinig hittestress ervaren stedelijk groene infrastructuur minder effectief zal zijn. Dit is ook een voordeel bij een gemeente met een beperkt budget. Maar ook op straatniveau is het prioriteren van gevoelige gebieden belangrijk aangezien een ontwerp waarbij bijvoorbeeld bomen in al schaduwrijk gebied geplaatst worden niet erg effectief zal zijn.

Tabel 2: Prioriteer kader voor optimaliseren stedelijk groene infrastructuur effectiviteit (Norton, et al., 2015)

Stad	Wijk	Wijk	Straat	Ontwerpgebied
Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4	Stap 5
Prioriteer Wijken	Kenmerken van de wijk	Maximaliseer koeffect huidige stedelijk groene infrastructuur	Prioriteer straten / ontwerpgebieden op basis van blootstelling en hittegevoeligheid	Identificeer specifieke locaties voor stedelijk groene infrastructuur in ontwerpgebied / straat
- Hittestress kaarten - Maatschappelijke kwetsbaarheid - Activiteiten Kaarten	- Identificeer bestaande groene infrastructuur - Identificeer bebouwing -3D benadering	- Irrigatie	- Canyon dimensies - Oriëntatie	

Stap 1 van het prioriteerkader is buiten de focus van dit onderzoek aangezien de wijk kronenburg als case studie gekozen is op basis van een hittestresskaart en op verzoek van de gemeente Arnhem is deze stap in principe al uitgevoerd. Bij stap 2 wordt gekeken naar de huidige kenmerken van de wijk waaronder de bebouwing, bestrating, huidige groene infrastructuur en een model benadering. In stap 3 wordt het koeffect van de huidige groene infrastructuur gemaximaliseerd door het verbeteren van irrigatie. Deze stap valt ook buiten de focus van de ontwerpstudie maar is wel relevant voor de gemeente. Bij stap 4 wordt op basis van hittegevoeligheid en gebrek aan schaduw een rangorde gemaakt van ontwerpgebieden. In stap 5 worden aan de hand van microklimaat

gerelateerde kennis aan groene infrastructuur geschikte locaties voor verschillende typen groene infrastructuur bepaalt. Stap 2, 4 en 5 zijn dus relevant voor de te ontwerpen ontwerpstrategie.

#### *3.2.2.1 Ontwerprichtlijn Stedelijk Groene Infrastructuur*

Klemm, Lenzholzer & van den Brink (2017) hebben een onderzoek gedaan door middel van ontwerpstudies om 'evidence-based' richtlijnen voor stedelijk groen te ontwerpen. De paper presenteert richtlijnen voor de stads-, park- en straatschaalniveaus en vertaalt de micro klimatologische wetenschappelijke kennis naar richtlijnen en operationele principes die nodig zijn voor effectieve implementatie van stedelijk groene infrastructuur (Klemm, Lenzholzer, & van den Brink, 2017) Voor dit onderzoeksvoorstel is voor de stad- en straatschaal relevant, die te zien zijn in Tabel 7 in Appendix A.3.

### 3.3 Conclusie Probleemverkenning

De probleemverkenning start met de constatering dat een ontwerpstrategie voor stedelijk groene infrastructuur volledig gericht op het zo effectief mogelijk mitigeren van stedelijke hitte stress ontbreekt bij stedelijk groen ontwerp. Ook is bij het toepassen van stedelijke groene infrastructuur voor hitte mitigatie vaak niet bekend hoeveel hitte potentieel gereduceerd kan worden. De doelgroep van de ontwerpstrategie is primair de gemeente Arnhem, met name de stedelijk ontwerpers, om een aspect van de klimaatadaptiestrategie uit te voeren door meer stedelijke infrastructuur te plaatsen voor hitte mitigatie. Naast de gemeente Arnhem is de ontwerpstrategie ook gericht op alle stedelijke gemeenten, stedelijk ontwerpers en consultancy bedrijven die in de toekomst meer stedelijk groene ontwerpen gaan maken om Nederland klimaat adaptief te maken zoals uitgesproken in de nationale klimaatadaptatiestrategie.

Uit het literatuuronderzoek in de probleemverkenning blijkt dat er recent veel meer kennis is te vinden in de literatuur over effectiviteit van verschillende groenmaatregelen, echter wordt deze maar beperkt vertaald naar bruikbare kennis in stedelijk ontwerp of ontwerpstrategieën. Ook blijkt een goede monitoring en evaluatie van cruciaal belang om te zorgen voor effectieve en verantwoorde investeringen bij klimaat adaptief ontwerp. Geconcludeerd kan worden dat de beschikbare kennis in de wetenschappelijke literatuur geïntegreerd moet worden in de ontwerpstrategie. Ook moet de ontwerpstrategie goede monitoring en evaluatie mogelijk maken. In het literatuuronderzoek naar stedelijk groene infrastructuur is een prioriteerkader gevonden voor effectief stedelijk groen ontwerp zowel als richtlijnen en uitgangspunten voor effectief stedelijk groen ontwerp, kennis over effectiviteit van verschillende soorten stedelijk groene infrastructuur en het effect van fragmentatie, vormcomplexiteit en ventilatie op effectiviteit. Al deze bevindingen kunnen geïntegreerd worden in de ontwerpstrategie.



## 4 Ontwerp

In dit hoofdstuk zijn eerst ontwerpvoorwaarden opgesteld, waarmee de ontwerpstrategie ontworpen en opgesteld is op basis van de resultaten van de probleemverkenning.

### 4.1 Opstellen Ontwerpvoorwaarden

Uit de probleemverkenning blijkt dat de gemeente Arnhem, als het gaat om het ontwerpen van stedelijk groene infrastructuur, geïnteresseerd is naar de toegevoegde waarde in effectiviteit van stedelijk groene infrastructuur niet op straatniveau. Dit is meegenomen door als ontwerpvoorwaarde op te nemen dat de ontwerpstrategie gestructureerd is per type stedelijk groene infrastructuur. De fases maken de ontwerpstrategie modulair waardoor er voor gekozen kan worden om voor de laatste fase bijvoorbeeld niet te implementeren vanwege kosten of omdat de gewenste hittestress beperking al bereikt is. De volgorde van de fases zal dus gebaseerd moeten worden op hoe ingrijpend een fase is. Een voordeel van een gefaseerde ontwerpstrategie is dat na elke fase er een effect en impact beoordeling gedaan kan worden, zowel bij een model als in de praktijk, wat goede monitoring en evaluatie mogelijk maakt zoals besproken in de probleem context. Zowel bij het gebruik van de ontwerpstrategie als dit onderzoek geeft dit nuttige inzichten in de effectiviteit van stedelijk groene infrastructuur.

**Voorwaarde 1: De ontwerpstrategie moet gefaseerd zijn met voor elke fase een type stedelijk groene infrastructuur en de fases moeten in volgorde van ingrijpendheid geplaatst worden.**

Uit het literatuuronderzoek in de probleemverkenning naar huidige ontwerpstrategieën is gebleken dat het prioriteerkader voor stedelijke hitte mitigatie van Norton et al. (2015) met behulp van de meest geschikte 'geschikt voor plaatsing' stedelijk groene infrastructuur. Het prioriteren leidt tot meer effectieve ontwerpen op een stads- / wijkschaal, zowel als op ontwerpschaal. De relevante aspecten voor effectieve hittemitigatie door ontwerp van het prioriteerkader zijn daarom opgenomen in de ontwerpvoorwaarden. De relevante aspecten zijn besproken in het literatuuronderzoek van de probleemverkenning.

**Voorwaarde 2: De ontwerpstrategie moet de relevante aspecten van het prioriteerkader van Norton et al. (2015) integreren voor effectieve hitte mitigatie.**

In het literatuuronderzoek is ook gekeken naar een van de weinige ontwerprichtlijnen voor stedelijk groene infrastructuur. De studie van Klemm, Lenzholzer & van den Brink (2017) heeft ontwerp richtlijnen en operationele uitgangspunten opgesteld voor het ontwerpen met stedelijk groene infrastructuur. Een gedeelte van de richtlijnen en uitgangspunten zijn relevant voor effectieve plaatsing van stedelijk groene infrastructuur. Deze richtlijnen en uitgangspunten zijn daarom opgenomen in de ontwerpvoorwaarden.

**Voorwaarde 3: De ontwerpstrategie moet wanneer relevant, ontwerpgerichtlijnen en operationele uitgangspunten van Klemm, Lenzholzer & van den Brink (2017) integreren voor effectieve hitte mitigatie.**

Naast de huidige ontwerpstrategieën is in het literatuuronderzoek in de probleemverkenning ook gekeken naar het verschil in effectiviteit van stedelijk groene infrastructuur en de invloed van fragmentatie, vormcomplexiteit en ventilatie op de effectiviteit. Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat er een groot verschil is in effectiviteit tussen de verschillende types stedelijk groene infrastructuur en dat vormcomplexiteit, fragmentatie en ventilatie van invloed zijn op de effectiviteit van stedelijk groene infrastructuur. Dit is opgenomen in de ontwerpvoorwaarden voor de ontwerpstrategie.

**Voorwaarde 4: De ontwerpstrategie moet rekening houden met het verschil in effectiviteit van de verschillende types stedelijk groene infrastructuur en de invloed van vormcomplexiteit, fragmentatie en ventilatie op de effectiviteit.**

Uit de probleemverkenning blijkt dat een goede monitoring en evaluatie van cruciaal belang is bij klimaat adaptief ontwerp om te zorgen voor effectieve en verantwoorde investeringen. In het geval van hittestress mitigatie is dit vooral goed terug te zien in het prioriteerkader van Norton et al. (2015) die opgenomen is in de ontwerpvoorwaarden. Het toevoegen van maatregelen waar weinig hittestress is, is zowel qua hitte stress mitigatie als investering ineffectief. Hiervoor is een analyse van hittestress in het ontwerpgebied nodig. Daarnaast is voor evaluatie van gekozen maatregelen en ontwerpkeuzes ook een impactbeoordeling van de gekozen maatregelen op hittestress nodig. Dit is vertaald naar de volgende ontwerpvoorwaarde.

**Voorwaarde 5: De ontwerpstrategie moet goede monitoring en evaluatie mogelijk maken door stappen op te nemen waarbij tools of methodes gekozen worden om te gebruiken voor het analyseren van hittestress in een ontwerpgebied en de impact van een ontwerp op de hittestress.**

## 4.2 Opstellen Concept Ontwerpstrategie

In dit gedeelte is de ontwerpstrategie opgesteld. De ontwerpstrategie is ontworpen en opgesteld op basis van de gestelde ontwerpvoorwaarden. In de volgende paragrafen zijn de ontwerpkeuzes toegelicht. De ontwerpstrategie is een concept ontwerpstrategie en wordt nog verbeterd door het toe te passen. De concept ontwerpstrategie is te vinden in Appendix B.3 en de definitieve ontwerp ontwerpstrategie in hoofdstuk 5.3.

### 4.2.1 Algemene Toelichting Ontwerpstrategie

De eerste ontwerpvoorwaarde is dat de ontwerpstrategie gefaseerd is per type stedelijk groene infrastructuur. Hiermee kan de ontwerpstrategie ook gedeeltelijk uitgevoerd worden mocht dit nodig of wenselijk zijn. De ontwerpstrategie bestaat uit de volgende fases:

- Fase 1: Voorbereiding
- Fase 2: Gras (Vervangen van stedelijke verharding)
- Fase 3: Heggen & Struiken
- Fase 4: Bomen
- Fase 5: Gevelgroen
- Fase 6: Groene Daken

De volgorde is gebaseerd op hoe ingrijpend het type stedelijk groene infrastructuur is. De meest ingrijpende fases komen als laatst. Zo kan tijdens het ontwerp met de resultaten van de voltooide fases een goede afweging gemaakt worden of de volgende fase uitgevoerd moet worden. Dit blijkt ook uit de probleembeschrijving waar de gemeente Arnhem aangeeft dat groen niet op straatniveau lastiger is te realiseren en ze daarom bij het ontwerp een goede afweging kunnen maken van de urgentie om stedelijk groene infrastructuur niet op straatniveau toe te voegen. Gevelgroen wordt een fase eerder toegepast aangezien het veel effectiever is in het mitigeren van stedelijke hitte op straatniveau.

De opgenomen stappen in de ontwerpstrategie zijn gericht op de plaatsing van stedelijk groene infrastructuur om een optimaal resultaat te behalen in hitte stress reductie. Stappen uit de literatuur zoals het maximaliseren van het koeleffect van huidige stedelijk groene infrastructuur zijn nuttig, echter kunnen deze stappen niet toegepast en geëvalueerd worden omdat er gekeken wordt naar het effect van de hoeveelheid en plaatsing van de verschillende types stedelijk groene infrastructuur. Deze stappen zijn daarom niet meegenomen in de strategie. Per ontwerpvoorwaarde is de implementatie in de strategie verder toegelicht.

#### 4.2.2 Toelichting Implementatie van Ontwerpvoorwaarden

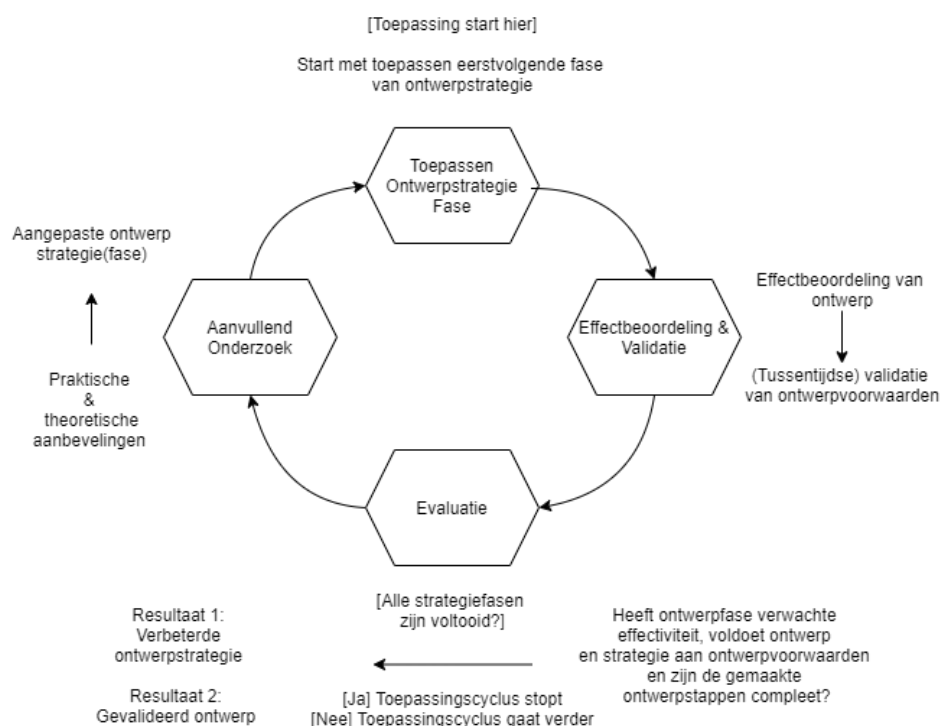
Hieronder in Tabel 3 is per ontwerpvoorwaarde de implementatie van de voorwaarde toegelicht.

Tabel 3: Implementatie Ontwerpvoorwaarden ontwerpstrategie

	Voorwaarde	Implementatie
1.	De ontwerpstrategie moet gefaseerd zijn met voor elke fase een type stedelijk groene infrastructuur en de fases moeten in volgorde van ingrijpendheid geplaatst worden.	De ontwerpstrategie bestaat uit 6 fases. 1 voorbereidingsfase met stappen die vooraf het plaatsen van stedelijk groene infrastructuur gemaakt moeten worden. Vervolgens bestaan de 5 fases uit de 5 typen stedelijk groene infrastructuur: gras, heggen & struiken, bomen, gevelgroen en groene daken in de genoemde volgorde.
2.	De ontwerpstrategie moet de relevante aspecten van het prioriteerkader van Norton et al. (2015) integreren voor effectieve hitte mitigatie.	Zoals gebleken uit de probleemverkenning zijn stap 2,4 en 5 relevant voor de ontwerpstrategie. Stap 2 en 4 passen in de voorbereidingsfase en 5 bij de fases waar stedelijk groene infrastructuur geplaatst wordt.
3.	De ontwerpstrategie moet wanneer relevant, ontwerprichtlijnen en operationele uitgangspunten van Klemm, Lenzholzer & van den Brink (2017) integreren voor effectieve hitte mitigatie.	De richtlijnen en uitgangspunten die in de probleemverkenning relevant zijn bevonden zijn verwerkt in de fases waar stedelijk groene infrastructuur geplaatst wordt.
4.	De ontwerpstrategie moet rekening houden met het verschil in effectiviteit van de verschillende types stedelijk groene infrastructuur en de invloed van vormcomplexiteit, fragmentatie en ventilatie op de effectiviteit.	De bevindingen uit de literatuur over invloed van de verschillende factoren op de effectiviteit van stedelijk groene infrastructuur zijn vertaald naar instructies en als bijgevoegd aan de fases waar stedelijk groene infrastructuur geplaatst wordt.
5.	De ontwerpstrategie moet goede monitoring en evaluatie mogelijk maken door stappen op te nemen waarbij tools of methodes gekozen worden om te gebruiken voor het analyseren van hittestress in een ontwerpgebied en de impact van een ontwerp op de hittestress.	De genoemde stappen zijn opgenomen in de voorbereidingsfase waardoor er analyses van hittestress gemaakt kunnen worden in het ontwerpgebied en een impactbeoordeling van ontwerpkeuzes gemaakt kan worden.

### 4.3 Toepassing & Toetsing

De concept ontwerpstrategie is hoogstwaarschijnlijk nog niet optimaal. Sommige stappen kunnen waarschijnlijk nog verder gespecificeerd worden en er kunnen ook nog enkele stappen missen. Om de concept ontwerpstrategie te verfijnen is het toegepast in een case studie ontwerp in de wijk Kronenburg in Arnhem. De resultaten van deze case studie zijn gepresenteerd in dit hoofdstuk. Het resultaat is voornamelijk een verbeterde ontwerpstrategie. Uit de resultaten komt ook een stedelijk groen infrastructuur ontwerp waarvan de impact op hittestress gekwantificeerd is. De impact kan impliciet ook deels gezien worden een indicator van de effectiviteit van de ontwerpstrategie. Omdat de toe te passen concept ontwerpstrategie nog verbeterd moet worden en ook nog niet gevalideerd is zal de ontwerpstrategie toegepast worden door een ontwerpcyclus weer afgeleid van de ontwerpend onderzoeken methode (Wieringa, 2014). Door een ontwerpcyclus te gebruiken kan de ontwerpstrategie gestructureerd geëvalueerd en wanneer nodig verbeterd worden. Het toepassen van de ontwerpstrategie is in principe ook een ontwerpproces. De gebruikte methode is hieronder weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3: Toepassingscyclus geadapteerd van Wieringa (2014)

De ontwerpstrategie wordt per fase toegepast in het iteratieve proces wat direct begint bij het toepassen van de eerste fase uit de ontwerpstrategie. In het iteratieve proces gebeuren er in principe twee dingen tegelijkertijd: Een stedelijk groene infrastructuur ontwerp wordt ontworpen met de ontwerpstrategie waarbij enkele praktische ontwerpseisen specifiek voor de context van het ontwerp gesteld zijn. Tegelijkertijd wordt de ontwerpstrategie ook geëvalueerd en verbeterd waar nodig met behulp van theoretische ontwerpseisen uit de literatuur om te garanderen dat de theorie uit het literatuuronderzoek goed is geïmplementeerd in de ontwerpstrategie. Ook wordt bij evaluatie gekeken per ontwerpfase of de ontwerpfase en de stappen compleet zijn, wanneer bijvoorbeeld stappen missen of een stap nog niet specifiek genoeg geformuleerd is kan het ontwerp niet voltooid worden of mogelijk tot een minder effectief ontwerp leiden.

Niet elke iteratie is gedetailleerd toegelicht. In het hoofdverslag is voor de toepassing en toetsing elk een samenvatting en conclusie gegeven.

### 4.3.1 Toepassing

De toepassing van de ontwerpstrategie is te uitgebreid om in het hoofdverslag op in te gaan. De toepassing is te vinden in Appendix B inclusief resulterend ontwerp. Hierbij worden alle fases en stappen van de ontwerpstrategie uitgewerkt waaronder het bepalen van de ontwerplocatie, effect beoordelingstool etc. De gemaakte keuzes bij de toepassing zijn niet ook daarom de beste keuze, in een andere context kan bijvoorbeeld de keuze vallen op een andere tool om de ontwerpen te maken en beoordelen op effectiviteit. Hieronder is een samenvatting gegeven van de toepassing en wat hier van geleerd is. Vervolgens is de resulterende ontwerpstrategie gepresenteerd.

#### 4.3.1.1 Conclusie Toepassing

De toepassing van de ontwerpstrategie was deels succesvol. De ontwerpstrategie heeft tot een ontwerp geleid die stedelijke hitte stress mitigeert. De impact was echter niet heel groot. De resultaten van de toetsing worden verder besproken in de volgende paragrafen. Door beperkingen in Tygron bij het ontwerpen, de gelimiteerde toepassing op een ontwerplocatie en beperkte tijd kon de toepassingscyclus niet volledig en succesvol afgerond worden. Bij het toepassen van de ontwerpstrategie zijn wel enkele onderdelen van de ontwerpstrategie aangepast:

- Het bepalen van een geschikte tool voor een analyse van blootstelling aan hittestress is verplaatst naar de stap waarbij een geschikte tool gekozen wordt voor het maken van een impactbeoordeling van een ontwerp. Dit is een logischere volgorde en zal vaak ook dezelfde tool zijn net als bij dit onderzoek.
- Bij het bepalen van een geschikte tool moet ook gekeken worden naar de mogelijkheid om gedetailleerde ontwerpen te analyseren zodat er geen beperkingen zijn bij het maken van een ontwerp.
- Een voorgestelde definitie voor zinloze verharding is aan de ontwerpstrategie toegevoegd
- De fases bestaand uit stedelijk groene infrastructuur en de fases bestaand uit stedelijk groene infrastructuur niet op straatniveau worden elk samengevoegd in een fase op basis van feedback uit de validatie naar bruikbaarheid van de ontwerpstrategie.
- Formuleringen van stappen zijn aangepast om zowel duidelijk als niet te uitgebreid te zijn.

Voorzichtig kan geconcludeerd worden dat de ontwerpstrategie op hittestress is voornamelijk afhankelijk van de mogelijkheden voor plaatsing van stedelijke infrastructuur. Hoe meer mogelijk is in het ontwerp qua plaatsing, hoe meer aanbevelingen uit de ontwerpstrategie over de optimale plaatsing overgenomen kunnen worden in het ontwerp. Bij de gekozen ontwerplocatie binnen Kronenburg was echter weinig ruimte voor de plaatsing van stedelijk groene infrastructuur zonder de hele indeling aan te passen en beperkingen bij Tygron als ontwerpsoftware. Om de conclusie volledig bewijzen moet de strategie toegepast worden in een andere situatie. Een aanbeveling voor effectieve hittestress mitigatie is dus het stellen van zo weinig mogelijk limiteringen bij het plaatsen van stedelijk groene infrastructuur. Bij de toepassing op Kronenburg was dit niet de limiterende factor, het was de beperkingen in de ontwerptool Tygron om de indeling binnen het ontwerpgebied gedetailleerd aan te passen. Een oplossing hiervoor kan zijn om een ontwerptool te gebruiken die gedetailleerde ontwerpen kan maken. Je verliest dan mogelijk wel de mogelijkheid om de hittestress in Tygron of andere tools accuraat te kunnen analyseren waarvoor de software weldegelijk geschikt voor is. Dit is meegenomen in de aanbevelingen voor verder onderzoek.

### 4.3.2 Toetsing

De toetsing is het resultaat van het toepassen van de ontwerpstrategie: een stedelijk groen infrastructuur ontwerp voor een deel van Kronenburg met de gekwantificeerde effectiviteit in hitte stress reductie van het ontwerp. De volledige toetsingsresultaten en het ontwerp kan gevonden worden in Appendix B.

#### 4.3.2.1 Resultaten

Hieronder in Tabel 4 zijn de kwantificatie van de impact op hittestress weergegeven na de ontwerpfasen bij het toepassen van de ontwerpstrategie:

Tabel 4: Resultaten Toetsing: PET Waarden in ontwerpgebied voor elke fase gemiddeld tussen 12u – 18u onder verschillende ventilatieomstandigheden

Ontwerpfase	Minimum	Maximum	Gemiddelde	Bereik	Standaard Deviatie
Huidige Situatie	40.99999	53.24738	47.42197	12.24739	4.868175
Alleen stedelijk groene infrastructuur op straatniveau	-0.45865 40.54134	-0.32851 52.91887	-2.07105 45.35092	12.37754	5.082582
Alle fasen voltooid	-0.46502 40.07632	-0.58016 52.33871	-0.23044 45.12048	12.26239	5.019812

Uit de resultaten blijkt dat elke fase de gemiddelde fysiologisch equivalente temperatuur afneemt gemiddeld over het hele ontwerpgebied. Ook de maximum en minimum temperaturen dalen. Dit bevestigt het koelend vermogen van stedelijk groene infrastructuur. Ook bevestigt het dat stedelijk groene infrastructuur op straatniveau, en voornamelijk bomen met grote boomkruinen, een hoger hittestress mitigerend vermogen hebben. De afname van hittestress en dus fysiologisch equivalente temperatuur is een stuk lager na het toevoegen van groene gevels en daken (-0.23044 °C PET tegenover -2.07105 °C PET). Over het algemeen is de daling ook niet heel erg significant, het toevoegen van stedelijk groene infrastructuur heeft niet als resultaat dat de gemiddelde fysiologisch equivalente temperatuur een gehele schaal lager is, zie Tabel 13. Gebaseerd op de paragrafen uit het volledige literatuuronderzoek in Appendix A.1 over gekwantificeerde effecten van stedelijk groene infrastructuur op hittestress zou je misschien verwachten dat er meer hittestress gerealiseerd kan worden. Er worden hogere waarden genoemd dan 2.1 °C. Deze waarden zijn echter wel gemiddeld over het hele gebied berekend. Maar er worden ook percentages genoemd over de afname van de gemiddelde fysiologische equivalente temperatuur over het onderzoeksgebied van de studie tot wel 13.6%. Bij de toepassing van de ontwerpstrategie is dit percentage niet behaald. Een waarschijnlijke oorzaak is door de vele parkeerplaatsen in het ontwerpgebied er nog genoeg plekken zijn in het uiteindelijke ontwerp waar weinig schaduw en dus veel hittestress is. De resultaten van de toepassing zijn ook besproken in de discussie en meegenomen in de aanbevelingen voor verder onderzoek.



## 5 Validatie

In dit hoofdstuk is de ontwerpstrategie gevalideerd. Er wordt een validatie van de ontwerpvoorwaarden gedaan. Hierbij is gekeken of de ontwerpstrategie aan de gestelde ontwerpvoorwaarden voldoet. Ook is de bruikbaarheid van de ontwerpstrategie gevalideerd. Dit is gedaan door een interview te houden met een ontwerper stedenbouw en landschap van de gemeente Arnhem.

### 5.1 Validatie Ontwerpvoorwaarden

In Tabel 5 hieronder is de validatie per ontwerpvoorwaarde weergegeven in de vorm van een discussie en een antwoord op de vraag of de ontwerpstrategie volledig aan de betreffende ontwerpvoorwaarde voldoet.

Tabel 5: Validatie van Ontwerpvoorwaarden

	Ontwerpvoorwaarde	Discussie	Voldaan?
1.	De ontwerpstrategie moet gefaseerd zijn met voor elke fase een type stedelijk groene infrastructuur.	Het opdelen van de ontwerpstrategie in fases maakt de ontwerpstrategie overzichtelijker. Een ontwerper kan snel kijken naar te maken stappen om bijvoorbeeld bomen te plaatsen gericht op hittestress beperking.	Ja
2.	De fases van de ontwerpstrategie moeten in volgorde van ingrijpendheid geplaatst worden.	De gekozen volgorde geeft vooral de mogelijkheid aan ontwerpers om te kijken of ingrijpende maatregelen zoals het aanleggen van gevelgroen na het ontwerpen van vorige fases nuttig is. Er kan zo heel doelgericht gevelgroen of groene daken aangelegd worden. Ook zien we in de resultaten per fase de bevindingen over de effectiviteit van de verschillende types bevestigd worden in de resultaten van de toetsing van de ontwerpstrategie.	Ja
3.	De ontwerpstrategie moet de relevante aspecten van het prioriteerkader van Norton et al. (2015) integreren voor effectieve hitte mitigatie.	De relevante stappen, het analyseren van de wijk, het prioriteren van straten / ontwerpgebieden en het identificeren van stedelijk groene infrastructuur locaties bleek een erg solide basis voor de ontwerpstrategie. Door de stappen kon er bij het toepassen er heel gericht stedelijk groene infrastructuur geplaatst worden met als doel hittestress beperking.	Ja
4.	De ontwerpstrategie moet wanneer relevant, ontwerprichtlijnen en operationele uitgangspunten van Klemm, Lenzholzer & van den Brink (2017) integreren voor effectieve hitte mitigatie.	Een groot aantal richtlijnen en uitgangspunten van deze studie waren niet direct gerelateerd aan effectieve hittebeperking of zijn erg algemeen. De relevante uitgangspunten zijn overgenomen, echter is lastig te zien aan de resultaten van de toetsing wat het effect hiervan is.	Deels
5.	De ontwerpstrategie moet rekening houden met het verschil in effectiviteit van de verschillende types stedelijk groene infrastructuur en de invloed van vormcomplexiteit, fragmentatie en ventilatie op de effectiviteit.	Deze bevindingen uit het literatuuronderzoek vormen de basis van de structuur na de voorbereidingsfase en zijn vertaald in specifieke instructies voor de meest optimale plaatsing voor hittestress beperking. Niet elke bevinding uit de literatuur is volledig getest bij de toepassing en toetsing. Met name omdat de ontwerpstrategie maar op een locatie is toegepast waarbij niet alle instructies van toepassing zijn geweest.	Deels

## 5.2 Validatie Bruikbaarheid

De bruikbaarheid van de ontwerpstrategie is gevalideerd door een interview af te nemen met een ontwerper stedenbouw en landschap van de gemeente Arnhem. Een stedenbouw en landschap ontwerper van de gemeente Arnhem valt in de doelgroep van de ontwerpstrategie en met het interview is geprobeerd er achter te komen wat de bruikbaarheid is van de ontwerpstrategie voor de doelgroep. Het volledige gesprek inclusief protocol kan gevonden worden in Appendix C.

Uit het interview blijkt dat ontwerpers bij stedenbouw en landschap van de gemeente Arnhem inderdaad tot de potentiële doelgroep van de ontwerpstrategie horen. Ze krijgen op dit moment al regelmatig opdrachten met als doel de vergroening van een stukje openbare ruimte in de stad. Deze opdrachten zullen in de toekomst nog vaker gegeven worden vanwege de uitvoering van de klimaatadaptatiestrategie. Ook worden hier afhankelijk van de context, voornamelijk de grootte en complexiteit, architectenbureaus en consultants voor ingehuurd. Dit impliceert dat consultants en architectenbureaus inderdaad ook tot de doelgroep van de ontwerpstrategie behoren. Een aspect van de ontwerpstrategie die al gebruikt wordt in de huidige aanpak bij het ontwerpproces van de gemeente Arnhem is het gebruiken van een tool om de hittestress in een ontwerpgebied te bepalen om hittegevoelige gebieden in het ontwerpgebied te vinden. Een tool is sinds kort beschikbaar voor ontwerpers van de gemeente Arnhem, echter wordt de tool door de geïnterviewde niet gebruikt om het effect op hittestress van ontwerpen te toetsen vanwege beperkte functionaliteit. Er wordt aangegeven dat een dergelijke tool wel graag gebruikt zou worden bij een toereikende functionaliteit. Op het moment wordt het beperken van hittestress door het plaatsen van stedelijk groen vooral toegepast op basis van ervaring en logisch nadenken. Wel is er klimaat adaptieve kennis beschikbaar via webinars en het team klimaatadaptatie binnen de gemeente Arnhem.

Over de bruikbaarheid van de strategie kan geconcludeerd worden dat bij stedenbouw en landschap de ontwerpstrategie niet daadwerkelijk als ontwerpstrategie stap voor stap uitgevoerd kan worden. Bij een ontwerp worden vele andere factoren meegenomen waar de ontwerpstrategie niet op gericht is. Echter is het wel geschikt als checklist of richtlijnen voor hittestress reductie met stedelijk groene infrastructuur. De ontwerpstrategie kan een ontwerper tijdens het ontwerp scherp houden en een voorbeeld geven hoe effectief hitte te reduceren. Ook is aangegeven dat de ontwerpstrategie achteraf als checklist gebruikt kan worden om te kijken of overall rekening mee is gehouden qua hitte reductie. Een suggestie voor verbetering is om stedelijk groene infrastructuur op straatniveau en niet op straatniveau te groeperen aangezien in de realiteit het vervangen van verharding / plaatsen van gras, heggen & struiken en bomen altijd een geheel is bij een ontwerp. Voor groene gevels en groene daken is het wel een toegevoegde waarde om vooraf te kunnen evalueren of een groene gevel bijvoorbeeld een toevoeging en goede investering is of dat er beter ergens nog bomen geplaatst kunnen worden. Deze feedback is teruggekoppeld en aangepast in de ontwerpstrategie. Wel is aan het begin van het gesprek aangegeven door de geïnterviewde aangegeven dat binnen de huidige werkwijze bij het toevoegen van een stedelijk groene infrastructuur element nog geen afweging wordt gemaakt of het een toegevoegde waarde is qua hitte reductie. Een andere aangegeven toegevoegde waarde van de ontwerpstrategie is dat het de communicatie rond het ontwerp kan verbeteren. Door op papier aan te tonen hoe het ontwerp bijdraagt aan hitereductie kan het helpen het verhaal te verkopen.

Er kan geconcludeerd worden dat de gemeente positief is over de ontworpen ontwerpstrategie. Wanneer de strategie gebruikt wordt als een stel richtlijnen of checklist voor effectieve hittemitigatie met stedelijk groene infrastructuur ziet de gemeente meerdere voordelen aan het gebruiken van de strategie bij het ontwerpproces.

## 5.3 Definitieve Ontwerpstrategie

Tabel 6: Definitieve Ontwerpstrategie

Fases	Stappen	Deelstappen	Toelichting & Richtlijnen		
Voorbereiding	Bepaal methode / tool om impact beoordeling te doen van gemaakt ontwerp en methode / tool voor analyse van ontwerpgebied op hittestress.	Bepaal tool en data beschikbaarheid om hittestress effect van ontwerp te bepalen zonder concessies op ontwerpfuncties	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De tool of methode voor een impact beoordeling van het ontwerp kan in de volgende fases gebruikt worden om het effect op hittestress beperking van de plaatsing van stedelijk groene infrastructuur te beoordelen.</li> <li>- De tool of methode voor het bepalen van hittegevoeligheid kan gebruikt worden voor het analyseren van hittestress en schaduw in de huidige situatie van het ontwerpgebied bij de derde stap van de voorbereiding fase.</li> <li>- Door de kenmerken van de wijk te identificeren en een 3d benadering te maken is de huidige situatie bekend en kan ook gebruikt worden als invoer voor de tools.</li> <li>- Deze stappen zijn grotendeels afhankelijk van de situatie, echter door de hittegevoeligheid te analyseren kan ingeschat worden welke ontwerpgebieden de meeste prioriteit hebben.</li> <li>- Door hittegevoeligheid en blootstelling in het ontwerpgebied te bepalen kan dit bij de plaatsing kan bij de plaatsing van stedelijk groene infrastructuur op straatniveau in de volgende fase ventilatie meegenomen worden.</li> <li>- Door de ventilatie in het ontwerpgebied te bepalen kan bij de plaatsing van stedelijk groene infrastructuur op straatniveau in de volgende fase ventilatie meegenomen worden.</li> </ul>		
		Bepaal tool en data beschikbaarheid om blootstelling en hittegevoeligheid te in ontwerpgebied te analyseren.			
		Kies geschikte hittestress indicator(en) voor impact beoordeling van ontwerp en hittegevoeligheid analyse in ontwerp gebied zonder concessies op			
	Identificeer kenmerken van de wijk.	Identificeer bestaande groene infrastructuur			
		Identificeer bebouwing			
		Maak een 3D benadering van de wijk.			
	Prioriteer straten / ontwerpgebieden op basis van blootstelling en hittegevoeligheid	Bepaal ontwerplocatiegrootte			
		Selecteer en prioriteer ontwerpgebieden op basis van ontwerplocatiegrootte en blootstelling en hittegevoeligheid			
	Identificeer mogelijke locaties voor stedelijk groene infrastructuur in ontwerpgebied.	Analyseer hittegevoeligheid en blootstelling binnen ontwerpgebied			
		Identificeer locaties waar geen groene infrastructuur geplaatst kan worden door bezetting.			
Bepaal ventilatie in ontwerpgebied.	Bepaal de heersende zomerse wind in het ontwerpgebied.				
	Bepaal invloed van gebouwen op de wind in ontwerpgebied.				
	Identificeer windkanalen				
Straatniveau	Vervang overbodige verharding met gras	Definieer overbodige verharding.	Suggestie voor definitie: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Te brede trottoirs (3 meter of breder)</li> <li>- Stedelijke verharde kunst</li> <li>- Verharde speelpleintjes</li> </ul>		
		Vervang de overbodig verharding bevonden bestrating met gras.			
	Plaats heggen & struiken	Bepaal geschikte plaatsen voor heggen & struiken	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Voor het hoogste gemiddelde koeleffect over het ontwerpgebied moet gras en heggen / struiken een zo laag mogelijke fragmentatie hebben en bomen een zo hoog mogelijke fragmentatie.</li> <li>- Wanneer een hogere maximum koeleffect in een gebied gewenst is ten koste van het gemiddelde koeleffect moet gras en heggen / struiken en bomen met een lage fragmentatie aangelegd worden.</li> <li>- Heggen / Struiken en Bomen moeten binnen het ontwerpgebied aangelegd worden met de hoogst mogelijke vormcomplexiteit.</li> <li>- Wanneer groene zones op straatniveau aangelegd worden in stroken moet de heersende zomerwindrichting parallel zijn</li> <li>-Bomen met een grote boomkruin hebben de hoogste effectiviteit, gevolgd door bomen met een kleine boomkruin, heggen &amp; struik en gras</li> </ul>		
		Kies meest optimale vorm van heggen & struiken.			
		Plaats heggen en struiken op geschikte plaatsen met optimale vorm			
	Plaats Bomen	Bepaal geschikte plaatsen voor bomen.			
		Kies meest optimale vorm bomenplaatsing.			
		Plaats bomen op geschikte plaatsen met optimale vorm.			
	Niet op straatniveau	Plaats gevelgroen op gebouwen		Bepaal geschikte gebouwen voor gevelgroen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De effectiviteit van hittestress mitigatie door stedelijk groene infrastructuur niet op straatniveau is significant minder. Om een goede afweging te maken voor het plaatsen is een impactbeoordeling belangrijk.</li> <li>- Gevelgroen heeft een hoger hittestress beperkend vermogen dan groene daken waarvan het effect beperkt is.</li> <li>- Plaatsing kan een toegevoegde waarde zijn wanneer stedelijk groene infrastructuur op straatniveau in de buurt van de gevel of het dak niet mogelijk is.</li> </ul>
				Bepaal locaties waar gevelgroen nodig is.	
Bepaal de dekkingsgraad van het gevelgroen.					
Plaats gevelgroen met de gekozen dekkingsgraad op de gebouwen					
Plaats groene daken op gebouwen		Bepaal secties van het ontwerpgebieden waar groene daken impact kunnen hebben.			
		Zoek uit welke daken in deze secties geschikt zijn voor groene daken.			
Plaats groene daken.					

## 6 Discussie

In dit hoofdstuk is een discussie gepresenteerd over de ontwerpstrategie, de toepassing van de ontwerpstrategie en de toegevoegde waarde van het onderzoek.

### 6.1 Discussie Ontwerpstrategie

Uit de validatie van de ontwerpvoorwaarden is gebleken dat de ontwerpstrategie grotendeels aan de gestelde ontwerpvoorwaarden voldoet. Dit betekent dat de ontwerpstrategie bevindingen uit de probleemverkenning over hoe effectief hittestress te mitigeren met stedelijk groene infrastructuur verwerkt zijn in de ontwerpstrategie. Aangenomen kan worden dat dit resulteert in een ontwerp dat effectief hittestress mitigeert. Dit blijkt ook uit de resultaten van de toepassing. Echter kan niks gezegd worden over de toegevoegde effectiviteit door het gebruiken van de ontwerpstrategie in vergelijking met wanneer je de ontwerpstrategie niet gebruikt. Ook kan niet met zekerheid iets gezegd worden of er verbeteringen mogelijk zijn die de ontwerpstrategie nog effectiever of beter uitvoerbaar kunnen maken. Doordat de ontwerpstrategie op een klein ontwerpgebied is toegepast in een specifieke context zijn een aantal aspecten van de ontwerpstrategie niet toegepast. Hierdoor is de kans aanwezig dat ontwerpstrategie op deze aspecten nog verbeterd kan worden. Met name door weinig ruimte voor stedelijk groene infrastructuur en de grootte van het ontwerpgebied zijn een aantal richtlijnen uit de ontwerpstrategie niet toegepast en getoetst. Aan de andere kant is het waarschijnlijk ook niet mogelijk om in een ontwerpgebied alle richtlijnen voor plaatsing van stedelijk groene infrastructuur toe te passen. Om met meer zekerheid de kwaliteit van de ontwerpstrategie te beoordelen zal de ontwerpstrategie in nog meer ontwerpgebieden en verschillende contexten toegepast moeten worden.

### 6.2 Discussie Toepassing

Het toepassen van de ontwerpstrategie heeft geresulteerd in verbeteringen aan de ontwerpstrategie en stedelijk groen infrastructuur waarbij hittestress is verminderd. Het gekwantificeerde effect bedroeg ongeveer 2 °C gemiddeld over het ontwerpgebied. Hoewel in de resultaten van het literatuuronderzoek veel grotere afnames van hittestress waargenomen zijn ging dit om geconcentreerde afnames en niet over een gemiddelde van een heel ontwerpgebied. De genoemde percentuele dalingen van de gemiddelde fysiologisch equivalente temperatuur zijn niet gehaald. Een waarschijnlijke oorzaak is grote oppervlakken in het ontwerpgebied waar geen stedelijk groene infrastructuur geplaatst is vanwege parkeerplaatsen.

De toepassing van de ontwerpstrategie met als doel het verbeteren van de ontwerpstrategie is succesvol aangezien meerdere aanpassingen zijn gemaakt. Het creëren van een ontwerp waarvan de impact op hittestress gekwantificeerd is, is uiteindelijk beperkter uitgevoerd dan de intentie was. De ontwerptool Tygron bleek beperkter dan uit onderzoek naar een geschikte tool is gebleken. Bij het onderzoek is namelijk niet uitgebreid gekeken naar de ontwerpfunctionaliteit van de tool. Het bepalen van hittestress indicatoren in het ontwerpgebied en het visualiseren hiervan werkte wel zoals verwacht. Echter was de 3d benadering van het model incompleet, de wegen en voetpaden waren bijvoorbeeld niet volledig correct gemodelleerd. Ook was de ontwerpfunctionaliteit binnen de tool beperkt. Met name bij vervangen van verharding en het plaatsen van gras, heggen & struiken en gevelgroen. Het is daarom niet gelukt om gedetailleerd ontwerp te creëren. Hierdoor konden ook enkele praktische voorwaarden aan een stedelijk groen infrastructuur ontwerp niet voldaan worden of gevalideerd worden. Ook moeten de gekwantificeerde resultaten van het ontwerp daarom gezien worden als een indicatie van de impact op hittestress, en niet als absoluut getal.

### 6.3 Discussie Bruikbaarheid Ontwerpstrategie

Bij de validatie van het onderzoek is ook gekeken naar de bruikbaarheid van het onderzoek. Deze inschatting is gemaakt op basis van een interview met een medewerker Stedenbouw en Landschap van de gemeente Arnhem. Hoewel een goede inschatting gemaakt is kunnen worden op basis van dit interview, is de betrouwbaarheid van deze inschatting van de bruikbaarheid niet heel betrouwbaar doordat een enkel interview is gehouden. De doelgroep van de ontwerpstrategie is breder gebleken dan enkel de gemeente Arnhem, en dan specifiek een medewerker van stedenbouw en landschap. Voor een meer betrouwbare inschatting hadden meer interviews gehouden moeten worden binnen en buiten de gemeente Arnhem.

### 6.4 Toegevoegde Waarde Onderzoek

In dit onderzoek is specifiek gekeken naar hittestress mitigatie door het plaatsen van stedelijke infrastructuur. De ontworpen ontwerpstrategie is ook volledig gericht op het zo effectief mogelijk mitigeren van hittestress door het plaatsen van stedelijke infrastructuur. Het hittestress mitigerend vermogen van stedelijk groene infrastructuur is een relatief nieuwe onderzoeksonderwerp in de literatuur en een deel van de kennis die de afgelopen jaren hierover is gepubliceerd is geïntegreerd in een ontwerpstrategie. De toepassing van de ontwerpstrategie geeft vervolgens een inschatting van het effect van een ontwerp gemaakt met de ontwerpstrategie op hittestress in de context van Arnhem.

## 7 Conclusies & Aanbevelingen

In het laatste hoofdstuk van dit verslag is een samenvatting gegeven van de conclusies van dit onderzoek. Ook zijn aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek naar aanleiding van dit onderzoek en de resultaten.

### 7.1 Conclusies

Er is geconcludeerd dat een ontwerpstrategie specifiek gericht op het effectief mitigeren van stedelijke hittestress ontbreekt bij de doelgroep gemeenten consultancies en architectenbureaus. Deze doelgroep zal bij het uitvoeren van klimaatadaptatiestrategieën stedelijke hittestress moeten mitigeren, o.a. door het plaatsen van stedelijk groene infrastructuur. Gebleken is dat veel kennis over effectiviteit van verschillende groenmaatregelen maar beperkt vertaald wordt naar bruikbare kennis in stedelijk ontwerp of ontwerpstrategieën. Het ontwerpen van een ontwerpstrategie gericht op stedelijke hitte mitigatie moet bij dragen aan het toepassen van deze kennis. Deze kennis bestaat uit ontwerprichtlijnen, een prioriteerkader en kennis over effectiviteit van typen stedelijk groene infrastructuur en de invloed van vormcomplexiteit, fragmentatie en ventilatie op hittestress mitigatie door stedelijk groene infrastructuur. Deze kennis is geïntegreerd in de ontwerpstrategie die toegepast is op de wijk Kronenburg in Arnhem. Het resulterende ontwerp deed de fysiologisch equivalente temperatuur met ongeveer 2.1 °C gemiddeld dalen over het ontwerpgebied. Deze daling is enigszins lager dan verwacht op basis van de literatuur. Op basis van dit resultaat zijn aanbevelingen voor verder onderzoek gedaan.

Over de bruikbaarheid van de ontwerpstrategie kan geconcludeerd worden dat voor de meeste doelgroepen de ontwerpstrategie waarschijnlijk niet volledig stap voor stap uitgevoerd kan worden. Vooral omdat bij ontwerpen in de openbare ruimte er andere doelen en belangen zijn dan hittestress mitigatie. Ook wordt niet gebruikt gemaakt van een ontwerpstrategie volgens een stappenplan. De ontwerpstrategie is vooral van toegevoegde waarde als een set richtlijnen en / of checklist voor hittestress mitigatie met stedelijke groene infrastructuur. Het bepalen van hittegevoeligheid in een ontwerplocatie en het maken van een impactbeoordeling van ontwerpkeuzes kan bijdragen aan het maken van betere afwegingen tijdens het ontwerp en effectieve hittestress mitigatie. Een beperking is dat op dit moment het er op lijkt dat de meeste tools nog niet toereikend genoeg zijn voor gedetailleerd ontwerp. Dit is zowel de ervaring bij de toepassen van de ontwerpstrategie in dit onderzoek als bij de gemeente. De ontwerpstrategie kan verder bijdragen aan de communicatie bij het verkopen van een ontwerp voor vergroening, o.a. omdat het effect op hittestress beter gecommuniceerd of aangetoond kan worden.

### 7.2 Aanbevelingen

Vier aanbevelingen voor verder onderzoek naar aanleiding van dit onderzoek zijn hieronder voorgesteld. Ten eerste kan de ontwerpstrategie nog verder geëvalueerd worden en mogelijk verbeterd worden door het toe te passen op meerdere ontwerpgebieden in verschillende contexten. Hierdoor zullen veel meer aspecten uit de ontwerpstrategie toegepast worden en kan de effectiviteit van de ontwerpstrategie beter ingeschat worden. Een tweede suggestie voor verder onderzoek is om de toegevoegde waarde van de ontwerpstrategie verder te onderzoeken door een of meerdere cases te bekijken waar eerst de gebruikelijke aanpak toegepast wordt bij een opdracht voor vergroening in de openbare ruimte en als vergelijking ook vervolgens de ontwerpstrategie gebruiken op hetzelfde ontwerpgebied. Een derde aanbeveling is het onderzoeken hoe de ontwerpstrategie het best geïntegreerd kan worden in de huidige aanpak van vergroeningsopdrachten bij de verschillende doelgroepen waarbij alle verschillende belangen meegenomen worden, en niet alleen hittestress mitigatie. Een laatste suggestie is om te onderzoeken of er een geschikte tool of methode is, of die te ontwikkelen om gedetailleerde ontwerpen voor de publieke ruimte te maken en deze te analyseren op impact op hittestress.

## 8 Bibliografie

- Albers, R., Bosch, P., Blocken, B., Dobbelsesteen, A. v., Hove, L. v., Spit, T., . . . Rovers, V. (2014). Overview of challenges and achievements in the climate adaptation of cities and in the Climate Proof Cities program. *Building and Environment* 83, 1-10.
- Anderson, S. (2013, October). Assessing the effectiveness of climate adaptation. *IIED opinion series*.
- Boezeman, D., & Kooij, H. (2015). Heated Debates: The Transformation of Urban Warming into an Object of Governance in the Netherlands. *Evolutionary Governance Theory*, 185-203.
- Brown, R. (2010). *Design with microclimate: the secret to comfortable outdoor spaces*. London: Island Press.
- CDC. (2020). *Heat Stress*. Opgehaald van Center for Disease Control and Prevention: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/default.html>
- Demezure, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., . . . Faehnle, M. (2014, Decemb). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management* 146, 107-115.
- EPA. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of ontwerpstrategies Urban Heat Island Basics*. Washington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- Gemeente Arnhem. (2020). ontwerpstrategie *Klimaatadaptatie Arnhem 2020-2030*. Arnhem: Gemeente Arnhem.
- IPCC. (2014). *AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014*. Switzerland: World Meteorological Organization.
- ISO. (2015). *ISO 7730:2005*. Opgehaald van Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria: <https://www.iso.org/standard/39155.html>
- Jänicke, B., Meier, F., Hoelscher, M., & Scherer, D. (2014). Evaluating the Effects of Façade Greening on Human Bioclimate in a Complex Urban Environment. *Advances in Urban Biometeorology*.
- Klemm, W., Heusinkveld, B., Lenzholzer, S., & van Hove, B. (2015). Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort. *Landscape and Urban Planning* 138, 87-98.
- KNMI. (2020). *Hittegolven*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/lijsten/hittegolven>
- Larsen, L. (2015). Urban climate and adaptation ontwerpstrategies. *Frontiers in Ecology and the Environment* 13, 486-492.
- Lobaccaro, G., & Acero, J. (2015). Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. *Urban Climate* 14, 251-267.
- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2007). Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 51, 323-334.



- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2010). Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 54, 131-139.
- Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S., & Pretzsch, H. (2015). Structure and ecosystem services of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in urban environments. *Urban Forestry & Urban Greening* 14, 1110-1121.
- Norton, B., Coutts, A., Livesley, S., Harris, R., Hunter, A., & Williams, S. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* 134, 127-138.
- Perini, K., & Magliocco, A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening* 13, 495-506.
- Pötz, H., Bleuze, P., & Alleg, H. (2010). *Vormgeven aan stedelijk water*. Nijmegen: Sun Uitgeverij.
- Revi, A., Satterthwaite, D., Fernando, A., & Corfee-Morlot, J. (2014). *Urban Areas in Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- RIVM. (2019). *Ontwikkeling Standaard Stresstest Hitte*. Den Haag: Ministerie van Volksgezondheid en Milieu.
- Skelhorn, C., Lindley, S., & Levermore, G. (2014). The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning* 121, 129-140.
- Sodoudi, S., Zhang, H., Chi, X., Müller, F., & Li, H. (2018). The influence of spatial configuration of green areas on microclimate and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening* 34, 85-96.
- Steenefeld, G., Koopmans, S., Heusinkveld, B., van Hove, L., & Holtslag, A. (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 116, 433-438.
- U.S. Department of Health and Human Services. (1989). *The Public Health Consequences of Disasters 1989*. Atlanta: Centers for Disease Control.
- UIOWA. (2020). *Heat Stress*. Opgehaald van University of Iowa: <https://ehs.research.uiowa.edu/occupational/heat-stress>
- Vereniging van Nederlandse Gemeenten. (2020). *Raadgever Klimaatbestendige gemeenten*. Opgehaald van VNG: <https://vng.nl/artikelen/raadgever-klimaatbestendige-gemeenten>
- Wieringa, R. (2014). *Design science methodology for information systems and software engineering*. Springer.
- Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C., & Pauleit, S. (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry & Urban Greening* 20, 305-316.

## Appendix

### A Literatuurstudie Probleemverkenning

#### A.1 Volledige Literatuurstudie naar stedelijk groene infrastructuur inclusief kwantificatie van effectiviteit

##### A.1.1 Gras

Wanneer het vegetatie type gras is, is de gemiddelde koelcapaciteit van een of meerdere lappen grond of stroken met gras niet heel groot. Een of meerder lapjes grond of stroken gras van 10cm hoog met bij elkaar een oppervlak van 2500 m<sup>2</sup> kan tussen 31.8-74.4% (afhankelijk van de fragmentatie en oriëntatie) van een oppervlakte van 10000 m<sup>2</sup> met 1.5 °C of meer verkoelen om 14:00u bij 25.4 °C. Gras van 50cm hoog heeft een percentage tussen de 32.8-70.9%. Het gemiddelde koeffect van gras van 10 en 50cm ligt rond de 1.5 °C en verschilt nauwelijks van elkaar (Soudoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018). Gras heeft een verkoelend effect, echter is dit het minst van alle typen stedelijk groene infrastructuur op straatniveau. Het verschil tussen hoog en laag gras is insignificant.

##### A.1.2 Heggen & Struiken

Wanneer het vegetatie type heggen of struiken zijn, is de gemiddelde koelcapaciteit van een of meerdere lappen grond of stroken met heggen en struiken niet heel groot. Een of meerder lapjes grond of stroken met heggen en struiken met bij elkaar een oppervlak van 2500 m<sup>2</sup> kan tussen 32.4-79.2% (afhankelijk van de fragmentatie en oriëntaties) van een oppervlakte van 10000 m<sup>2</sup> met 1.5 °C of meer verkoelen om 14:00u bij 25.4 °C. Het gemiddelde koeffect van gemiddelde heggen en struiken ligt ongeveer rond de 1.6 °C (Soudoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018). Heggen & Struiken hebben een duidelijk verkoelend effect dat meer is dan het verkoelend effect van gras. Het verschil is echter klein.

##### A.1.3 Bomen

Studies tonen aan dat bomen belangrijk zijn voor de aanpassing van het stadsklimaat door te zorgen voor schaduw en verdamping. Bomen verminderen meestal de oppervlaktetemperatuur, maar kleine verlagingen van de luchttemperatuur kunnen ook worden veroorzaakt door stadsbomen. (Skelhorn, Lindley, & Levermore, 2014) De effectiviteit is gerelateerd aan de afmetingen van de bomen en de bladoppervlakken (Moser, Rötzer, Pauleit, & Pretzsch, 2015). Straten met een hoge boombedekking hebben gemiddeld een globetemperatuur tot 4,8 °C lager dan in straten zonder bomen. De studie vond dat 10% boombedekking de globetemperatuur in een straat met ongeveer 1 °C verlaagt. Daarom worden grote boomkruinen aanbevolen in het stedelijk ontwerp. (Klemm, Heusinkveld, Lenzholzer, & van Hove, 2015). Effectieve en efficiënte hittemitigatie met stedelijk groene infrastructuur concentreert zich op het verwarmen van hotspots in de stad, geeft prioriteit aan het aanplanten van bomen in die hotspots om de binnenkomende zonnestraling op kunstmatige oppervlakken te verminderen en om de evapotranspiratieve koeling te verhogen op plaatsen die door voetgangers worden bezocht. (Zölch, Maderspacher, Wamsler, & Pauleit, 2016).

Bij bomen is de gemiddelde koelcapaciteit zeer afhankelijk van de grootte van de boomkruin. Een of meerder lapjes grond of stroken met bomen met een gemiddeld kleine boomkruin met bij elkaar een oppervlak van 2500 m<sup>2</sup> kan tussen 34.6-82.1% (afhankelijk van de fragmentatie en oriëntatie) van een oppervlakte van 10000 m<sup>2</sup> met 1.5 °C of meer verkoelen om 14:00u bij 25.4 °C. Bomen met een gemiddeld grote boomkruin hebben een percentage tussen 92.0-100%. Het gemiddeld koeffect van een boom met kleine boomkruin ligt rond de 1.8°C en dat van een boom met grote boomkruin is gemiddeld ongeveer 4.6 °C. Een significant verschil met alle andere typen stedelijk groen infrastructuur. Echter is het verschil in gemiddeld koeffect bij een boom met grote boomkruin wel heel groot onder de verschillende ruimtelijke configuraties (verschil van ong. 3.8 °C)

ten opzichte van alle andere groene infrastructuur op straatniveau (verschil bij allen kleiner dan 0.4 °C) (Soudoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018). Er kan geconcludeerd worden dat bij bomen met een grote boomkruin de plaatsing en omgevingsfactoren van veel meer invloed zijn op het koeffect dan bij andere soorten groene infrastructuur op straatniveau.

Bij een mix van bomen in een stedelijk groen infrastructuur ontwerp is gebleken dat een groen dekking van 23.6% (realistisch percentage) een gemiddelde daling van 10.3 % fysiologische equivalente temperatuur op straatniveau kan veroorzaken in zowel het huidige klimaat en een toekomstig klimaat. Bij een mix van bomen met een groen dekking van 35.6% (maximaal percentage) kan een gemiddelde daling van 13.0% & 13.6% fysiologische equivalente temperatuur op straatniveau veroorzaken in het huidige klimaat en een toekomstig klimaat respectievelijk. Bomen blijken effectiever in het mitigeren van stedelijke hitte dan gevelgroen en groene daken (Zölch, Maderspacher, Wamsler, & Pauleit, 2016).

#### *A.1.4 Gevelgroen*

Van groene gevels is aangetoond dat ze de gemiddelde stralingstemperatuur verlagen (Jänicke, Meier, Hoelscher, & Scherer, 2014). Groene gevels zijn daarom geschikt om hitte te mitigeren. Met name in gebieden waar extra bomen geen optie zijn vanwege de dichtheid van de gebouwen en concurrerende toepassingen.

Bij het toevoegen van groene gevels in een stedelijk infrastructuur ontwerp is gebleken dat een dekking op de gevels van 12.3% (realistisch percentage) een gemiddelde daling van 5.1 % fysiologische equivalente temperatuur op straatniveau kan veroorzaken in zowel het huidige klimaat en een toekomstig klimaat. Bij een mix van bomen met een groen dekking van 19.3% (maximaal percentage) kan een gemiddelde daling van 9,8% fysiologische equivalente temperatuur veroorzaken in het huidige en een toekomstig klimaat (Zölch, Maderspacher, Wamsler, & Pauleit, 2016).

#### *A.1.5 Groene Daken*

Groene daken kunnen bijdragen aan het mitigeren van stedelijke hitte en verbeteren van het thermisch comfort, maar de effecten van groene daken zijn kleiner in het verbeteren van het thermisch comfort in de stad dan de vegetatie op straatniveau (Perini & Magliocco, 2014). Wat de aanleg van de groendaken betreft, is het voordeel in termen van vermindering van de hittestress binnen de stedelijke canyon in alle scenario's zeer gering, waarbij de PET-waarden hooguit met ongeveer 1 °C worden gereduceerd. De grootste reducties doen zich voor in de compacte middenbouw en de open hoogbouw van de stad (Lobaccaro & Acero, 2015). Toch zijn groene daken effectiever in het verminderen van de koellast van gebouwen; dit is een belangrijk aspect omdat het in zeer dichte stedelijke gebieden door ruimtegebrek wellicht niet mogelijk is om meer vegetatie op de grond toe te voegen, ook al heeft stedelijk groen infrastructuur op straatniveau een hoger positief effect op de buitentemperatuur en het thermische comfort in de zomer (Perini & Magliocco, 2014).

Bij het toevoegen van groene daken in een stedelijk infrastructuur ontwerp is gebleken dat een groene dekking op de daken van 17.8% (realistisch percentage) een gemiddelde daling van 0.0 % fysiologische equivalente temperatuur op straatniveau kan veroorzaken in zowel het huidige klimaat en een toekomstig klimaat. Bij een groen dak dekking in het ontwerp van 55.8% (maximaal percentage) kan een gemiddelde daling van 0.5% en 0.0% fysiologische equivalente temperatuur veroorzaken in het huidige en een toekomstige klimaat respectievelijk.

\*Alle genoemde percentages en graden Celsius zijn in het onderzoek bepaald om 2 uur 's middags.

## A.2 Volledige Literatuurstudie naar invloed van fragmentatie, vormcomplexiteit en ventilatie op effectiviteit stedelijk groene infrastructuur inclusief definities en uitleg

### A.2.1 Fragmentatie

De invloed van fragmentatie van stedelijk groene infrastructuur is afhankelijk van het type vegetatie. Een geschikte indicator voor fragmentatie van groene oppervlakken is de randdichtheid in m/ha. Deze is hieronder weergegeven in vergelijking 1:

$$RD = \frac{10000}{A} * \sum_{i=1}^n r_i \quad (1)$$

Waar:

A = Oppervlakte ontwerpgebied

n = aantal randen van groengebieden

r<sub>i</sub> = lengte van rand

Het bepalen van de randdichtheid en dus fragmentatie van stedelijk groene infrastructuur is als de groene oppervlakken (waar verharding vervangen is door groene infrastructuur) is dus mogelijk met rechthoekige oppervlakten, echter versimpelde rechthoekige oppervlakten zijn ook een optie aangezien het om een indicatie betreft. Wanneer de lijndichtheid hoger is betekent dit meer fragmentatie van groene oppervlakken.

Wanneer het vegetatietype bomen met een grote boomkruin is, is de koelcapaciteit hoogstwaarschijnlijk in elke configuratie voldoende. Het gemiddelde koeleffect, dus het koeleffect over het hele ontwerpgebied genomen, van bomen groeit naarmate de versnippering van de groengebieden toeneemt, omdat er meer schaduw en interactie is. Wanneer het vegetatietypen heggen / struiken of gras is, is de koelcapaciteit van een configuratie met een enkele geconcentreerde plek, dus zonder fragmentatie, te klein voor een significant gemiddeld koeleffect over het hele gebied. In dit geval neemt in tegenstelling tot bij bomen het gemiddelde koeleffect over het gebied af naarmate de fragmentatie van de groengebieden toeneemt, omdat het oppervlakte van een enkele plek kleiner wordt.

Wat het maximale koeleffect betreft, dus het hoogste koeleffect ergens in het ontwerpgebied, presteert stedelijk groene infrastructuur met een lagere fragmentatie in de meeste gevallen beter. Want stedelijk groene infrastructuur ontwerpen met een meer geïntegreerde indeling kunnen een lagere centrale luchttemperatuur bereiken. Een lange rechtlijnige strook groen met de oriëntatie evenwijdig aan de windrichting zorgt voor het sterkste koeleffect. De bomen met een grote boomkruin hebben het beste koeleffect. De combinatie van bomen met een grote boomkruin en groenstroken langs de windrichting zou de grootste verbetering van het microklimaat en het thermisch comfort kunnen bereiken (Soudoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018).

### A.2.2 Vormcomplexiteit

Ook de vormcomplexiteit heeft invloed op de effectiviteit van stedelijk groene infrastructuur. Een goede indicator voor de vormcomplexiteit is de landschap vorm index ontworpen door Patton (1975). De formule is hieronder weergegeven in vergelijking 2 (Patton, 1975).

$$LVI = \frac{P_t}{2\sqrt{\pi * A}} \quad (2)$$

Waar:

$P_t$  = Totale perimeter inclusief randen in het ontwerpgebied

A = Oppervlakte ontwerpgebied

Een hoge LVI waarde betekent een hoge vormcomplexiteit.

Een stedelijk groen infrastructuur ontwerp met een hogere vormcomplexiteit zoals lange rechte stroken groen vormt een lagere gemiddelde luchttemperatuur in vergelijking met met een lagere vormcomplexiteit zoals een gestippeld patroon met kleine vierkanten. Omdat het groen met een complexere vorm zorgt voor meer interactie met het omliggende stadsgebied.

### A.2.3 Ventilatie

De ventilatie van de groene zones beïnvloedt het microklimaat en het thermisch comfort van de mens, vanwege het effect ervan op de warmteafvoer. De richting van de strookvormige groene zones kan de ventilatie beïnvloeden. Wanneer de richting van de groene gordel evenwijdig aan de heersende windrichting is, is de ventilatieconditie beter, er worden sneller windstromen gevormd. Wanneer de groene gordel daarentegen loodrecht op de heersende wind stond, was de ventilatieconditie slechter, omdat er meer luchtstroom werd geblokkeerd door de overkappingen van de vegetatie (Sodoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018).

### A.3 Ontwerprichtlijnen Klemm, Lenzholzer & van den Brink (2017)

Klemm, Lenzholzer & van den Brink (2017) hebben een onderzoek gedaan door middel van ontwerpstudies om evidence-based richtlijnen voor stedelijk groen te ontwerpen. De paper presenteert richtlijnen voor de stads-, park- en straatschaalniveaus en vertaalt de micro klimatologische wetenschappelijke kennis naar richtlijnen en operationele principes die nodig zijn voor effectieve implementatie van stedelijk groene infrastructuur (Klemm, Lenzholzer, & van den Brink, 2017). Voor dit onderzoeksvoorstel is voor de stad- en straatschaal relevant, die te zien zijn in Tabel 7 in Appendix A.3.

Tabel 7: Overzicht translatie wetenschappelijke kennis naar ontwerprichtlijnen en operationele uitgangspunten (Klemm, Lenzholzer, & van den Brink, 2017)

Schaalniveau en bron	Microklimaat gerelateerd wetenschappelijk bewijs	Herziene ontwerprichtlijnen voor klimaat adaptief stedelijke groene infrastructuur	Operationele uitgangspunten
Stad (Klemm, Heusinkveld, Lenzholzer, & van Hove, 2015)	Mensen ervaren over het algemeen stedelijk groen als thermisch comfortabel en maken gebruik van groen ruimtes op warme zomerdagen. In termen van luchttemperatuur zijn parken koele plekken vergeleken met het stadscentrum.	Onderhoud en verbeter een netwerk van onderling verbonden groene ruimten in steden, inclusief alle soorten stedelijk groene infrastructuur (groene elementen en groene ruimten in particuliere en openbare ruimten).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effectieve implementatie van straatbomen (in plaats van bomen overall) afhankelijk van de specifieke kenmerken van het terrein (hoogte-breedteverhouding, oriëntatie op de zon)</li> <li>- Schaduw is het meest nodig in periodes met de hoogste straling (12:00 – 16:00)</li> <li>- Loofbomen hebben de voorkeur (schaduw tijdens de zomer/straling tijdens de winter)</li> <li>- In straten met druk verkeer: vermijd verstoring van de verkeersstromen om veiligheidsredenen en vermijd het 'tunneleffect' door het creëren van ruimte voor windcirculatie tussen de boomkruinen</li> <li>- Gebruik een soort die bestand is tegen hitte, droogte, kou en zout (voor ijzige wegen)</li> <li>- Passende omstandigheden bij het planten en effectief onderhoud (incl. voldoende ruimte voor het wortelstelsel, van hoge kwaliteit grond, voldoende irrigatie tijdens zomertijd)</li> </ul>
	Mensen zonder privé-buitenruimtes en ouderen (en gezinnen met jonge kinderen) maken meer gebruik van groenvoorzieningen in de directe omgeving van hun huis.	De aanwezigheid en / of toegankelijkheid garanderen van groene ruimten in buurten zonder of met minimale privé-buitenruimten.	
	Het groene gedeelte van de bebouwde omgeving aan de windzijde van een park beïnvloedt de thermische omstandigheden van parken.	Verhoog het groene aandeel in steden (inclusief private en publieke groenelementen en groenvoorzieningen) aan de windzijde van de heersende zomerwindrichting en houd koude luchtcorridors open.	
Straat (Klemm, Heusinkveld, Lenzholzer, & van Hove, 2015)	Een 10% boombedekking in een straat verlaagt de globetemperatuur ongeveer met 1 °C	Plaats bomen met grote overkappingen in straten met hoge zonnestraling.	
	Mensen zijn zich bewust van hun huidige thermische comfort (afhankelijk van hun persoonlijke situatie) en passen zich aan in het geval van ongemak (verandering van locatie)	Creëer diversiteit aan microklimaten (zon/schaduw) in straat canyons om de keuzes van mensen te verbeteren van op welke plaatsen ze willen lopen.	
	De geïnterviewden voelen zich thermisch comfortabeler. in straten met groen. Esthetische waardering voor straatgroen verbetert het gevoel van thermisch comfort.	Implementeer groene elementen in straat canyons op verschillende hoogtes (inclusief publieke en private ruimtes) om de thermische perceptie van de voetgangers te verbeteren.	

## B Toepassing & Toetsing Ontwerpstrategie – Case Studie Kronenburg

In deze appendix is de toepassing en toetsing van de ontwerpstrategie stap voor stap doorlopen en de belangrijkste aspecten hiervan zijn gedocumenteerd in deze Appendix.

### B.1 Ontwerprandvoorwaarden

In Figuur 3 is te zien dat ook aan de toepassing van de ontwerpstrategie randvoorwaarden worden gesteld aan het ontwerp. De praktische ontwerpvoorwaarden hebben betrekking tot het stedelijk groene infrastructuur ontwerp en zijn specifiek voor de context van het ontwerp. Ze hebben als doel dat ontwerp ook voldoet aan de ontwerpvoorwaarden in de context van Arnhem. Hoewel de ontwerpstrategie gericht is op Arnhem zijn deze specifieke randvoorwaarden niet opgenomen in de ontwerpstrategie om ook relevant te zijn voor een context buiten Arnhem. De theoretische ontwerpvoorwaarden zijn afgeleid uit het literatuuronderzoek en garanderen zo dat de theorie uit het literatuuronderzoek goed is geïmplementeerd in de ontwerpstrategie. De theoretische ontwerpvoorwaarden functioneren zo als een extra validatie maatregel voor de ontwerpstrategie.

#### B.1.1 Praktische Ontwerpvoorwaarden

De praktische ontwerpvoorwaarden voor het case studie ontwerp in Kronenburg, Arnhem zijn hieronder weergegeven. De ontwerpvoorwaarden zijn afgeleid van de klimaatadaptatiestrategie 2020-2030 van Arnhem (Gemeente Arnhem, 2020) en de gids openbare ruimte van de gemeente Arnhem (Gemeente Arnhem, 2020).

- Het ontwerp moet bestaan uit een netwerk van beschaduwde routes die belangrijke (ontmoetings)plekken verbinden
- Het toevoegen van groen moet bestaan uit het plaatsen van bomen en gevelgroen
- Grotere parkeerterreinen moet anders ingericht worden om meer grote schaduw gevende bomen te plaatsen.
- Boomkronen dienen 2 meter uit gevels ontworpen te zijn.
- Boomkronen overlappen elkaar niet.
- Bij nieuw te planten bomen in verharding is de minimale maat van de boomspiegel: Voor alle bomen minimaal 1x1m.
- I.v.m. verkeersveiligheid (zichtlijnen) mag de beplanting het zicht op kruispunten niet belemmeren. In het oprijzicht mogen geen obstakels, bomen of beplanting staan die het zicht ontnemen.
- De beplanting is max. 0,75m. hoog
- Langs hoofdwegen de buitenzijde van de hagen minimaal 1m uit de kant van de weg ontwerpen. Bij erftoegangswegen moet het oprijzicht minimaal 5m voor de kantstreep of kant van de verharding van de hoofdweg aanwezig zijn. Bij uitritten minimaal 2,5m.
- Vakken voor klim- en leiplanten in verharding moeten zodanig ontworpen zijn dat er voldoende regenwater en lucht bij de wortels kan komen. Richtlijn is een vak van minimaal 0,5m breed, 1 m lang en 0,6m diep.

In de ontwerpvoorwaarden zijn alleen voorwaarden opgenomen met betrekking tot de ruimtelijke inrichting van stedelijk groene infrastructuur. Aspecten zoals ondergrondse groeiruimte en bekabeling zijn buiten beschouwing gelaten. Om rekening te houden met de technische ontwerpvoorwaarden voor laan en straatbomen wordt bij het ontwerp gebruik gemaakt van volgroeide bomen en dus direct het eindbeeld.

### *B.1.2 Theoretische Ontwerpvoorwaarden*

De theoretische ontwerpvoorwaarden hieronder zijn afgeleid uit het literatuuronderzoek in de probleemverkenning van de ontwerpstrategie.

- Straatbomen moeten effectief geïmplementeerd worden (in plaats van bomen overal) afhankelijk van de specifieke kenmerken van het terrein (hoogte-breedteverhouding, oriëntatie op de zon)
- Plaats loofbomen met grote overkappingen, vooral in gebieden met hoge zonnestraling.
- Het schaduwgebied moet rond het maximum van de dag zijn tijdens de periode met de hoogste straling tussen 12:00 en 16:00.
- Houd koude luchtcorridors open.
- Verhoog het groene aandeel in steden aan de windzijde van de heersende zomerwindrichting.
- Voor het hoogste gemiddelde koeffect over het ontwerpgebied moet gras en heggen / struiken een zo laag mogelijke fragmentatie hebben en bomen een zo hoog mogelijke fragmentatie.
- Wanneer een hogere maximum koeffect in een gebied gewenst is ten koste van het gemiddelde koeffect moet gras en heggen / struiken en bomen met een lage fragmentatie aangelegd worden.
- Heggen / Struiken en Bomen moeten binnen het ontwerpgebied aangelegd worden met de hoogst mogelijke vormcomplexiteit.
- Wanneer groene zones op straatniveau aangelegd worden in stroken moet de heersende zomerwindrichting parallel zijn.

De theoretische ontwerpvoorwaarden zijn in de definitieve ontwerpstrategie opgenomen als richtlijnen. Bij de toepassing zijn ze opgenomen als ontwerpvoorwaarden als extra validatie stap.



## B.2 Concept Ontwerpstrategie & Toepassing

In de onderstaande paragrafen is de toegepaste concept ontwerpstrategie gepresenteerd en is per fase de toepassing toegelicht.

### Fase 1: Voorbereiding

1. Bepaal methode / tool om impact beoordeling te doen gemaakt ontwerp.
  - Bepaal tool en data beschikbaarheid om de impact van stedelijk groene infrastructuur op hittestress.
  - Kies geschikte hittestress indicator(en) voor impact beoordeling.

In dit onderzoek is de DPRA Hitte module van Tygron gebruikt voor de impactbeoordeling van het ontwerp. Deze keuze is gebaseerd op het onderzoek uit Appendix B.3.1. Bij dit onderzoek zijn voorwaarden gesteld aan waar een tool aan moet voldoen om deze fase van de ontwerpstrategie uit te voeren. De gekozen hittestress indicatoren volgen uit de tool keuze en zijn Urban Heat Stress effect in °C en fysiologisch equivalente temperatuur in °C respectievelijk tijdsafhankelijk en tijdsafhankelijk. De keuze is gebaseerd op onderzoek wat gevonden kan worden in Appendix B.3.4.

2. Identificeer kenmerken van de wijk.
  - Identificeer bestaande groene infrastructuur
  - Identificeer bebouwing
  - 3D benadering

In dit onderzoek is dit gedaan met behulp van het Tygron geodesign platform en de DPRA hitte module. De software die gekozen is om een impact beoordeling van ontwerpen te maken beschikt ook over de mogelijkheid om een 3D benadering te maken van de Wijk kronenburg. In dit model is door automatische data collectie bebouwing en de huidige groene infrastructuur toegevoegd aan het model. Extra datacollectie was nodig om de plaatsing van bomen, de hoogtes en boomkruin grootte correct in het model te krijgen. De data is gevonden op boomregister.nl (Alterra Wageningen UR, Neo & Geodan, 2020). De uitvoering van deze stap is terug te vinden in Appendix B.4.1.

3. Prioriteer straten / ontwerpgebieden op basis van blootstelling en hittegevoeligheid
  - Bepaal indicatoren en methode / tool om blootstelling en hittegevoeligheid te bepalen.
  - Bepaal ontwerplocatiegrootte
  - Selecteer en prioriteer ontwerpgebieden op basis van ontwerplocatiegrootte en blootstelling en hittegevoeligheid

De tool Tygron is gekozen als methode om schaduwgebied en hittegevoeligheid binnen Kronenburg te bepalen. De keuze is gebaseerd op onderzoek uit Appendix B.3.2. De indicatoren hierbij zijn schaduwgebied en fysiologisch equivalente temperatuur en zijn gebaseerd op het onderzoek naar indicatoren uit appendix B.3.4. Tygron berekent het schaduwgebied vanuit het 3D model van stap 1 en de fysiologisch equivalente temperatuur, wat een indicator is voor hittegevoeligheid, ook vanuit het 3D model in combinatie met weersgegevens. De weergegevens kunnen verschillen afhankelijk van de context en voor deze case studie is de data verzameling en de bijbehorende keuzes voor de gebruikte data toegelicht in appendix B.3.5. De hittegevoeligheid in het ontwerpgebied kan later in het ontwerpproces gebruikt worden om de effectiviteit van het ontwerp te bepalen. Op basis van de resultaten van schaduwgebied en hittegevoeligheid binnen Kronenburg kunnen ontwerplocaties bepaald worden. Er zijn hier geen specifieke richtlijnen voor aangezien dit heel afhankelijk is van de context. De resultaten van schaduwgebied en hittegevoeligheid binnen Kronenburg en de bepaling van ontwerplocaties kan in appendix B.4.2 gevonden worden.

4. Identificeer mogelijke locaties voor stedelijk groene infrastructuur in ontwerpgebied.
  - Analyseer hittegevoeligheid en blootstelling binnen ontwerpgebied
  - Identificeer locaties waar geen groene infrastructuur geplaatst kan worden door bezetting.

Met de geprioriteerde ontwerplocaties die bepaald zijn in de vorige stap gaat de ontwerpstrategie verder met het ontwerpgebied met de hoogste prioriteit. Door nogmaals te kijken naar de hittegevoeligheid en schaduwgebieden binnen het ontwerpgebied kunnen locaties geïdentificeerd voor stedelijk groene infrastructuur. Deze stap is terug te vinden in Appendix B.5.1.

5. Bepaal ventilatie in ontwerpgebied.
  - Vind de heersende zomerse wind in het ontwerpgebied.
  - Bepaal invloed van gebouwen op de wind in ontwerpgebied.
  - Identificeer windkanalen

Om rekening te kunnen houden met ventilatie bij het plaatsen van stedelijk infrastructuur zal de ventilatie binnen het ontwerpgebied bepaald moeten worden. Met de heersende zomerse windrichting en de 3d benadering en gegevens van de gebouwen zijn de windkanalen geïdentificeerd. Deze stap is terug te vinden in Appendix B.5.2.

#### **Fase 2: Gras (vervangen van stedelijke verharding)**

6. Vervang overbodige verharding met gras
  - Definieer overbodige verharding.
  - Vervang de overbodige verharding bevonden bestrating met gras.

Het toevoegen van gras aan de ontwerplocatie is terug te vinden in Appendix B.6.

#### **Fase 3: Heggen & Struiken**

7. Plaats Heggen & Struiken
  - Bepaal geschikte plaatsen voor heggen & struiken
  - Kies meest optimale vorm van heggen & struiken.
  - Plaats heggen en struiken op geschikte plaatsen met optimale vorm

Het toevoegen van gras aan de ontwerplocatie is terug te vinden in Appendix B.7.

#### **Fase 4: Bomen**

8. Plaats bomen.
  - Bepaal geschikte plaatsen voor bomen.
  - Kies meest optimale vorm bomenplaatsing.
  - Plaats bomen op geschikte plaatsen met optimale vorm.

Het toevoegen van gras aan de ontwerplocatie is terug te vinden in Appendix B.8.

#### **Fase 5: Gevelgroen**

9. Plaats gevelgroen op gebouwen
  - Bepaal geschikte gebouwen voor gevelgroen
  - Bepaal locaties waar gevelgroen nodig is.
  - Bepaal de dekkingsgraad van het gevelgroen.
  - Plaats gevelgroen met de gekozen dekkingsgraad op de gebouwen

Het toevoegen van gras aan de ontwerplocatie is terug te vinden in Appendix B.9.

## **Fase 6: Groene Daken**

### 10. Plaats groene daken op gebouwen

- Bepaal secties van het ontwerpgebieden waar groene daken impact kunnen hebben.
- Zoek uit welke daken in deze secties geschikt zijn voor groene daken.
- Plaats groene daken.

Het toevoegen van gras aan de ontwerplocatie is terug te vinden in Appendix B.10.

Stap 6 tot en met 10 zijn stappen waarbij de meeste geschikte plaatsing voor stedelijk groene infrastructuur bepaald wordt. Dit wordt gedaan met behulp van de bevindingen uit de wetenschappelijke literatuur uit de probleemverkenning van het onderzoek. Deze bevindingen zijn vertaald naar theoretische ontwerpvoorwaarden voor het ontwerp wat resulteert uit de toepassing van de concept ontwerpstrategie. Deze voorwaarden staan in appendix B.1.2. Bij de definitieve ontwerpstrategie zijn deze bevindingen vertaald naar uitgangspunten en bijgevoegd bij de definitieve ontwerpstrategie.

### B.3 Onderzoek naar benodigde software, data, data beschikbaarheid en hittestress indicatoren

#### B.3.1 Voorwaarden programma voor evalueren van stedelijk groene infrastructuur ontwerpen.

Om een ontwerp te kunnen beoordelen en evalueren op effectiviteit in het mitigeren van stedelijke hitte is geschikte software nodig. Om een geschikte tool uit te kiezen worden hier de voorwaarden waaraan het programma moet voldoen opgesteld. De opties worden dan getoetst aan deze voorwaarden. Aan de hand hiervan wordt een geschikte tool gekozen. Verkennend onderzoek wees uit dat de Tygron DPRA Hitte Module een unieke tool is qua functionaliteit als het gaat om klimaat adaptieve ontwerpen toetsen. De DPRA Hitte module is ontworpen aan en gevalideerd aan de hand van het deltaplan ruimtelijke adaptatie 2019: Ontwikkeling standaard stresstest hitte (RIVM, 2019). Ondanks dat het er op lijkt dat deze module de enige geschikte en verkrijgbare tool is, is het wel belangrijk dat de tool aan alle gestelde eisen voldoet. Mocht dit niet zo zijn dan zou dit het onderzoek beperken. Hieronder in Tabel 8 staan de eisen van aan de software die getoetst worden. In appendix B.3.3 kan een volledig overzicht van de invoer en uitvoer van beide programma's gevonden worden.

Tabel 8: Software voorwaarden ontwerpevaluatie tool

Software Voorwaarden	
Invoer data moet beschikbaar zijn, maar ook snel en makkelijk te verkrijgen zijn	Weinig handmatige invoer en datacollectie. De module haalt alle omgevingsdata automatisch uit openbare datasets. Eventuele missende data kan zelf toegevoegd worden.
De software moet gratis te verkrijgen zijn of een licentie moet te verkrijgen zijn via de universiteit of Sweco.	Gratis educatie licentie is beschikbaar
Alle soorten stedelijk groene infrastructuur moet beschikbaar zijn om mee te ontwerpen.	Uit verkennend onderzoek van de mogelijkheden van tygron is gebleken dat de gangbare soorten groene infrastructuur toegepast kunnen worden in tygron waaronder verschillende soorten bomen, struiken, heggen, graspercelen, groene daken en verticaal muurgroen.
De software moet de ontwerpen snel kunnen toetsen en niet te zwaar zijn voor een computer.	Tygron maakt gebruik van supercomputers op hun eigen server waardoor het evalueren van ontwerpen heel snel kan gebeuren.
De ontwerptool moet gebruiksvriendelijk zijn zonder steile leercurve aangezien de korte duur van dit onderzoek.	Tygron is erg gebruiksvriendelijk en lijkt geen steile leercurve te hebben. Online documentatie en een forum kunnen ook geraadpleegd worden. Tygron integreert GIS voor het maken van ontwerpen.
De uitvoer van de tool moet de effectiviteit van de ontwerpen en de impact op hittestress weergeven aan de hand van gebruikelijke hittestress indicatoren.	De software kan het urban heat island effect kwantificeren en de veelgebruikte PET temperatuur is ook een uitvoer mogelijkheid. De uitvoer wordt ook gevisualiseerd.

Er kan geconcludeerd worden dat de Tygron DPRA Hitte module voldoet aan alle gestelde basisvoorwaarden en een geschikte tool is om de ontwerpen mee te testen en evalueren.

### B.3.2 Voorwaarden programma voor het bepalen van hittestressgevoeligheid en schaduwrijk gebied.

Om te bepalen welke gebieden hittegevoelig zijn en een overzicht te krijgen van de schaduwrijke gebieden is geschikte software nodig. Om een geschikte tool uit te kiezen worden hier de voorwaarden waaraan het programma moet voldoen opgesteld. De opties worden dan getoetst aan deze voorwaarden. Aan de hand hiervan wordt een geschikte tool gekozen.

- Invoer data moet beschikbaar zijn, maar ook snel en makkelijk te verkrijgen zijn.
- De software moet gratis te verkrijgen zijn of een licentie moet te verkrijgen zijn via de universiteit of Sweco.
- De uitvoer moet een overzicht zijn van schaduwrijke gebieden en hittegevoelige gebieden binnen kronenburg waaruit ontwerplocaties gekozen kunnen worden.
- Huidig aanwezig stedelijke infrastructuur moet meegenomen kunnen worden in de bepaling.

Twee mogelijk geschikte programma's zijn de Tygron DPRA Hitte Module en RayMan Pro. De DPRA Hitte module is ontworpen aan en gevalideerd aan de hand van het deltaplan ruimtelijke adaptatie 2019: Ontwikkeling standaard stresstest hitte (RIVM, 2019). RayMan is een tool die de globetemperatuur en verschillende thermische indicatoren voor het kwantificeren van thermische condities voor verschillende klimaten en omgevingen kan bepalen. De RayMan methode wordt vaak toegepast in wetenschappelijke literatuur over hittestress (Matzarakis, Rutz, & Mayer, 2007) (Matzarakis, Rutz, & Mayer, 2010). In appendix B.3.3 kan een volledig overzicht van de invoer en uitvoer van beide programma's gevonden worden.

Tabel 9: Vergelijking RayMan Pro en Tygron DPRA Hitte Module

RayMan Pro	Tygron DPRA Hitte Module
Uitgebreide invoermogelijkheden. Alle data moet zelf verzameld worden. Vooral voor de obstakels (gebouwen en bomen) moet zelf invoer data gecreeerd worden aan de hand van data collectie.	Weinig handmatige invoer en datacollectie. De module haalt alle omgevingsdata automatisch uit openbare datasets. Eventuele missende data kan zelf toegevoegd worden.
Gratis te gebruiken	Gratis educatie licentie is beschikbaar
Schaduwgebieden worden duidelijk gevisualiseerd. Echter moeten de oppervlakten handmatig gemeten worden dmv van een grid. Dit is minder nauwkeurig.	Per cel in het model wordt aangegeven of het in de schaduw ligt. Zo kan gemakkelijk het aandeel schaduwgebied berekend worden. Ook visualiseert Tygron de schaduwgebieden.
Hittegevoeligheid kan met veel verschillende hitte indicatoren berekend worden die veel gebruikt worden in wetenschappelijke literatuur. Qua visualisatie zijn de mogelijkheden meer beperkt. Gebieden zonder schaduw kunnen wel gevisualiseerd worden.	Hittegevoeligheid kan met een aantal belangrijke indicatoren berekend worden. Een voordeel is dat het voor elk punt berekend kan worden door een supercomputer op de server van Tygron. Dit maakt visualisaties ook goed mogelijk. De software kan het urban heat island effect kwantificeren en de veelgebruikte PET temperatuur is ook een uitvoer mogelijkheid.
De enige stedelijke groene infrastructuur die als obstakel ingevoerd kan worden zijn twee soorten bomen. Voor de bepaling van schaduwgebieden is dit voldoende echter voor de hittegevoelige gebieden niet voldoende aangezien andere huidig aanwezige stedelijke infrastructuur hier invloed op kan hebben.	Veel opties zijn beschikbaar om huidig aanwezige groene infrastructuur mee te nemen.

Gebaseerd op Tabel 9 valt de keuze voor het in kaart brengen van hittegevoelige en schaduwrijke gebieden op de Tygron DPRA Hitte Module aangezien de module ruim voldoet aan alle voorwaarden.

### B.3.3 In- en Uitvoer Tygron en RayMan Pro

#### B.3.3.1 In- en Uitvoer Tygron DPRA Hitte Module

##### Invoer

Het Tygron platform gebruikt geodata om een 3d model te bouwen van de omgeving. De software haalt deze data automatisch op van verschillende openbare registers. De kans is daarom groot dat de meeste benodigde invoer automatisch opgehaald kan worden. Voor de hittemodule is additionele invoer nodig die hieronder staat opgesomd:

- Datum(s) en tijd van de dag. Ook kunnen meerdere opeenvolgende dagen worden gebruikt. Elke dag-urencombinatie wordt een resultaat.
- Dagelijkse weerstationgegevens
- Uurlijkse weerstationgegevens
- Bladhoogtes (hoewel een inschattingmethode beschikbaar is)

De specifieke input parameters en de gemaakte keuzes voor deze parameters zijn weergegeven op de volgende pagina.

##### Uitvoer

Tabel 10: Uitvoermogelijkheden Tygron DPRA Hitte Module

Uitvoer resultaat	Eenheid	Tijdsvariabel	Beschrijving
Bowen ratio	Ratio	Ja	De Bowen-verhouding van gebouwen en terreinen. Wordt gebruikt om het type warmteoverdracht te beschrijven voor een oppervlak dat vocht bevat.
Bladbedekkingsgraad en hoogte	m	Nee	De initiële en optionele berekende bladhoogte, afhankelijk van de bron van de bladhoogte.
Fysiologische equivalente temperatuur (PET)	°C	Ja	De berekende fysiologische equivalente temperatuur.
Relatieve fysiologische equivalente temperatuur	°C	Ja	De berekende fysiologische equivalente temperatuur, ten opzichte van de berekende atmosferische temperatuur.
Schaduw	booleaan	Ja	Geeft aan of een cel in de schaduw staat of niet op basis van berekeningen met zonnestrallen.
Luchtaanzicht factor	breuk	Nee	De berekende luchtaanzicht factor.
Gemiddelde luchtaanzicht factor	breuk	Nee	Het berekende gemiddelde van individuele berekende luchtaanzicht factoren.
Atmosferische temperatuur	°C	Ja	De berekende atmosferische temperatuur, gebaseerd op het urban heat island effect, de bewegingsfactor van de zon en de gemeten temperatuur.
Urban heat island effect	°C	Ja	Het berekende urban heat island effect.
Vegetatie	breuk	Ja	Het aandeel vegetatie per vierkante meter.
Gemiddelde vegetatie	breuk	Ja	De berekende gemiddelde vegetatie op basis van de individuele vegetatie aandeel van de cellen.
Wind snelheid	m/s	Ja	De windsnelheid berekend op 1.2 meter boven de grond.

### B.3.3.2 In- en Uitvoer RayMan Pro

#### Invoer

RayMan Pro beschikt over uitgebreide invoermogelijkheden. Niet alle invoer is nodig voor elk type uitvoer. De volgende invoermogelijkheden zijn er in RayMan Pro:

- Datum en tijd
- Huidige data: Luchttemperatuur (°C), luchtdruk (hPa), relatieve luchtvochtigheid (%), windsnelheid (m/s), wolkbedekking (octa), oppervlakte temperatuur (°C), globetemperatuur (°C), Zonnestraling (W / m<sup>2</sup>)
- Persoonlijke data: hoogte (m), gewicht (kg), geslacht en leeftijd.
- Kleding en activiteit: kleding (index), activiteit (W) en positie
- Geografische Data: longitude (°E) latitude (°N), hoogte (m), tijdzone (UTC + u)
- Topografische geodata: verschillende topografische bestandstandaarden
- Obstakels: Gebouwen, bladverliezende bomen en coniferen.

#### Uitvoer

Tabel 11: Uitvoermogelijkheden RayMan Pro

Uitvoer resultaat	Eenheid	Tijdsvariabel	Beschrijving
Duur van de zonschijn	tijd	Ja	Duur van zonschijn op een klein oppervlak aan de hand van een hemisferische foto.
Zonnepaden of zonnebaan	Polair diagram	Ja	De berekende zonnebaan op een geografisch punt.
Schaduw	Shadow visualization	Ja	Berekening en visualisatie van schaduw gebieden.
Zonnestraling	W / m <sup>2</sup>	Ja	Berekende vermogen van zonnestraling per oppervlakte eenheid
Globetemperatuur (Tmrt)	°C	Ja	Berekende globetemperatuur.
Predicted mean vote (PMV)	Index	Ja	Berekende PMV index die de gemiddelde waarde van de stemmen van een grote groep personen op een thermische gevoeligheidsschaal voorspelt.
Fysiologische equivalente temperatuur (PET)	°C	Ja	Berekende fysiologische equivalente temperatuur.
Standaard effectieve temperatuur (SET*)	°C	Ja	Berekende standaard effectieve temperatuur.
Gevoelstemperatuur (PT)	°C	Ja	Berekende standaard gevoelstemperatuur.
Universele thermische klimaatindex (UTCI)	Index	Ja	Berekende universele thermische klimaatindex.

#### *B.3.4 Ontwerpbeoordelingstijdstip, klimatologische omstandigheden en hittestress indicatoren*

De klimatologische omstandigheden zijn belangrijk voor de resultaten van de evaluatie van het ontwerp. Tygron beschikt over de mogelijkheid om de weersomstandigheden van een dag in het verleden te gebruiken. De KNMI data zal dan geïmporteerd worden. Ook is het mogelijk om zelf KNMI data te importeren om zo toekomstige klimaatscenario's te importeren en daarmee het ontwerp te evalueren. Er zijn 4 KNMI scenarios die verschillen in de hoeveelheid opwarming van het klimaat (Gematigd of Warm) of de mogelijke veranderingen in het luchtcirculatie patroon (Laag of Hoog) (KNMI, 2014). Om de evaluatie van de ontwerpen niet te ingewikkeld te maken zal een dag gebruikt worden waarop sprake was van een hittegolf, en geen wolken en een zomerse wind. Het bepalen van de klimatologische invoer data is uitgewerkt in Appendix B.3.5.

Het tijdstip van evaluatie is net als de klimatologische omstandigheden belangrijk voor de resultaten van de evaluatie. Tygron kan de hitte stress indicatoren als output uitrekenen voor een tijdstip maar ook meerdere tijdstippen met een tijdstap. Om een tijdstip of periode te kiezen is het belangrijk om te weten hoe de hittestress zich verhoudt gedurende de dag. Een dag kan worden opgebroken in drie periodes: begin van de dag, piektijd van de zon en einde van de dag ('s nachts). Het begin van de dag is gedefinieerd als de periode waarin de verwarming door zonnestraling begint te intensiveren. De piektijd van de zon is de periode waarin zonnestraling de dominante bron van warmte is. Tot slot is het einde van de dag het tijdstip waarop zonnestraling geen dominante warmtebron meer is (Memom, Leung, & Liu, 2009). Het meest relevante tijdstip is dus de piektijd van de zon om te evalueren aangezien dan de zonnestraling de meest dominante bron van warmte is en hittestress dan het meest problematisch zal zijn. De piektijd van de zon ligt rond de middag. Aangezien de zon normaal gesproken op het hoogste punt is rond 12 uur en de temperatuur vervolgens pas 3 uur later het hoogste punt bereikt zal deze periode gebruikt worden om het model te evalueren. Echter is door de tijdzone in Nederland de zon tijdens zomertijd pas rond 14 uur op zijn hoogste punt en rond 17 / 18 uur is de temperatuur pas op zijn hoogste punt (Memom, Leung, & Liu, 2009) (EPA, 2008) (Molenaar, 2019). In Tygron zullen de volgende tijdstippen en dus het gemiddelde daarvan worden geëvalueerd: 12:00 13:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00 en 18:00.



In de Tygron DPRA hitte module kunnen verschillende hitte indicatoren gebruikt worden als output. De output van de Tygron hitte module kan gevonden worden in tabel in appendix 2.3.1. Hieronder in tabel kunnen de hitte indicatoren ook gevonden worden met uitleg van de indicator die gehaald is uit de theoretische achtergrond en sleutelbegrippen.

Tabel 12: Hittestressindicatoren en definities

Hittestress Indicator	Definitie
Fysiologische equivalente temperatuur (PET)	De fysiologische equivalente temperatuur wordt gedefinieerd als de luchttemperatuur waarbij, in een typische binnen omgeving (zonder wind- en zonnestraling), het warmtebudget van het menselijk lichaam in evenwicht is met dezelfde kern- en huidtemperatuur als onder de complexe buitencondities die moeten worden beoordeeld. Op deze manier stelt PET een leek in staat om de integrale effecten van complexe thermische omstandigheden buiten te vergelijken met zijn of haar eigen ervaring binnenshuis. Op warme zomerdagen, bijvoorbeeld, met directe zonnestraling kan de PET-waarde meer dan 20 °C hoger zijn dan de atmosferische temperatuur, op een winderige dag in de winter tot 15 °C lager.
Relatieve fysiologische equivalente temperatuur	Het verschil van de fysiologische equivalente temperatuur met de atmosferische temperatuur.
Atmosferische temperatuur	Het verschil in atmosferische temperatuur na het ontwerp.
Urban Heat Island Effect	Het hitte eiland effect gekwantificeerd in °C.

Op basis van Tabel 12 is gekozen om de relatieve fysiologische equivalente temperatuur als tijdsafhankelijke indicator. Met de relatieve fysiologische equivalente temperatuur wordt zowel de fysiologische equivalente temperatuur als de luchttemperatuur meegenomen. Echter is gebleken bij de toepassing dat bij het presenteren van de uiteindelijke resultaten is de fysiologische equivalente temperatuur beter geschikt omdat het beter te begrijpen is aan de hand van een comfortschaal, zie Tabel 13. Er is tijdens de toepassing dus voor gekozen om toch de fysiologisch equivalente temperatuur te gebruiken in plaats van de relatieve. Een tijdsafhankelijke indicator is noodzakelijk om de invloed van het ontwerp over het verloop van de gekozen tijdsperiode te beoordelen. Bij de toepassing bleek de Urban Heat Island Effect indicator niet tijdsafhankelijk te zijn en daarom geen toegevoegde waarde bovenop de fysiologisch equivalente temperatuur.

Tabel 13: De comfort schaal van de fysiologisch equivalente temperatuur (PET) (Sodoudi, Zhang, Chi, Müller, & Li, 2018, p.89)

PET/°C	Thermal perception	Grade of physiological stress
≤ 4.0	Very cold	Extreme cold stress
4.1-8.0	Cold	Strong cold stress
8.1-13.0	Cool	Moderate cold stress
13.1-18.0	Slightly cool	Slight cold stress
18.1-23.0	Comfortable/Neutral	No thermal stress
23.1-29.0	Slightly warm	Slight heat stress
29.1-35.0	Warm	Moderate heat stress
35.1-41.0	Hot	Strong heat stress
41.1 ≤	Very hot	Extreme heat stress

### B.3.5 Bepalen van invoer voor de Tygron DPRA Hitte Module

#### Invoer:

Voor de Tygron tool gebruikt kan worden moeten de juiste weer en omgevingsparameters ingesteld worden. De eerste input is de datum en tijdzone die hierboven weergegeven zijn. Zoals aangegeven in het verslag is een dag tijdens een hittegolf gekozen. In Nederland komen de meeste hittegolven voor in de maand juli gevolgd door augustus. Er is daarom gekozen om een dag te kiezen tijdens een hittegolf eind juli. De laatste hittegolf in deze periode was van 22 juli tot 27 juli 2019. De warmste dag was op 25 juli met een gemiddelde maximum temperatuur van 37.5 °C in Nederland. Dit is de warmste dag ooit gemeten in Nederland (KNMI, 2020). 25 juli is daarom gekozen om zo het ontwerp te toetsen onder extreme omstandigheden die mogelijk vaker voor gaan komen in een toekomstig klimaat. De Tygron data voor deze dag komt niet overeen met die van het KNMI. De data van het KNMI datastation in Deelen, het dichtstbijzijnde meetstation bij Arnhem, zal daarom worden gebruikt en is weergegeven in Tabel 14 en Tabel 15. Er wordt dus een aanname gemaakt dat de gegevens van Deelen overeenkomen met de weersomstandigheden in Kronenburg zonder hitte stadseiland effect.

Tabel 14: Uur gegevens meetstation Deelen (KNMI, 2020)

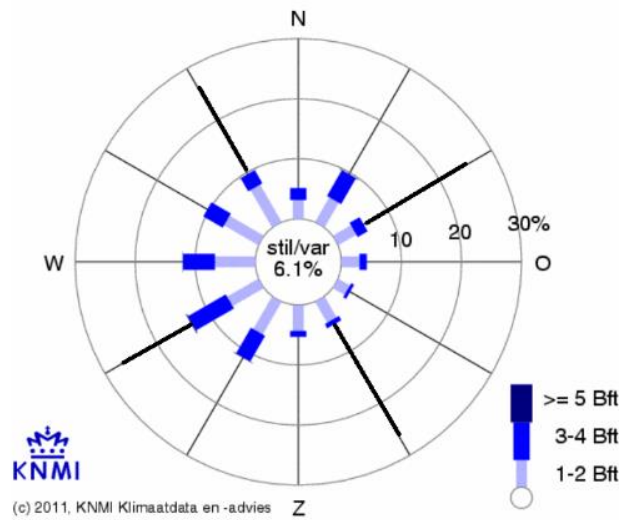
	Windrichting (°)	Windsnelheid (m/s)	Temperatuur (°C)	Zonnestraling (W/m <sup>2</sup> )	Luchtvochtigheid (%)
12	90	3	36.0	786.1	33
13	120	3	37.4	780.6	31
14	120	3	38.5	730.6	24
15	120	3	38.2	647.2	27
16	130	3	38.2	494.4	25
17	100	3	38.4	338.9	23
18	70	2	35.7	216.7	37

Tabel 15: Dag gegevens meetstation Deelen (KNMI, 2020)

	Minimum Temperatuur (°C)	Maximum Temperatuur (°C)	Gemiddelde Straling (W / m <sup>2</sup> )
25 juli 2019	16.7	38.4	291.6

Uit de literatuur is gebleken dat ventilatie van invloed is op de effectiviteit van een stedelijk groen ontwerp. Uit de meetgegevens blijkt dat er op een dag enige variatie in windsnelheden zijn, echter niet variërend genoeg om te gebruiken als input voor het model wanneer je rekening houdt met ventilatie. Daarom is gekozen om het ontwerp te beoordelen vanuit 4 windrichtingen en zonder wind. Een windroos van station de Bilt, het dichtstbijzijnde meetstation waarvan een windroos met gemiddeldes beschikbaar is, is weergegeven in Figuur 4. Ook hier wordt een aanname gemaakt dat de gemiddelde windsnelheden overeenkomen met die in Arnhem.

### Windroos De Bilt, klimatologie juli



Figuur 4: Windroos De Bilt gemiddelde van juli met ingetekend de gekozen windrichtingen (KNMI, 2020)

De windroos is het langjarig gemiddelde sinds de metingen begonnen in 1981 (KNMI, 2020). Op basis van de windroos en de bijbehorende frequentie zijn 4 windrichtingen gekozen: 60°, 150°, 240°, 330°. Op basis van de frequenties uit de windroos zal er per windrichting variatie van +/- 30° over de uren op een dag zijn. De gemeten windsnelheid op 25 juli van 3 m/s (2 Bft) komt overeen met de gemiddelde windsnelheid tijdens een zomerse juli maand zoals te zien is in Figuur 4. Alhoewel bij hogere windsnelheden de impact van ventilatie duidelijker wordt is het niet realistisch om hogere windsnelheden te modelleren in een hittegolfsituatie.

De dag en uur waarden die als invoer gebruikt zullen worden zijn hieronder in Tabel 16 en Tabel 17 weergegeven. Alle waarden zijn afkomstig van Tabel 14 en Tabel 15. De dagelijkse zon beweging factor wordt door Tygron berekend.

#### Dag waarden:

Tabel 16: Dag waarden invoer Tygron

Dag	Minimum Temperatuur (°C)	Maximum Temperatuur (°C)	Gemiddelde Straling (W / m <sup>2</sup> )	Gemiddelde Windsnelheid (m/s)
25 juli 2019 (1)	16.7	38.4	291.6	3
25 juli 2019 (2)	16.7	38.4	291.6	3
25 juli 2019 (3)	16.7	38.4	291.6	3
25 juli 2019 (4)	16.7	38.4	291.6	3
25 juli 2019 (5)	16.7	38.4	291.6	0

**Uur waarden:**

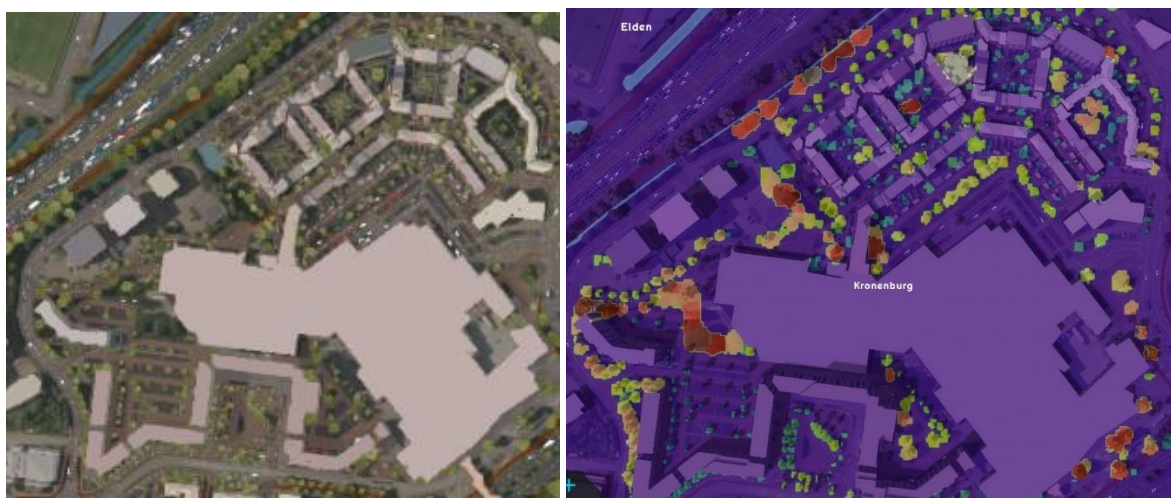
Tabel 17: Uur waarden invoer Tygron

Uur	Dagelijkse Zon Beweging (correctie factor)	Luchtvochtigheid (%)	Zonnestraling (W/m <sup>2</sup> )	Temperatuur (°C)	Windsnelheid (m/s) (Dag 1-4,5)	Windrichting (°) (Dag 1,2,3,4)
12	0.01	33	786.1	36.0	3,0	30°, 120°, 210°, 300°
13	0.033	31	780.6	37.4	3,0	30°, 120°, 210°, 300°
14	0.056	24	730.6	38.5	3,0	30°, 150°, 240°, 330°
15	0.082	27	647.2	38.2	3,0	60°, 150°, 240°, 330°
16	0.128	25	494.4	38.2	3,0	60°, 150°, 240°, 330°
17	0.184	23	338.9	38.4	3,0	90°, 170°, 270°, 0°
18	0.27	37	216.7	35.7	3,0	90°, 170°, 270°, 0°

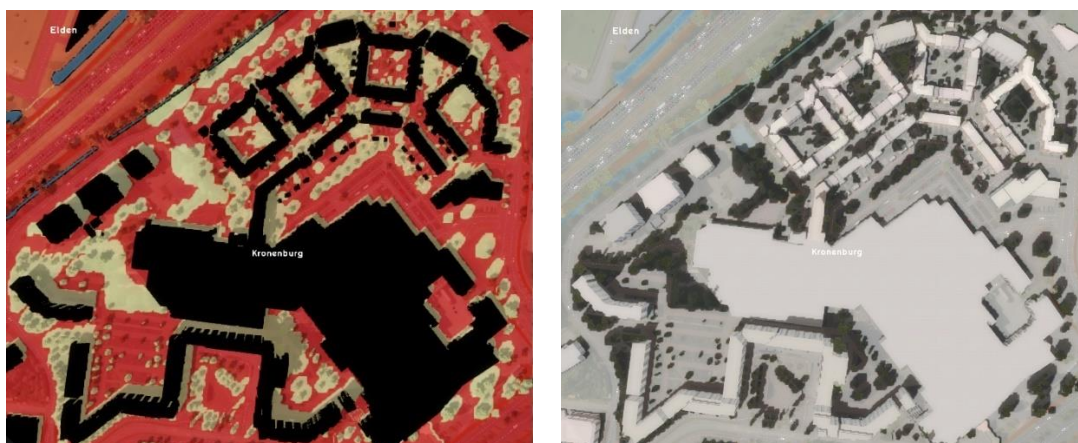
## B.4 Bepaling van ontwerplocaties van case studie Kronenburg

### B.4.1 Bepaling van schaduwrijk en hittegevoelig gebied Kronenburg

De bepaling van schaduwrijk gebied is gedaan met de Tygron DPRA Hitte Module. De module importeert automatisch de benodigde data uit bestaande databases en registers. Alleen de weer gerelateerde data moest nog toegevoegd worden. In Appendix B.2.5 is te lezen welke weer data is gebruikt voor de effectbeoordeling van het ontwerp. Daarnaast moest alleen nog gecontroleerd te worden of het model van de wijk Kronenburg overeenkomt met de realiteit. Bij een eerste analyse komt de huidige stedelijk groene infrastructuur niet overal overeen met de realiteit. Aan de hand van foto's van een locatie bezoek en google maps is het baseline model gemaakt worden. De geodata van boomregister.nl is geïmplementeerd, echter is het niet correct gevisualiseerd waardoor er bomen het model staan die er niet zijn en die meegerekend worden. In figuur 6 is daarom ook de boomregister geodata weergegeven. In appendix B.3 is het locatiebezoek gedocumenteerd. Hieronder zijn de hittegevoelige gebieden in kronenburg weergegeven en schaduwrijke gebieden in het baseline model van de huidige situatie.



Figuur 5: Overzicht Tygron 3D Model & Boomregister Geodata (Alterra Wageningen UR, Neo & Geodan, 2020)



Figuur 6: Hittestress (PET) Kronenburg & Schaduwgebied 15:00u



#### B.4.2 Bepaling van ontwerplocaties

Hieronder in Figuur 7 zijn de gekozen ontwerpgebieden gekozen na analyse met de Tygron Tool. De nummers geven de prioriteringsvolgorde aan. In Appendix B.4.1 kunnen de resultaten van de analyses die tot de onderstaande ontwerpgebieden hebben geleid gevonden worden.

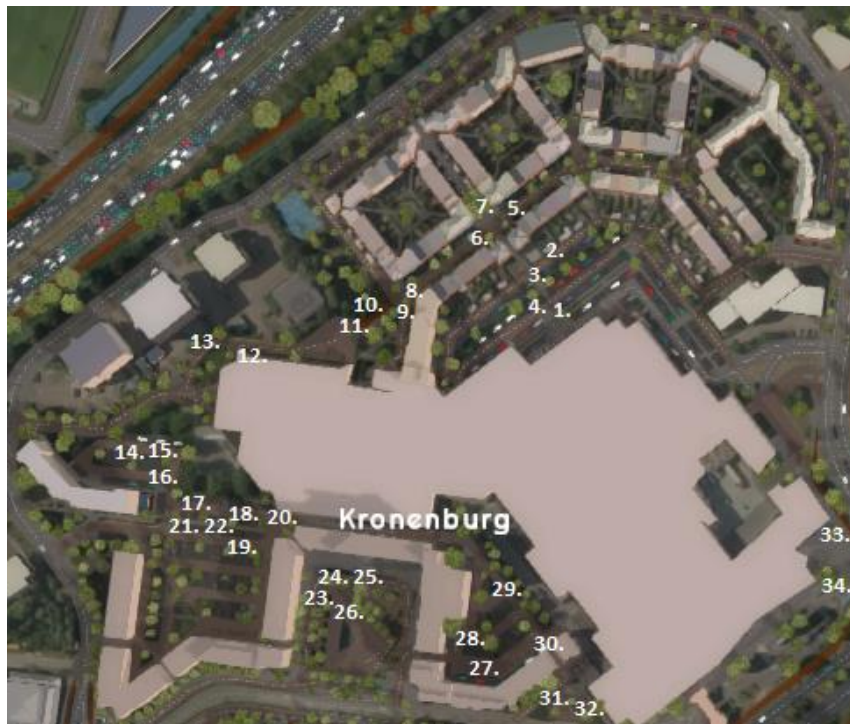


Figuur 7: Ontwerpgebieden

De volgorde van de ontwerpgebieden is geprioriteerd op hittegevoeligheid en schaduwgebied. De keuzes voor ontwerpgebieden zijn altijd afhankelijk van de context en subjectief. Gebied 4 en 5 zijn zoals in Figuur 6 te zien is niet erg verschillend in hittegevoeligheid en schaduwgebied. Gebied 4 heeft een hogere prioriteit gekregen omdat het uit heel veel woningen bestaat terwijl gebied 5 uit bedrijfskantoren bestaat. Voor een gemeente zal er dus meer urgentie zijn bij gebied 4. Qua grootte is gebied 4 ook onderscheidend van de andere gebieden. Dit gebied is zo geselecteerd omdat het qua hittegevoeligheid en bebouwing grotendeels homogeen is. Ook gebied 1 en 2 komen qua hittegevoeligheid overeen, in plaats van naar de data per cel in het modelgebied te kijken om te prioriteren is gekozen voor gebied 1 omdat het meer divers is dan gebied 2. Gebied 2 bestaat bijna volledig uit parkeerplaatsen. Voor het onderzoek is gebied 1 dus geschikter om de ontwerpstrategie op toe te passen. Uit deze paragraaf blijkt nogmaals dat ondanks het prioriteren op basis van hittegevoeligheid en schaduwgebied het kiezen van ontwerplocatie en de grootte daarvan subjectief is en afhankelijk van de context.

### B.4.3 Locatiebezoek Kronenburg

Om te verifiëren of het baseline model in Tygron klopt is een locatiebezoek gedaan aan de wijk Kronenburg. Dit bezoek was op 13 December 2020 en er was dus sprake van zacht winterweer en veel minder bladbedekking dan in zomerse omstandigheden. Het locatiebezoek kan ook helpen bij het kiezen van ontwerplocaties en kan leiden tot nieuwe inzichten. In appendix D pagina staan alle gemaakte foto's genummerd. De locaties van de foto's kunnen hieronder in Figuur 8 teruggevonden worden. De kaart van Kronenburg is een bovenaanzicht van het Tygron model dat nog aangepast moet worden naar een correct baseline scenario aan de hand van onder andere deze foto's.



Figuur 8: Tygron model overzicht met locatiebezoek foto's



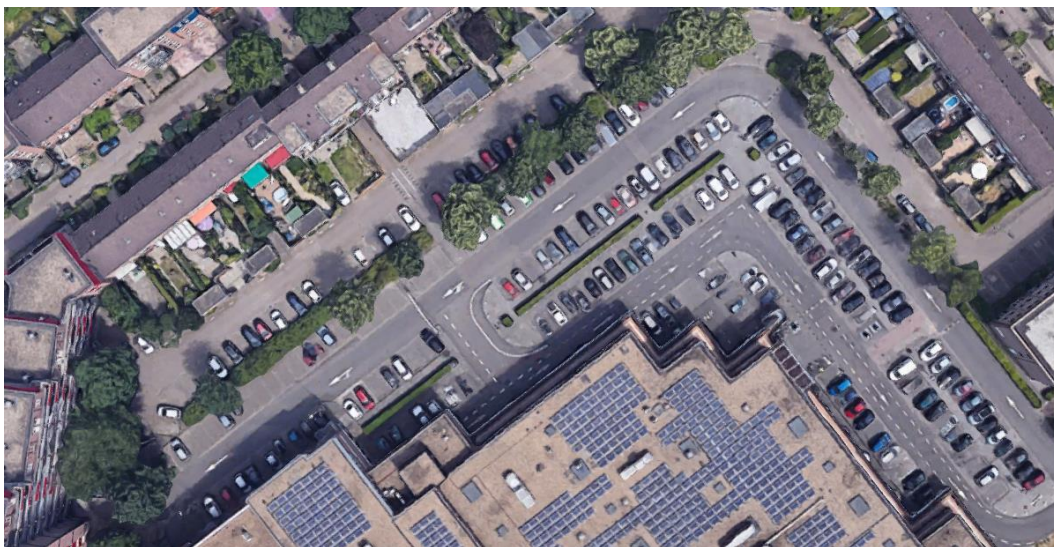
## B.5 Analyse Ontwerplocatie

### B.5.1 Locaties voor Stedelijk Groene Infrastructuur

Hieronder in Figuur 9 en Figuur 10 is een visueel overzicht weergegeven van de ontwerplocatie waarop de ontwerpstrategie toegepast zal worden. Te zien is dat er een groot gedeelte van de ontwerplocatie veel te warm is. De ontwerplocatie bestaat vooral uit wegen, voetpaden en parkeerplaatsen. In het grote rode gebied in Figuur 9 moet ruimte gevonden worden voor stedelijk groene infrastructuur. Het rode gebied boven de groene strook bomen zijn achtertuinen en valt dus grotendeels buiten het bereik van dit ontwerp aangezien dit particulier terrein is.



Figuur 9: Tygron Model bovenaanzicht en Hittestress om 15u op ontwerplocatie



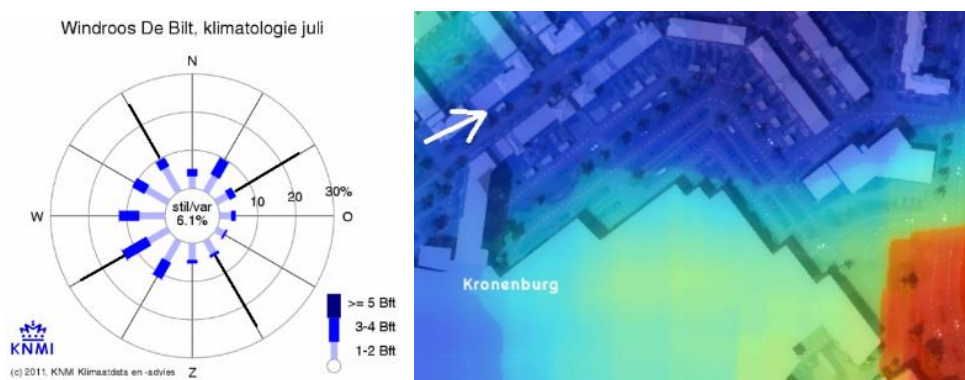
Figuur 10: Ingezoomd bovenaanzicht ontwerplocatie Google Maps

In Figuur 10 is goed te zien dat ruimte en potentiële plekken voor plaatsing van stedelijk groene infrastructuur in het ontwerpgebied beperkt zijn. Bij het toepassen van de ontwerpstrategie worden enkele praktische ontwerpvoorwaarden meegenomen, echter factoren als kosten, haalbaarheid en alle wensen zijn voor dit onderzoek niet meegenomen bij de ontwerpkeuzes. Bij het toepassen van de ontwerpstrategie zal gebruik gemaakt worden van de beperkte ruimte zoals de stroken tussen de parkeerplaatsen waar ze groot genoeg zijn, brede voetpaden en brede wegen waar ruimte beschikbaar is. En eventueel de gevels en daken waar het nodig kan zijn.



### B.5.2 Windkanalen in ontwerpgebied

Zoals te zien in Figuur 11 is de meest voorkomende zomerse windrichting in juli 270° en over het algemeen voornamelijk uit het westen. Aan de analyse van de windsnelheid met 4m/s gem., wat relatief hoog is voor een zomerse wind, is te zien dat over het hele ontwerpgebied en in Kronenburg een lage windsnelheid heerst. De invloed van de hoge gebouwen in Kronenburg is duidelijk te zien. Ook bij analyses met andere windsnelheden en richtingen blijven de windsnelheden binnen het ontwerpgebied. Omdat er onder de meeste omstandigheden weinig ventilatie, en dus ook geen significante ventilatiekanalen, is in de ontwerplocatie zullen stroken stedelijk groene infrastructuur loodrecht op de parkeerplaatsen geplaatst in plaats bij elke strook rekening te houden met de ventilatie. De ontwerpstrategie is daarom aangepast om eerst te onderzoeken of er in zomerse condities significante windsnelheden zijn die invloed kunnen hebben op het ontwerp.



Figuur 11: Gemiddelde zomerse windrichtingen en windsnelheden in ontwerpgebied bij gem. van 4 m/s bij 270°

### B.5.3 Huidige hittestress bij ontwerplocatie

Om het effect van het ontwerp te kunnen beoordelen is het belangrijk dat er ook gegevens zijn van de huidige situatie voor het toepassen van de ontwerpstrategie. Het ontwerp in het Tygron model bestaat uit een raster van 1m<sup>2</sup> en voor elke rasterpunt wordt de fysiologische equivalente temperatuur uitgerekend. Voor elke windrichting wordt elk uur tussen 12 en 18 uur de fysiologisch equivalente temperatuur berekend. Het gemiddelde, minimum, maximum, bereik en de standaard deviatie berekend. De PET hittestress schaal kan gevonden worden in Tabel 13. De invloed van ventilatie blijkt niet heel significant. Het maximale verschil bij de gemiddelden is 1.93 C° PET.

Tabel 18: PET Waarden in ontwerpgebied (Huidige Situatie) gemiddeld tussen 12u – 18u onder verschillende ventilatieomstandigheden

Dag	Wind	Minimum	Maximum	Bereik	Gemiddelde	Standaard Deviatie
1	Noord-Oost	41.2289	54.07713	12.84824	48.33727	5.222201
2	Zuid-Oost	40.72273	53.81627	13.09354	47.58344	4.847704
3	Zuid-West	40.53074	53.95269	13.42195	47.65589	4.950246
4	Noord-West	40.50189	51.2912	10.78931	46.41173	4.370759
5	Windstil	42.01569	53.0996	11.08391	47.12153	4.949963
<b>Gemiddelde:</b>		<b>40.0</b>	<b>52.2</b>	<b>12.2</b>	<b>46.6</b>	<b>4.89</b>

## B.6 Vervanging van verharding / plaatsen van gras

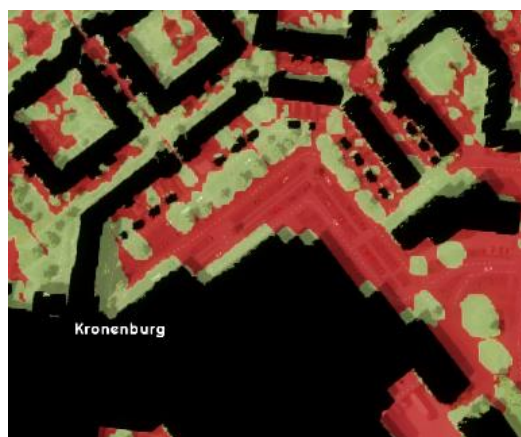
De volgende fase is het vervangen van verharding in het ontwerpgebied. Door verharding te vervangen ontstaat ruimte waar gras maar ook andere stedelijke groene infrastructuur geplaatst kan worden. Belangrijk is om deze stap onnodige verharding te definiëren. Echter is er geen algemene definitie die op alle mogelijke ontwerpgebieden van toepassing is. De definitie is afhankelijk van de context zoals ontwerpvoorwaarden van de gemeente. Gedurende het iteratieve ontwerpproces van de ontwerpstrategie is er een tool gevonden voor het bepalen van zinloze verharding. Sweco heeft hiervoor een tool in ontwikkeling die de volgende definitie hanteert voor verharding zonder functie: Te brede trottoirs (3 meter of breder), stedelijke verharde 'kunst' en verharde speelpleintjes. Deze definitie is overgenomen voor de ontwerpstrategie. Een ontwerper kan hier vanaf wijken en kan er natuurlijk voor kiezen minder of meer verharding te vervangen, de definitie is echter een goede richtlijn. De zinloze verhardingstool van Sweco is hieronder toegepast op heel Kronenburg die volgens de beschreven definitie de zinloze verharding definieert.



*Figuur 12: Zinloze Verharding Kronenburg*

## B.7 Plaatsen van Heggen & Struiken

De volgende fase is het plaatsen van heggen en struiken. Door de beperkte ruimte binnen het ontwerpgebied zijn er weinig ontwerpkeuzes die gemaakt kunnen worden. De uitgangspunten qua vormcomplexiteit en fragmentatie kunnen lastig geïmplementeerd worden in het ontwerpgebied. Op dezelfde gebieden als de zinloze verharding zijn struiken aangebracht. Op de hittestress kaart gaf dit geen zichtbaar resultaat.



*Figuur 13: Hittestress om 15u op ontwerplocatie na toevoegen van gras en heggen*

## B.8 Plaatsen van Bomen

Zoals te zien is in Figuur 13 is er nog weinig hittestress gemitigeerd door het ontwerp. De plaatsing van bomen zal dus de meeste hitte mitigatie moeten veroorzaken. Uit de richtlijnen van de ontwerpstrategie kan opgemaakt worden dat stroken bomen evenwijdig aan de windrichting het effectiefst zijn in hitte mitigatie. Waar mogelijk zijn de bomen ook evenwijdig aan de heersende windrichting geplaatst. Echter is dit niet overal mogelijk.



Figuur 14: Overzicht en hittestress om 15u in ontwerpgebied na plaatsen van gras, heggen en bomen

De resultaten, de fysiologische equivalente temperaturen (PET) in het ontwerpgebied zijn hieronder weergegeven in Tabel 19

Tabel 19: PET Waarden in ontwerpgebied (Heggen & Struiken, Bomen) gemiddeld tussen 12u – 18u onder verschillende ventilatieomstandigheden

Dag	Wind	Minimum	Maximum	Bereik	Gemiddelde	Standaard Deviatie	Som
1	Noord-Oost	40.50823	53.22378	12.71555	45.6926	5.349968	637731.6
2	Zuid-Oost	40.30416	53.09672	12.79257	45.16485	5.0536	630365.8
3	Zuid-West	40.22039	53.01657	12.79619	45.14638	5.05972	630108
4	Noord-West	40.21022	51.73238	11.52216	44.5758	4.59035	622144.5
5	Windstil	41.4637	53.52492	12.06123	46.17497	5.359273	644464.1
<b>Gemiddelde</b>		<b>40.54134</b>	<b>52.91887</b>	<b>12.37754</b>	<b>45.35092</b>	<b>5.082582</b>	<b>632962.8</b>

## B.9 Gevelgroen

In Figuur 14 is te zien dat er nog steeds te veel hittestress is in gebieden binnen het ontwerpgebied. Met name plaatsen waar geen schaduw is door geplaatste of bestaande bomen. Gevelgroen is dus een mogelijke optie om toe te voegen aan het ontwerp. De hittestress aan de bovenkant van het ontwerpgebied bevindt zich in achtertuinen van bewoners. De middelste strook bestaat uit parkeerplaatsen uit de buurt van een gevel. De enige geschikte optie is om de gevels van het winkelcentrum te bekleden. Het is in Tygron alleen mogelijk om alle gevels van een geheel gebouw te bekleden met gevelgroen. Door de foto's van het locatiebezoek is opgemerkt dat in de realiteit alleen de bovenste helft geschikt is voor een groene gevel. Het koelend vermogen is daardoor in de parameters gehalveerd. De gevelgroen locatie is hieronder weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15: Gevels waar gevelgroen is aangebracht

## B.10 Groene Daken

Het effect van het toegevoegde gevelgroen is niet significant terug te zien op de hittestress kaart. Wel laat een analyse van de fysiologisch equivalente temperatuur rondom het gevelgroen een kleine daling zien. Om deze daling te versterken kunnen er groene daken aangebracht worden. Het winkelcentrum is bij het bekijken van google maps en de foto's van het locatiebezoek geschikt aangezien het dak laag is en zoals uit het literatuur onderzoek is gebleken het effect op straatniveau al klein is. In Figuur 16 is de impact niet te zien maar deze is wel te zien in de data uit Tabel 20: PET Waarden in ontwerpgebied (Heggen & Struiken ) gemiddeld tussen 12u – 18u onder verschillende ventilatieomstandigheden. De gemiddelde hittestress om 15:00 is hieronder te zien in Figuur 16.



Figuur 16: Hittestress om 15u in ontwerpgebied na plaatsen van gras, heggen, bomen, groene gevels en daken

De fysiologische equivalente temperaturen (PET) zijn hieronder weergegeven in Tabel 20

Tabel 20: PET Waarden in ontwerpgebied (Heggen & Struiken ) gemiddeld tussen 12u – 18u onder verschillende ventilatieomstandigheden

Dag	Wind	Minimum	Maximum	Bereik	Gemiddelde	Standaard Deviatie	Som
1	Noord-Oost	40.24846	53.07654	12.82807	45.7175	5.353685	638079.2
2	Zuid-Oost	40.03954	52.9485	12.90896	45.15183	5.024194	630184.1
3	Zuid-West	39.39885	52.16831	12.76947	44.55766	4.886684	621891.3
4	Noord-West	39.66421	50.15717	10.49296	43.97833	4.345143	613805.5
5	Windstil	41.03056	53.34304	12.31248	46.19708	5.489353	644772.7
<b>Gemiddelde</b>		<b>40.07632</b>	<b>52.33871</b>	<b>12.26239</b>	<b>45.12048</b>	<b>5.019812</b>	<b>629746.5</b>

## B.11 Validatie Toepassing

Hieronder in Tabel 21 zijn de praktische ontwerpvoorwaarden gesteld aan het resulterende ontwerp bij het toepassen van de concept ontwerpstrategie gevalideerd.

Tabel 21: Toepassingsvalidatie Praktische Ontwerpvoorwaarden

Praktische Ontwerpvoorwaarden	Voldaan?
Het ontwerp moet bestaan uit een netwerk van beschaduwde routes die belangrijke (ontmoetings-)plekken verbinden	Hoewel het gebied uit een parkeerplaats bestaat en dus niet belangrijke ontmoetingsplekken verbindt is er geen netwerk van beschaduwde routes ontstaan door het ruimtegebrek.
Het toevoegen van groen moet bestaan uit het plaatsen van bomen en gevelgroen	Voldaan
Grotere parkeerterreinen moet anders ingericht worden om meer grote schaduw gevende bomen te plaatsen.	Door de beperkingen binnen Tygron was dit geen optie. Het is aannemelijk dat je meer hittestress mitigatie kan realiseren wanneer je meer ruimte kan creëren door parkeerplaatsen anders in te delen.
Boomkronen dienen 2 meter uit gevels ontworpen te zijn.	Voldaan
Boomkronen overlappen elkaar niet.	Voldaan
Bij nieuw te planten bomen in verharding is de minimale maat van de boomspiegel: Voor alle bomen minimaal 1x1m.	Hoewel lastig precies te meten in Tygron lijkt het er op dat hier aan voldaan is.
I.v.m. verkeersveiligheid (zichtlijnen) mag de beplanting het zicht op kruispunten niet belemmeren. In het oprijzicht mogen geen obstakels, bomen of beplanting staan die het zicht ontnemen.	Voldaan
De beplanting is max. 0,75m. hoog	Voldaan
Langs hoofdwegen de buitenzijde van de hagen minimaal 1m uit de kant van de weg ontwerpen. Bij erftoegangswegen moet het oprijzicht minimaal 5m voor de kantstreep of kant van de verharding van de hoofdweg aanwezig zijn. Bij uitritten minimaal 2,5m.	Niet van toepassing
Vakken voor klim- en leiplanten in verharding moeten zodanig ontworpen zijn dat er voldoende regenwater en lucht bij de wortels kan komen. Richtlijn is een vak van minimaal 0,5m breed, 1 m lang en 0,6m diep.	Kan niet vastgesteld worden in Tygron.

De eerste drie praktische ontwerpvoorwaarden zijn afgeleid uit de klimaatadaptatiestrategie van de gemeente Arnhem. Geconcludeerd kan worden dat om aan de voorwaarden te voldoen de huidige indeling van het ontwerpgebied aangepast moet worden. Echter doordat dit niet nauwkeurig ontworpen kon worden in Tygron is dit buiten beschouwing gelaten waardoor het ontwerp waarschijnlijk niet optimaal is. Aan de meeste praktische ontwerpvoorwaarden uit de gids openbare ruimte aan een ontwerp in de gemeente Arnhem is voldaan. Enkele voorwaarden zijn niet van toepassing of kunnen niet vastgesteld worden in het model. Het ontwerp voldoet dus grotendeels aan de voorwaarden van een stedelijk groen infrastructuur ontwerp in Arnhem.

Hieronder in Tabel 22 zijn de theoretische ontwerpvoorwaarden gesteld aan het resulterende ontwerp bij het toepassen van de concept ontwerpstrategie gevalideerd.

Tabel 22: Toepassingsvalidatie Theoretische Ontwerpvoorwaarden

Theoretische Ontwerpvoorwaarden	Voldaan?
Straatbomen moeten effectief geïmplementeerd worden (in plaats van bomen overall) afhankelijk van de specifieke kenmerken van het terrein (hoogte-breedteverhouding, oriëntatie op de zon)	Voldaan
Plaats loofbomen met grote overkappingen, vooral in gebieden met hoge zonnestraling.	Voldaan
Het schaduwgebied moet rond het maximum van de dag zijn tijdens de periode met de hoogste straling tussen 12:00 en 16:00.	Voldaan
Houd koude luchtcorridors open.	Alleen windsnelheden zijn inzichtelijk in Tygron. In combinatie met de windrichting en het 3d model is een inschatting gemaakt. Echter is de invloed van gebouwen lastig in te schatten. In de resultaten is de invloed van de wind wel terug te zien.
Verhoog het groene aandeel in steden aan de windzijde van de heersende zomerwindrichting.	Niet van toepassing gebleken op de ontwerplocatie schaal maar op de stadschaal.
Voor het hoogste gemiddelde koeffect over het ontwerpgebied moet gras en heggen / struiken een zo laag mogelijke fragmentatie hebben en bomen een zo hoog mogelijke fragmentatie.	Voldaan waar mogelijk.
Wanneer een hogere maximum koeffect in een gebied gewenst is ten koste van het gemiddelde koeffect moet gras en heggen / struiken en bomen met een lage fragmentatie aangelegd worden.	Voldaan waar mogelijk.
Heggen / Struiken en Bomen moeten binnen het ontwerpgebied aangelegd worden met de hoogst mogelijke vormcomplexiteit.	Voldaan waar mogelijk.
Wanneer groene zones op straatniveau aangelegd worden in stroken moet de heersende zomerwindrichting parallel zijn.	Voldaan, alleen qua zomerwindrichting niet overall.

Over het algemeen voldoet het ontwerp aan de theoretische ontwerpvoorwaarden. Echter zijn de voorwaarden gerelateerd aan de meest optimale plaatsing van verschillende typen vaak niet toegepast door beperkte ruimte en vrijheid in het ontwerp. Hierdoor kon bijvoorbeeld niet de aanbevolen fragmentatie of vormcomplexiteit gekozen worden in het ontwerp. Bij een ontwerp waar meer vrijheid en ruimte is voor plaatsing van stedelijk groene infrastructuur kunnen de aanbevelingen uit de ontwerpstrategie beter toegepast worden. Bijvoorbeeld bij een project wat geheel (op)nieuw ontworpen moet worden. Dit wordt dan ook meegenomen in de aanbevelingen voor verder onderzoek. Ook kan geconcludeerd worden dat de ontwerpstrategie tot optimalere resultaten zal leiden wanneer er meer vrijheid is bij het plaatsen van stedelijk groene infrastructuur en het aanpassen van huidige infrastructuur.



## Appendix C Interview

In deze appendix is het gesprek met een ontwerp stedenbouw en landschap van de gemeente Arnhem gedocumenteerd. Het eerst gedeelte van het gesprek was een interview met voorbereide vragen over het huidige ontwerpproces met stedelijk groen bij de gemeente Arnhem. Het tweede gedeelte bestaat uit een gesprek waarin de ontwerpstrategie gepresenteerd en uitgelegd is waarbij vervolgens feedback besproken is en enkele validatievragen doorgenomen zijn.

### C 1 Interview Protocol met notulen

Functie geïnterviewde	Ontwerper Stedenbouw en Landschap Gemeente Arnhem
Datum	11 – 01 - 2021
Tijd	14:00 – 15:00
Plaats	Online (Microsoft Teams)

#### Interview naar huidige ontwerpstrategie bij stedelijk groen ontwerp in de gemeente Arnhem.

- Wat houdt je functie als ontwerper openbare ruimte precies in?  
“Ik ben ontwerper bij stedenbouw en landschap, dat is de stap voor de werkvoorbereiding bij de afdeling Openbare Ruimte. Bij stedenbouw en landschap kijken we naar de Stedenbouwkundige structuren en landschappelijke onderlegger. Wij zorgen voor een ontwerp dat past binnen de vastgestelde Structuurvisie en Groenvisie. Daarbij houden we rekening met de ruimtelijke kwaliteit. Het ontwerp dat wij maken gaat vervolgens naar de ontwerpers van openbare ruimte en zij werken het ontwerp verder uit richting uitvoering.”
- Wat is je rol bij het ontwerpen van stedelijk groene infrastructuur?  
“Openbaar groen is onderdeel van de openbare ruimte, soms betreft het een plein, soms een speleplek en soms gaat alleen om groen specifiek. Dus de soms maak je een 'groenontwerp' en soms maak je een ontwerp met daarin een onderdeel groen.”
- Wie is er nog meer bij betrokken, altijd als gemeente zelf of worden consultants ingehuurd?  
“Dat is afhankelijk van de situatie, als bijvoorbeeld de omgeving van station Arnhem ontworpen moet worden, waar veel belangen samenkomen, dan worden er ook architectenbureaus ingeschakeld. Betreft het een plein op buurtniveau dan pakt de gemeente het zelf op in samenwerking met bewoners. Er wordt per opdracht bekeken of er een extern bureau wordt ingeschakeld. Voor de wijk Kronenburg heeft een stedenbouwkundig adviesbureau de opdracht gekregen voor het schrijven van een ontwikkelperspectief. Het verminderen van hittestress is hier een onderdeel van. Kronenburg is relatief ingewikkeld omdat er meerdere processen door elkaar heen lopen. Zowel op buurtniveau (vergroten en vergroenen boomspiegels) als op stadsniveau (ontwikkelingen winkelcentrum) lopen er projecten. Dat houdt in dat er veel verschillende collega's mee bezig zijn en er verschillende belangen spelen. De projectmanager moet ervoor zorgen dat al die belangen de aandacht krijgen die het verdient.”
- Wat zijn de belangrijkste doelen / uitgangspunten bij het ontwerp met stedelijk groen?  
“Dit kan verschillen per ontwerp, maar in de algemene zin zijn dit onder andere kwaliteit ruimtelijk beeld, verblijfskwaliteit, sociale veiligheid, hittestress en waterberging/-waterafvoer. Daarnaast is het belangrijk aandacht te schenken aan het bieden van een bepaald programma. Je moet daarbij denken aan beweegroutes, stadslandbouw, (winkel)voorzieningen, horeca.”

- Wordt er vaak een opdracht gegeven voor een ontwerp met als doel vergroening door plaatsing van stedelijk groene infrastructuur en zal deze opdracht dan ook vaker gegeven worden in de toekomst?  
 “Dit gebeurt al regelmatig, de opdracht is dan om een stuk openbare ruimte zoals een plein te vergroenen, hierbij is stedelijk groen niet slechts alleen een aspect binnen het ontwerp. Dit type opdracht zal ook toenemen door de klimaatadaptatiestrategie. Een hoofddoel bij ontwerpen is op dit moment ook al om in elk project 10% minder verharding terug te brengen.”
- Is er een speciale ontwerpstrategie voor het ontwerpen met stedelijk groene infrastructuur, met name gericht op hitte mitigatie?  
 “De aanpak is in principe niet anders dan bij andere opdrachten. Wel heb je bijvoorbeeld te maken met het bomenplan wat inhoudt dat het saldo bomen bij een ontwerp in de plus moet komen. Of in ieder geval gelijk moet blijven. De aanpak hangt ook af van de vraag, als het bijvoorbeeld om een klein pleintje gaat wordt het project opgepakt samen met de bewoners. Wanneer de opdracht groter is dan wordt begonnen met een project start up waarbij alle disciplines bij elkaar komen. Stedelijk groen is dan een onderdeel, maar je hebt ook mobiliteit, milieu etc. Vanuit de verschillende disciplines wordt aangegeven wat belangrijk is en daar wordt een ontwerpproces mee gestart.”
- Bij huidige ontwerpen met stedelijk groen, in hoeverre wordt al gekeken naar stedelijke hitte mitigatie?  
 “Sinds kort kunnen we gebruik maken van een hittetool die het effect van een ontwerp op hittestress kan weergeven. Zelf gebruik ik de tool niet meer omdat je alleen de mogelijkheid om groen toe te voegen, terwijl je soms ook verharding aan moet brengen om een ander deel groener te kunnen maken. Dit behoort niet tot een van de mogelijkheden. Dus op het moment wordt bij het ontwerpen vooral gebruikt gemaakt van logisch nadenken. Wanneer er bijvoorbeeld bomen van de 1<sup>e</sup> orde geplaatst worden (grootste boomgrote uit technische ontwerpvoorwaarden ‘laan & straatbomen’) zorgt het voor meer verkoeling en wanneer je wind wilt behouden moet je niet teveel grote bomen plaatsen voor de verkoelende windrichting. Ik zou wel graag een tool gebruiken om te kijken wat de meest effectieve ontwerpkeuzes zijn voor het beperken van hittestress, echter zijn de tools op dit moment nog niet toereikend.
- Lopen jullie tegen problemen aan bij het ontwerpen stedelijk groen?  
 “De tools voor het bepalen en weergeven van de effecten op hittestress bij een ontwerp zijn nog niet toereikend genoeg om gebruikt te worden bij een project.”
- Hebben jullie voldoende kennis ter beschikking voor ontwerp met stedelijk groene infrastructuur?  
 “Er zijn tegenwoordig heel veel Webinars over klimaatadaptief ontwerpen die bijgewoond kunnen worden. Er is ook een team klimaatadaptatie waarbij vragen aangeklopt kan worden. Wanneer zij ook iets niet weten wordt er onderzoek gedaan bij externe partijen. Soms doen we een pilot om zelf te onderzoeken of iets werkt of niet. En ook door samen met collega’s te sparren kom je samen stap voor stap verder.”



## C 2 Feedback gesprek over bruikbaarheid van ontwerpstrategie.

### Protocol

- Uitleggen van de ontwerpstrategie.
  - o Hoe de ontwerpstrategie is ontworpen
    - Probleemverkenning, ontwerp inclusief iteratieve toepassing, validatie
  - o Voorwaarden van de ontwerpstrategie
    - Belangrijk om te benoemen dat de ontwerpstrategie ontworpen is voor effectieve hittemitigatie en dat er in de realiteit waarschijnlijk concessies gedaan moeten worden vanwege andere functies en gevolgen van een ontwerp.
  - o De bevindingen van de wetenschappelijke literatuur die verwerkt zijn in de literatuur.
  - o Strategie per fase doorlopen
- Vragen om feedback over de ontwerpstrategie  
Validatievragen:
  - o Wat is goed?
  - o Wat kan beter?
  - o Is het realistisch?
  - o Is er overlap met de huidige ontwerpaanpak?
  - o Kan het toegepast worden in een ontwerpproces bij de gemeente Arnhem.
    - Niet, deels of volledig? Wat wel, wat niet?
    - Zijn er aanpassingen mogelijk om die toepasbaarheid te verbeteren?

### Samenvatting

\*De onderstaande paragrafen zijn geen citaten maar een samenvatting van het gesprek en bevatten parafraseringen.

Het is voor de gemeente Arnhem niet logisch om voor gras / vervangen van verharding, heggen & struiken en bomen een aparte fase te hebben aangezien dit altijd een geheel is bij een ontwerp met stedelijk groene infrastructuur. Gevelgroen en groene daken zijn niet altijd een onderdeel maar tijdens een ontwerpproces wordt er in principe nooit in het proces een afweging gemaakt of groene gevels bijvoorbeeld nog nodig zijn omdat bomen misschien al genoeg hittestress reduceren. Als gevelgroen een mogelijkheid is binnen het ontwerp wordt gekeken waar het passend is qua het beeld wat gerealiseerd moet worden. Het is wel zo dat bij gevelgroen je aan gebouw komt met het ontwerp en je te maken krijgt met woningbouwcoöperaties, huis- en pandeigenaren. Dat is altijd een samenwerking maar wanneer de welwillendheid er is dan wordt dat aangepakt en dan niet zozeer alleen voor hittestress maar ook voor vogels bijvoorbeeld.

Als een echte ontwerpstrategie kan de ontwerpstrategie niet stap voor stap toegepast worden door de gemeente Arnhem. De ontwerpstrategie is volledig gericht op het beperken van hittestress. Bij een ontwerp worden vele andere factoren zoals bijvoorbeeld biodiversiteit ook meegenomen. Bij het ontwerpproces is dus ook nooit sprake van een stappenplan maar van meer van een geheel. Ook is het invoeren van een ontwerp om te kijken wat het effect hier van is nog niet mogelijk zoals besproken in het interview gedeelte. De software is nog niet toereikend, wel is het mogelijk om het ontwerpgebied vooraf te analyseren op hittestress.

In plaats van de ontwerpstrategie stap voor stap toepassen is het wel geschikt als checklist of richtlijnen voor hittestress reductie met stedelijk groene infrastructuur. Zo kan je bijvoorbeeld bij het plaatsen van grote bomen denken dat er veel hittedeductie zal zijn, terwijl het mogelijk is dat koeling

door de wind wegvalt door het ontwerp. De ontwerpstrategie als een aantal richtlijnen kan hier in combinatie met een tool bij helpen om een ontwerp op weg te helpen bij hitte reductie. De verschillende fases per type stedelijke infrastructuur kunnen bijvoorbeeld ook aan het eind van een ontwerp doorgelopen worden om te kijken of overal rekening mee gehouden is.

Een toegevoegde waarde van de ontwerpstrategie is dat het mogelijk maakt om in sommige gevallen bijvoorbeeld te kijken een groene gevel de investering waard is ten opzichte van bijvoorbeeld nog een grote boom plaatsen. Een andere toegevoegde waarde is dat het de communicatie rond het ontwerp kan verbeteren. Door op papier aan te tonen hoe het ontwerp bijdraagt aan hitereductie helpt het verhaal te verkopen. Een suggestie voor verbetering is om de fases aan te passen met het onderscheid tussen stedelijk groen op straatniveau en niet op straatniveau. Het is voor de gemeente een voordeel om te kunnen kijken of ze al genoeg aan hitereductie doen op eigen terrein of dat het de moeite waard is om andere partijen te benaderen voor bijvoorbeeld gevelgroen.

## Appendix D Foto's Locatiebezoek Kronenburg

















