

# Klimaatadaptieve stadsbomen

Een groene blik op klimaatverandering



Afstudeeropdracht

Robin Kruitbosch  
Robin van Milligen

13 juni 2014



# **Klimaatadaptieve stadsbomen**

Een groene blik op klimaatverandering

Hogeschool Van Hall Larenstein  
Velp, Juni 2014



## Colofon

### **Auteurs**

Robin Kruitbosch  
Robin van Milligen

### **Opleiding**

Tuin & landschapsinrichting

### **Onderdeel**

Afstudeeropdracht

### **Afstudeerrichting**

Realisatie T&L

### **Onderwijsinstituut**

Hogeschool Van Hall Larenstein te Velp

### **Studiejaar**

4e jaar

### **Begeleiding Larenstein**

Laura Tanis  
Jan van Merriënboer

### **Periode**

01 februari 2014 t/m 13 juni 2014

### **Eerste druk**

13 juni 2014

*Niets uit deze uitgave mag  
verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt  
worden door middel van druk, fotokopie,  
microfilm of op welke andere wijze dan  
ook, zonder voorafgaande toestemming  
van de auteurs*





# Voorwoord

Voor u liggen de resultaten van hét onderzoek naar de klimaatadaptieve baten van stadsbomen. Dit product is vervaardigd door twee studenten als afstudeeropdracht voor de studie Tuin- & Landschapsinrichting, gevolgd aan hogeschool Van Hall Larenstein te Velp. Na het lezen van deze rapportage zult u anders gaan kijken naar bomen, de inrichting van de stad en de gevolgen van klimaatverandering. De betekenis van bomen wordt helaas nog steeds sterk onderschat. De “nadelen”, zoals de kosten van aanschaf en onderhoud zijn bij de meeste wel bekend. De vele voordelen, ook wel baten van bomen genoemd, zijn veel minder bekend. Met dit rapport wordt een deel van deze baten, namelijk de klimaatadaptieve baten, inzichtelijk gemaakt. Dit rapport dient als informatiebron en handleiding voor alle betrokken partijen bij de inrichting van de openbare ruimte om deze openbare ruimte voor nu en de toekomst klimaatadaptief in te richten. Zowel het bomensortiment als de groeiplaats van de boom worden in de schijnwerpers gezet.

De resultaten van dit onderzoek zijn mede tot stand gekomen met de hulp van een aantal experts binnen dit groene vakgebied. Wij bedanken met name de heer A. Dekker, werkzaam bij de gemeente Apeldoorn, wie ons heeft voorzien van veel informatie over verschillende aspecten uit dit onderzoek. Daarnaast spreken wij ons dank uit naar de heer J. Kopinga (werkzaam bij de Wageningen UR), M. Hop (werkzaam bij PPO) en M. Lansink (werkzaam bij BTL Apeldoorn) voor de verkregen informatie, waarmee wij dit onderzoek naar een hoger niveau hebben kunnen tillen. Daarnaast bedanken wij onze onderzoeksbegeleiders Laura Tanis en Jan van Merriënboer voor de goede feedback en begeleiding vanuit hogeschool Van Hall Larenstein.

Wij hopen u als lezer enthousiast te maken over de vele baten van bomen op het gebied van klimaatadaptatie en wensen u veel leesplezier.

Robin Kruitbosch

Robin van Milligen







# Inhoud

<u>Omschrijving</u>	<u>Pagina</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>Pagina</u>
<b>Voorwoord</b>	<b>i</b>	<b>4 De klimaatadaptieve groeiplaats</b>	<b>51</b>
<b>Inhoudsopgave</b>	<b>ii</b>	4.1 Het belang van de groeiplaats	53
<b>1 Klimaatadaptie met bomen</b>	<b>7</b>	4.2 Doorwortelbare ruimte	55
1.1 Waarom dit onderzoek?	9	4.3 Draagkracht	59
1.2 Afbakening	12	4.4 Verankering	63
1.3 Onderzoeksmethodiek	13	4.5 Zuurstofvoorziening	65
1.4 Leeswijzer	14	4.6 Groeimedium	67
<b>2 Klimaatverandering</b>	<b>15</b>	4.7 Klimaatadaptieve vochtvoorziening	69
2.1 Mondiale klimaatverandering	17	<b>5 De klimaatadaptieve boom en groeiplaats</b>	<b>75</b>
2.2 Gevolgen voor de stad	19	5.1 De investering	77
<b>3. De klimaatadaptieve bijdrage van stadsbomen</b>	<b>23</b>	5.2 Horeca plein	79
3.1 De klimaatadaptieve baten van bomen	25	<b>6 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>81</b>
3.2 Verdamping	27	6.1 Conclusies	83
3.3 Schaduwwerking	33	6.2 Aanbevelingen	87
3.4 Criteria en sortiment	35	<b>7 Bijlagen</b>	<b>91</b>
3.5 Baten en baathouders	45	7.1 De experts aan het woord	93
3.6 Ontwerpaspecten	49	7.2 Begrippenlijst	95
3.7 Feiten en aannames	50	7.3 Bronvermelding	97
		7.4 Bronvermelding afbeeldingen	99





# Klimaatadaptatie met bomen

# 1



Een onderzoek naar de klimaatadaptieve mogelijkheden van bomen. Waarom is zo'n onderzoek nodig? Dat is de vraag die in dit eerste hoofdstuk centraal staat. Daarnaast komen vragen als "Wat is de doelstelling van dit onderzoek?", "Waarom bomen?" en "Wat is klimaatadaptatie?" in dit hoofdstuk aan bod. Allemaal vragen die het nut en het doel van dit onderzoek aan de kaak stellen.

De foto op deze titelpagina lijkt misschien wat misleidend. Dit onderzoek gaat immers over de stedelijke omgeving. Toch is dit een prachtig voorbeeld van een baat van bomen, waar kennelijk wereldwijd dankbaar gebruik van wordt gemaakt.

# Doelstelling



Afb 1.1 Regenwateroverlast is een groot nadelig gevolg van klimaatverandering



Afb 1.2 Het veranderende klimaat in de stad vraagt om nieuwe strategieën

## 1.1 Waarom dit onderzoek?

De komende jaren zal klimaatverandering een steeds belangrijker onderwerp gaan worden voor alle, bij de openbare ruimte, betrokken partijen. We zullen met zijn allen spoedig met oplossingen moeten komen die niet alleen voor de komende jaren maar ook in de verre toekomst zorgen voor een leefbare stad. Een stad die niet langer vecht tegen de gevolgen van klimaatverandering, maar zich juist openstelt voor klimaatverandering en hier adaptief op inspeelt.

Dit brengt ons bij het begrip klimaatadaptatie. Dit betekent het aanpassen van een bepaalde situatie aan de gevolgen van de klimaatverandering om zo de situatie in de stad leefbaar te houden. Hier voegen wij aan toe dat deze adaptatiemaatregelen niet alleen voor nu maar ook voor de toekomst oplossingen moeten bieden. Klimaatverandering is echter een erg omvangrijk begrip. Dit onderzoek richt zich op een tweetal gevolgen van klimaatverandering, namelijk regenwateroverlast door de steeds heftiger wordende piekbuien en de hittestress wat zich in het stedelijk gebied steeds vaker en heftiger voordoet. Deze twee onderdelen vormen de kapstok waaraan de verschillende onderdelen van dit onderzoek worden opgehangen. De oorzaken van klimaatverandering, zoals de CO<sub>2</sub> concentratie in de lucht, worden niet behandeld in dit onderzoek.

Dit beantwoordt echter nog niet de vraag “Waarom klimaatadaptatie met bomen?”. Het antwoord hierop is kort en eenvoudig. Bomen leveren veel baten die op een natuurlijke en milieubewuste wijze kunnen bijdragen aan een leefbaar stadsklimaat voor nu en de toekomst. Naar verwachting gaat klimaatverandering zorgen voor problemen. Niet alleen in Nederland, maar ook wereldwijd. Dit hebben verschillende betrouwbare bronnen, zoals het KNMI, aangetoond<sup>[10]</sup>. Het stedelijk gebied is door een aantal factoren, welke te lezen zijn in hoofdstuk twee, extra kwetsbaar voor de in de vorige alinea genoemde gevolgen. De genoemde piekbuien kunnen voor veel wateroverlast zorgen wat in direct verband staat met financiële schades en ongemakken. De hittestress kost, naast veel fossiele energie om de airco's aan te drijven, geld op het gebied van



de gezondheidszorg. Mensen ondervinden in een verhitte stad meer gezondheidsklachten en in extreme gevallen leidt deze hitte tot sterfgevallen. Genoeg belangrijke redenen dus om deze klimaatproblematiek met beide handen aan te pakken en te zorgen voor een leefbare stad, voor nu en de toekomst.

Bomen zullen voor veel mensen als vreemde keuze worden gezien om deze doelstelling mee te behalen. Toch is de keuze voor bomen verre van vreemd. Bomen hebben van nature enorm veel baten waar wij als mensen de baathouders van zijn, alleen zijn deze baten simpelweg bij veel mensen niet bekend of nog niet inzichtelijk gemaakt. Dit resulteert in weinig draagvlak voor de toepassing van bomen, met name bij projecten waar sprake is van een krap budget of conflicten met ondergrondse en bovengrondse infrastructuur. Met de wetenschap dat bomen in een openbare ruimte hét element kunnen vormen welke de ruimte tot een succes maakt en er enorm veel baten blijven liggen wanneer bomen niet worden toegepast, is het enorm zonde dat bomen de ondergeschikte factor vormen bij projecten. Draagvlak creëren voor het toepassen van bomen met de juiste groeiomstandigheden vormt daarom een belangrijke subdoelstelling voor dit onderzoek.

Deze doelstellingen resulteren in een onderzoek naar de manier waarop en met welke middelen bomen een belangrijke rol kunnen spelen in het adaptief maken van het stadscentrum. Hieruit volgt de volgende onderzoeksvraag: **“Met welk sortiment van bomen en optimale vormgeving van de groeiplaats kan een zo groot mogelijke bijdrage worden geleverd aan het klimaat adaptief maken van het stadscentrum?”**. Deze vraag vormt de hoofdlijn van dit onderzoek. De genoemde sortimentsbepaling staat daarbij in direct verband met een innovatieve technische oplossing om de genoemde klimaatadaptatie met bomen ook mogelijk te kunnen maken in het versteende stadscentrum. Om een goed gefundeerd antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag zijn een aantal deelvragen opgesteld. Met deze deelvragen wordt stap voor stap gewerkt naar de uiteindelijke technische oplossing en sortimentsbepaling.



Afb 1.3 Bomen, grote leveranciers van baten voor de mens

# Deelvragen



Afb 1.4 Schaduw, een belangrijke klimaatadaptieve baat



Afb 1.5 Een juiste groeiplaatsinrichting is belangrijk voor boom en omgeving

De eerste deelvraag is logischerwijs de vraag **“Waarom klimaatadaptieve stadsbomen?”**. Zoals in deze paragraaf te lezen is wordt deze vraag beantwoordt door de noodzaak van klimaatadaptieve maatregelen en de eigen doelstelling om voor de toepassing van bomen meer draagvlak te creëren door enkele van de vele baten van bomen inzichtelijk te maken. De tweede deelvraag luidt: **“Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering voor de stad?”**. Deze vraag is noodzakelijk om te begrijpen wat de gevolgen van klimaatverandering voor de stad zijn en welke maatregelen nodig zijn om deze gevolgen het hoofd te bieden. Daarnaast kan het antwoord op deze vraag de ernst van de klimaatverandering voor de stad inzichtelijk maken. Het antwoord op de derde deelvraag **“Wat zijn de klimaatadaptieve baten van stadsbomen?”** maakt inzichtelijk welke baten bomen leveren op het gebied van klimaatadaptatie. Het beschrijven van deze baten is belangrijk om het nut van bomen als klimaatadaptieve maatregel duidelijk te maken.

De vierde deelvraag speelt verder in op deze baten door bomensortiment te koppelen aan de klimaatadaptieve baten. Deze deelvraag luidt: **“Met welk sortiment profiteert het stadscentrum optimaal van de klimaatadaptieve eigenschappen van bomen?”**. Om maximaal van deze baten te kunnen profiteren is het belangrijk dat niet alleen de juiste boom gekozen wordt maar dat de boom zich ook goed kan ontwikkelen in het stadscentrum. Om dit doel te kunnen bereiken luidt de vijfde deelvraag als volgt: **“Met welke groeiplaatsinrichting profiteert het stadscentrum optimaal van de klimaatadaptieve eigenschappen van bomen?”**. De enige vraag die nu overblijft is “Werkt het ook echt?”. Anders gezegd **“Hoe groot is de bijdrage van de stadsboom met optimale groeiplaats voor de klimaatadaptatie van het stadscentrum?”**. Dit vormt de zesde en laatste deelvraag waarmee, in combinatie met de andere vijf deelvragen, antwoord wordt gegeven op de hoofdvraag. De volgorde waarin deze deelvragen hierboven zijn weergegeven vormt in grove lijnen de indeling van dit rapport.



## 1.2 Afbakening

Tot op heden worden er eindeloze onderzoeken gedaan naar welke gevolgen de klimaatveranderingen nou eigenlijk voor ons hebben. Opvallend vaak wordt er onderzoek gedaan naar manieren om de snelheid waarmee het klimaat veranderd te remmen. Dit onderzoek gaat echter niet in op het remmen van de klimaatverandering, maar “accepteert” de gevolgen van de huidige en toekomstige klimaatverandering. Dit onderzoek speelt juist in op de gevolgen van klimaatverandering en gaat een oplossing bieden waarmee deze gevolgen acceptabel worden. Naast deze afbakening binnen het thema klimaatverandering wordt zowel op schaalniveau als op sortiment een afbakening gemaakt. De motivatie voor deze afbakening is hieronder te lezen.

### Het stadscentrum

Uit voorgaande onderzoeken (o.a. CROW publicatie Aanpassen openbare ruimte aan klimaatverandering, 2010<sup>[4]</sup>) is gebleken dat in het stedelijk gebied de gevolgen van klimaatveranderingen een grotere impact hebben op de leefbaarheid in de stad dan in het buitengebied. Met name in het centrum van de stad is deze impact groot. Tegelijkertijd is het voor het stadscentrum des te moeilijker om deze gevolgen te bestrijden. Dit heeft vooral te maken met de beperkte ruimte, de vele belangen bij het centrumgebied afkomstig van vele verschillende belanghebbenden en de grote hoeveelheden verhard oppervlak. Dit betekent dat de behoefte aan klimaatadaptieve middelen in het stadscentrum niet alleen het grootst is, maar dat de uitdaging om klimaatadaptieve middelen toe te passen in het stadscentrum ook het grootst is. Deze combinatie van uitdaging en behoefte maakt deze afbakening voor ons een logische stap. Belangrijk is wel te vermelden dat dit onderzoek zich niet richt op de 'onmogelijke' plekken om bomen te plaatsen zoals zeer smalle winkelstraten maar wel op plekken als pleinen, bredere winkelstraten, parkeerplaatsen en toegangswegen naar of rondom het centrum.

### Bomen

Een ander veel voorkomend probleem in het binnenstedelijk gebied is de schaarste aan groen. Gemeenten hebben moeite om bomen in te passen in het centrum. Het grote aandeel verhard oppervlak en de schaarste aan boven- en ondergrondse ruimte dragen bij aan dit probleem. Uit voorgaande onderzoeken is gebleken dat bomen echter een positief effect hebben op de leefbaarheid in de stad (o.a. Ecosysteemdiensten, de baten van stadsbomen, 2014<sup>[19]</sup>) en dat bomen daarnaast bijdragen aan de bestrijding van de gevolgen van klimaatverandering. Andere beplantingsgroepen zoals heesters en dak- en gevelgroen hebben deze eigenschappen in meer of mindere mate ook. Gezien de vele baten van bomen en daarnaast onze grote interesse in bomen worden de andere beplantingsgroepen in dit onderzoek niet meegenomen.



Afb 1.6 Het toepassen van een boom is in dergelijke straten niet haalbaar

## 1.3 Onderzoeksmethodiek



Afb 1.7 De ijsbeer, symbool van de mondiale klimaatverandering



Afb 1.8 Stadsbomen vormen de leidraad voor dit onderzoek

De hoofdlijn van dit onderzoek wordt gevormd door de relatie tussen de klimaatproblematiek in het stedelijk gebied en bomen. Om een goed beeld te krijgen van de klimaatproblematiek start dit onderzoek met een beschrijving van de klimaatverandering. In dit hoofdstuk wordt de klimaatverandering in eerste instantie op mondiale schaal bekeken, vervolgens zoomen wij in op Nederland. Bij dit onderdeel zal in grote lijnen beschreven worden hoe klimaatverandering ontstaat en welke gevolgen dit geeft. Aangezien vele gevolgen van klimaatverandering geen directe invloed hebben op het stadscentrum is de beschrijving van deze mondiale klimaatverandering zeer beknopt. Vervolgens zullen de gevolgen van de klimaatverandering voor het stedelijk gebied beschreven worden. De literatuur biedt voor deze onderdelen genoeg informatie om tot het hierboven beschreven gewenste resultaat te komen.

Na afloop van dit deelonderzoek is duidelijk welke gevolgen van klimaatverandering in het stadscentrum een rol spelen en hoe groot de problemen zijn die hieruit volgen. Nu is het belangrijk om met oplossingen te komen. Allereerst komt het sortiment aan bod. Welke klimaatadaptieve baten leveren bomen en hoe kunnen deze verkregen worden? Dat zijn de belangrijkste vragen waar een antwoord op gevonden gaat worden. Voor dit onderdeel is veel vakkennis en expertise op het gebied van deze baten nodig. Om voor dit onderdeel de juiste antwoorden te kunnen vinden op de gestelde hoofdvraag en deelvragen (zie paragraaf 1) zullen verschillende experts worden ingeschakeld en bevraagd. De informatie verkregen uit deze gesprekken zal met elkaar worden vergeleken om tot een eenduidig en gefundeerd antwoord te komen. De baten worden aan de hand van deze gesprekken gekoppeld aan bomensortiment door criteria te stellen waaraan de boom moet voldoen om de baat goed te kunnen vervullen. Informatie uit literatuur of andere onderzoeken naar dit onderwerp wordt uiteraard ook meegenomen.

Zoals al vaker genoemd is een boom met een slechte groeiplaats niets waard. Het is belangrijk dat een boom zijn baten ook kan vervullen. Spreekwoordelijk gezegd is een goede groeiplaats het



## 1.4 Leeswijzer

halve werk. Daarnaast kan een ondergrondse voorziening ook bijdragen aan het klimaatadaptief maken van het centrum. Door de voorziening bijvoorbeeld een waterbergend vermogen te geven, kan het regenwater naar deze voorziening wegstromen. De inrichting van deze multifunctionele groeiplaats vereist veel kennis en expertise. Deze kennis zal worden verzameld door middel van literatuurstudies en gesprekken met experts uit de bomenwereld, maar ook uit de civiele wereld. Door deze twee “werelden” met elkaar te verbinden zal volgens ons het beste uit deze twee in een prachtig groeiplaatsontwerp verwerkt kunnen worden.

Dit onderzoek sluit af met een aantal voorbeeldtoepassingen waarbij de klimaatadaptieve boom en klimaatadaptieve groeiplaats tezamen worden ingepast in verschillende situaties. Waar mogelijk worden de baten in geld uitgedrukt om een goed beeld te geven wat deze klimaatadaptieve maatregelen daadwerkelijk opleveren. De verkregen kennis uit voorgaande hoofdstukken is hiervoor leidend. Daarnaast zal het financiële aspect voorkomen uit literatuuronderzoek en waar mogelijk uit de gesprekken met de experts.



Afb 1.9 Bomen ingepast in het centrum

Dit rapport is opgedeeld in zeven hoofdstukken. Het eerste hoofdstuk vormt de inleiding van dit rapport, waar deze leeswijzer een onderdeel van is. In deze inleiding wordt het nut en de noodzaak van dit onderzoek beschreven. Tevens wordt de afbakening en onderzoeksmethodiek uiteen gezet. In het tweede hoofdstuk wordt het thema van dit onderzoek, namelijk klimaatverandering, uitgewerkt. Hier komt kort de mondiale klimaatverandering aan bod, gevolgd door een paragraaf genaamd “de gevolgen voor de stad”. Met name de gevolgen voor de stad gaan een belangrijke rol spelen in de rest van het rapport.

In hoofdstuk drie worden de baten van bomen op het gebied van klimaatverandering onderzocht. Deze baten hebben ieder een eigen paragraaf, waarin het proces, de criteria om sortiment vast te kunnen stellen als daadwerkelijke voorbeelden van sortiment worden beschreven. Daarnaast worden in dit hoofdstuk een aantal voorwaarden genoemd, welke nodig zijn om de baten van de bomen daadwerkelijk optimaal te kunnen gebruiken.

In het hierop volgende hoofdstuk vier wordt de klimaatadaptieve groeiplaats uitgewerkt. Deze groeiplaats gaat de boom voorzien in zijn behoeften en daarnaast wordt de groeiplaats ontworpen met klimaatadaptieve aspecten. Per eigenschap van de groeiplaats wordt een beschrijving gegeven, waarna deze wordt omgezet in een ontwerpbeeld.

In hoofdstuk vijf komt de informatie over de boom en de groeiplaats bij elkaar en worden deze uitgewerkt in een aantal casussen. Met deze casussen wordt duidelijk wat deze klimaatadaptieve boom met groeiplaats precies oplevert voor de stad. Het rapport sluit af met de conclusies en aanbevelingen, gevolgd door de bijlagen. De bijlagen bevatten naast de standaard bronvermelding en begrippenlijst een samenvatting van de gevoerde gesprekken met experts ten behoeve van dit onderzoek.

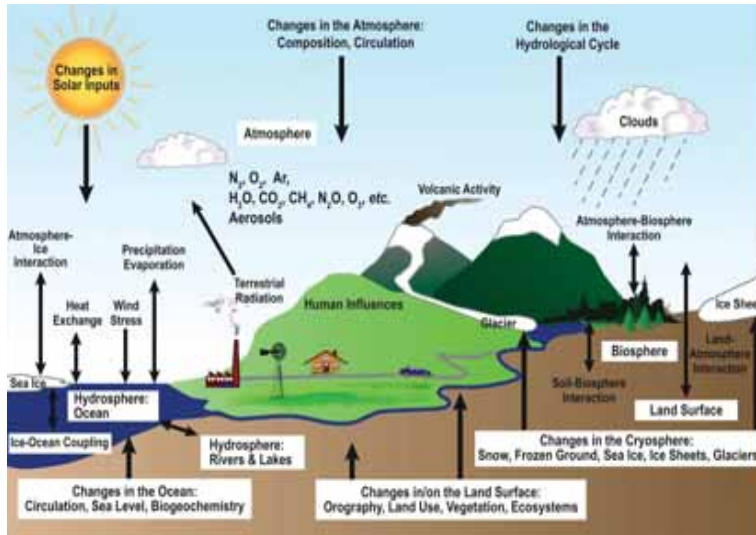






De gevolgen van klimaatverandering vormen hét probleem waar in dit onderzoek een oplossing voor wordt gezocht. Om tot een goede oplossing te komen is het belangrijk om te weten wat de klimaatverandering precies inhoudt. Vragen als “Hoe ontstaat klimaatverandering?”, “Wat is de rol van de mens?” en “Wat zijn de mondiale gevolgen van klimaatverandering?” staan in de eerste paragraaf centraal. Aangezien dit onderzoek zich richt op de stadscentra is het belangrijk te weten welke gevolgen klimaatverandering heeft voor de stad. Vragen als “Welke gevolgen heeft klimaatverandering voor de stad?” en “Welke factoren maken het stedelijk gebied extra kwetsbaar?” staan in de twee paragraaf van dit hoofdstuk centraal.

# Klimaatverandering



Afb 2.1 Weergave van processen welke van invloed zijn op het klimaat



Afb 2.2 Een vulkaanuitbarsting brengt stof- en zwaveldeeltjes in de lucht

## 2.1 Mondiale klimaatverandering

Klimaatverandering is een proces dat steeds vaker onder de aandacht wordt gebracht. Dat is natuurlijk niet voor niets. Een verandering van iets brengt altijd gevolgen met zich mee, positief of negatief. Om de aard van de gevolgen van klimaatverandering goed in beeld te brengen, is het belangrijk om eerst te weten waar we over spreken als we het over klimaat hebben.

### Het klimaat

Het klimaat kan op verschillende schaalniveaus bekeken worden, zoals plaatselijk, landelijk of wereldwijd. In alle gevallen betekent klimaat het gemiddelde weer. In dit “gemiddelde weer” worden aspecten als temperatuur, vocht, luchtdruk, wind, bewolking en neerslag gemiddeld genomen over een tijdsbestek van tientallen jaren. Ook worden de frequenties van piekbuien, hittegolven en overstromingen meegenomen in dit gemiddelde. Zelfs de chemische samenstelling van de atmosfeer en de temperaturen van de diepe oceanen worden soms in de klimaatbepaling meegenomen. Kortom, tot het klimaat worden allerlei processen en verschijnselen gerekend welke direct of indirect invloed hebben op onze leefomgeving.<sup>[10]</sup>

### Natuurlijke klimaatverandering

De natuurlijke klimaatverandering wordt veroorzaakt door processen welke van nature voorkomen. Een goed voorbeeld hiervan is de zon. De zon straalt niet altijd dezelfde hoeveelheid zonnestrallen naar de aarde. Wanneer de zon zeer actief is zal het warmer worden op aarde, wanneer de zon minder actief is daalt de temperatuur op aarde. Deze wijzigingen in temperatuur van het zonlicht hebben effect op het smelten van de ijskappen en het stijgen van de zeespiegel. Een ander natuurlijk proces verschijnt bij de uitbarsting van vulkanen. Bij een uitbarsting komen stof- en zwaveldeeltjes vrij, welke gedurende een periode van maximaal twee jaar een blokkade kunnen vormen tussen de zon en de aarde. Deze blokkade zorgt ervoor dat minder zonnestrallen het aardoppervlak kunnen bereiken en daardoor minder kunnen verwarmen. Ook dit kan effect hebben



op het smelten van de ijskappen en de zeespiegelstijging. Dit zijn slechts enkele voorbeelden van natuurlijke processen, welke bijdragen aan klimaatverandering. Al millennia lang zorgen deze natuurlijke processen voor een afwisseling tussen koude perioden (ijstijden) en warmere perioden.<sup>[5, 10, 16]</sup>

### Onnatuurlijke klimaatverandering

De natuurlijke processen hebben hun monopolie positie om het klimaat te beïnvloeden lange tijd geleden verloren. Er is namelijk een belangrijke speler bijgekomen, namelijk de mens. Vooral sinds de jaren zestig is de rol van de mens ten opzichte van de klimaatverandering sterk toegenomen. Naar de omvang van deze rol zijn al vele studies gedaan. De conclusies uit deze studies naar de menselijke factor verschillen sterk van elkaar. In detail is de rol van de mens (nog) niet vast te stellen. Wel blijkt uit al deze studies dat ongeveer de helft van de klimaatveranderingsprocessen te wijten is aan menselijk handelen. Dit menselijk handelen bestaat voornamelijk uit het uitstoten van broeikasgassen. De schadelijke stof CO<sub>2</sub> speelt hierbij de grootste rol. Ook de grootschalige ontbossing, wat in verband staat met de grootschalige CO<sub>2</sub> uitstoot draagt bij aan de klimaatverandering. Kortom, met welke bril we ook naar klimaatverandering kijken, de mens vormt altijd in meer of mindere mate een oorzaak van klimaatverandering.<sup>[5, 10, 15]</sup>

### Wereldwijde gevolgen van klimaatverandering

Net als het effect van menselijk handelen op de klimaatverandering zijn vele wetenschappers het oneens over de gevolgen van de huidige klimaatverandering. Het is daarom moeilijk om naar de toekomstige gevolgen te kijken. Daarom zijn alleen de nu al zichtbare gevolgen feitelijk te onderbouwen. Een belangrijk gevolg is de zeespiegelstijging door het smelten van sneeuw en ijs. Aangezien er twijfels bestaan over het versneld smelten van de ijskappen, laten we dit even in het midden. Wel weten we dat gletsjers en grote oppervlakken sneeuw smelten. Dit zorgt uiteindelijk voor stijging van de zeespiegel. Voordat het

water de zee bereikt, wordt het water vervoerd door middel van waterwegen. Deze waterwegen krijgen steeds meer water te verwerken en kunnen dit water door de zeespiegelstijging minder snel kwijt. Dit resulteert in steeds meer inlandse overstromingen.

Naast deze vorm van wateroverlast vormt regenwater steeds meer problemen. Vooral in het stedelijk gebied ontstaat door de steeds heftiger wordende piekbuien meer wateroverlast. Dit gevolg van klimaatverandering wordt in paragraaf 2.2 uitgebreid beschreven. Ook het opwarmen van het stedelijk gebied (hitte-eiland effect) wordt in paragraaf 2.2 beschreven.

Dit zijn slechts enkele belangrijke gevolgen van de klimaatverandering. Oplossingen om de menselijke invloed te beperken worden geboden door auto's minder schadelijke stoffen te laten uitstoten, fabricageprocessen te wijzigen waardoor minder CO<sub>2</sub> vrijkomt en de ontwikkeling en aanleg van schone energiebronnen. Of deze oplossingen daadwerkelijk de ernstige gevolgen van klimaatverandering uit de wereld helpen zal de tijd ons leren.<sup>[5, 10, 16]</sup>



Afb 2.3 CO<sub>2</sub> uitstoot is een oorzaak van onnatuurlijke klimaatverandering

## 2.2 Gevolgen voor de stad



Afb 2.4 Grote hoeveelheden verhard oppervlak



Afb 2.5 Piekbuien zorgen voor veel overlast

De gevolgen van de klimaatverandering worden steeds meer zichtbaar. Zowel in het landelijk gebied als het stedelijk gebied worden deze gevolgen waargenomen. Het stedelijk gebied heeft echter een extra probleem. De grote oppervlakken verharding en bebouwing vergroten de problemen die ontstaan door de klimaatverandering. In het stedelijk gebied zijn twee belangrijke problemen ten gevolge van de klimaatverandering te onderscheiden, namelijk de piekbuien en het hitte-eiland effect. Daarnaast is de verdroging van de bodem in het stedelijk gebied een belangrijk probleem. Dit probleem is geen oorzaak van de klimaatverandering maar staat wel in sterke relatie met de piekbuien. Over deze twee gevolgen voor de stad en het nevengevolg verdroging wordt hieronder zowel het proces als de gevolgen voor de stad beschreven.

### Piekbuien

In Nederland valt gemiddeld 690 tot ruim 900mm regenwater per jaar. Dit aantal millimeters verandert nauwelijks. Wat wel verandert, mede door de klimaatverandering, is de hoeveelheid regenwater welke per bui valt. Ten opzichte van tientallen jaren geleden regent het in Nederland minder vaak. Dit betekent dat het genoemde aantal millimeters jaarlijks in minder buien naar beneden moet komen. De hoeveelheid regenwater per bui neemt daarmee toe. Dit resulteert soms in zeer hevige regenbuien, welke piekbuien worden genoemd. In de stad, waar veel verhard oppervlak aanwezig is, is infiltratie in de bodem vrijwel onmogelijk. Regenwater kan immers niet dwars door stenig materiaal wegzakken.

Traditioneel gezien wordt het regenwater via regenpijpen of kolken zo snel mogelijk afgevoerd naar de gemengde riolering en vervolgens naar de rioolwaterzuivering gebracht. Dit systeem werkte prima vóór de komst van de piekbuien. De riolering is echter niet berekend op dergelijke piekbuien waardoor het riool tijdens deze regenbui vol komt te staan. Water op straat is het gevolg. Vooral in de oudere stadscentra, waar de woningen en andere gebouwen het vloerpeil vrijwel gelijk hebben liggen



aan het straatpeil, zorgt water op straat voor water in kelders en andere delen van de woning of winkel. Dit brengt enorme overlast en financiële schades met zich mee. Ook in gebieden met hogere vloerpeilen heeft wateroverlast negatieve gevolgen. Woningen of winkels worden onbereikbaar, rioolinhoud kan op straat terecht komen en drijvende putdeksels vormen een ernstig gevaar voor wandel- of fietsverkeer.

Aangezien dit probleem zich al vele jaren voordoet zijn er al veel oplossingen bedacht om de overlast van regenwater in het stedelijk gebied tegen te gaan. Een veel gebruikte oplossing is het afkoppelen van regenwater van het vuilwaterriool. Door een nieuw rioolstelsel aan te leggen waar het regenwater mee weg kan stromen, raakt het vuilwaterriool niet meer overbelast door hevige regenval en lijkt het probleem opgelost. Dit regenwater stroomt via dit nieuwe regenwaterriool rechtstreeks naar het oppervlaktewater of infiltreert via allerlei voorzieningen in de bodem. Om deze voorziening toe te kunnen passen moet het regenwater niet mengen met vervuiliingsbronnen voor het naar het oppervlakte wordt afgevoerd. Vervuiling van het oppervlaktewater is uiteraard niet gewenst. In het geval van infiltratie moet de bodem voldoende capaciteit bezitten om het water te kunnen infiltreren. In het geval van een te lage K-waarde gaat de infiltratie niet snel genoeg en is water op straat alsnog het gevolg. Naast deze nadelige gevolgen van dit systeem is de ondergrondse ruimte in het stedelijk gebied vaak beperkt. Dit bemoeilijkt de plaatsing van dergelijke voorzieningen.

Naast deze voorziening zijn er inmiddels al vele andere voorzieningen verkrijgbaar om regenwater zo snel mogelijk bij gebouwen en van straten weg te voeren. Vreemd genoeg komen groene oplossingen niet tot nauwelijks voor. De groene daken zijn wel enigszins in opkomst, maar dit zet in ieder geval voorlopig nog geen zoden aan de dijk. Oplossingen met bomen worden nog helemaal niet geboden. Dit gegeven in combinatie met het in de problematiek (H1.1) gestelde tekort aan bomen in het stedelijk gebied geeft sterke aanleiding om de boom als oplossing aan te dragen. In hoofdstuk 3 wordt beschreven

hoe bomen kunnen bijdragen aan het oplossen van de huidige en toekomstige wateroverlast ten gevolge van regenval in het stedelijk gebied.<sup>[10, 16]</sup>

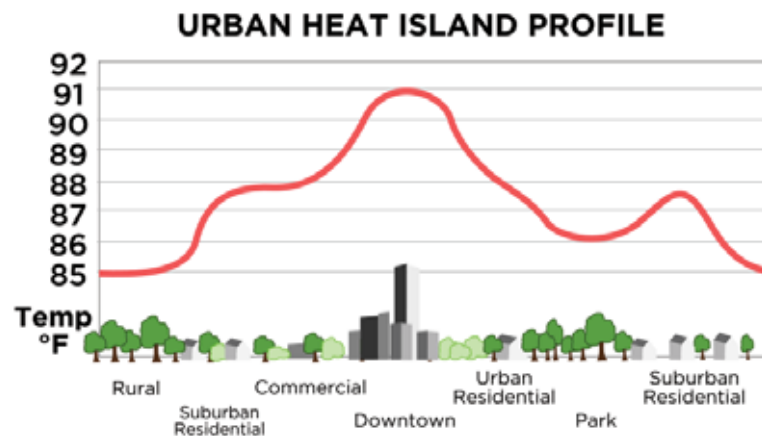


Afb 2.6 Infiltratiekragen bergen en infiltreren regenwater

# Gevolgen



Afb 2.7 Houten paalfunderingen mogen niet boven de grondwaterstand komen



Afb 2.8 Hitte-eiland effect

## Verdroging

De verdroging van de bodem is in alle (Nederlandse) steden een probleem. Vooral in de steden waar de gebouwen gefundeerd zijn met houten palen zijn de gevolgen van bodemverdroging enorm. Het probleem van deze verdroging van de bodem begint bij het maaiveld. In het buitenstedelijk gebied, waar verharding slecht een klein percentage van het maaiveld inneemt, infiltrteert het regenwater direct in de bodem en voedt daarmee het grondwater. De grondwaterstand blijft goed op peil en van verdroging is bij normale weersomstandigheden geen sprake. In het stedelijk gebied is een belangrijke ondoordringbare laag ontstaan welke dit natuurlijke infiltratieproces onmogelijk maakt. Deze laag wordt gevormd door de bebouwing en verhardingsmaterialen. Het vallende regenwater wordt direct afgevoerd via de verharding naar het riool, welke het vervolgens zo ver mogelijk van het stedelijk gebied wegvoert. De bodem ontvangt geen drup regenwater, de grondwaterstand daalt onder de stad en de bodem verdroogt.

De verdroging van de bodem is op welke manier dan ook schadelijk voor beplanting. Bomen en heesters kunnen hun vocht niet meer uit de bodem halen en worden afhankelijk van watergeefvoorzieningen. Wanneer dit niet gebeurt is afsterven van de beplanting het gevolg. In het geval van een stad op kleigrond en zeker op veengrond is het afsterven van beplanting niet het enige probleem. Vooral veengronden hebben de eigenschap om in te klinken wanneer de grondwaterstand daalt. Aangezien de bodem niet overal evenveel zal inklinken is het verzakken van woningen en scheefstand het gevolg. Dit geldt nog sterker voor woningen gebouwd op een houten paalfundering. Zodra het grondwater zakt komt er zuurstof bij het hout. Vochtig hout in combinatie met zuurstof leidt tot rotting van de paalfundering met alle gevolgen van dien.

Deze uitleg over een droge bodem strookt eigenlijk totaal niet met de hierboven beschreven wateroverlast. Verdroging mag dat wel geen direct gevolg zijn van de klimaatverandering, het overschot aan regenwater kan dit probleem wel verhelpen. Er is



echter één obstakel dat overwonnen dient te worden, namelijk de verhardingslaag tussen regenwater en bodem. Bomen zijn niet in staat om dit probleem te verhelpen. Bomen nemen immers juist water op. De constructieve groeiplaats van een boom biedt hiervoor wel mogelijkheden. Verdroging wordt daarom niet opgenomen in hoofdstuk 3, maar vormt wel een onderdeel in hoofdstuk 4 in de vorm van een vochtvoorziening.<sup>[10, 20]</sup>

### Hitte-eiland effect

De stad warmt op, maar hoe kan dat? Deze vraag kan worden beantwoord met het hitte-eiland effect. Dit effect is een verzameling van oorzaken, welke samen zorgen voor een hogere temperatuur in de stad ten opzichte van het buitengebied. Dit temperatuurverschil kan momenteel oplopen tot 6 graden Celsius. De oorzaken hiervan hebben te maken met de opbouw van de stad. Het stedelijk gebied bevat een zeer groot percentage verhard oppervlak. Deze donkere materialen absorberen veel zonlicht in plaats van deze zonnestrallen terug te kaatsen. Dit reflecterende vermogen van materialen wordt het albedo genoemd. In het stedelijk gebied ligt het gemiddelde albedo dus laag. Dit betekent dat de warmte van het zonlicht in de stad blijft hangen. Dit verschijnsel hangt samen met het zeer lage beplantingspercentage in de stad. Immers, beplanting heeft juist de eigenschap om verkoeling te brengen. De bebouwing speelt ook een belangrijke rol bij het opwarmen van de stad. Door de vaak hoge bebouwing wordt de luchtcirculatie op veel plekken afgebroken. Een verlaging van deze luchtcirculatie zorgt ervoor dat de stedelijke omgeving niet kan afkoelen.

Om deze hitte te bestrijden draaien aircosystemen overuren. Wanneer we spreken over een energiezuinige leefomgeving is dit natuurlijk niet de oplossing. Om de stad op energieneutrale wijze te kunnen afkoelen is de oplossingen af te kijken op plekken waar het hitte-eiland effect zich niet voordoet, namelijk het buitengebied. Het buitengebied kent veel minder verhard oppervlak en veel meer vegetatie. Een aanzienlijke vermindering van het verhard oppervlak in de stad is een mooie droom maar

niet realistisch. Het vergroten van het percentage beplanting in de stad is echter wel mogelijk. Vooral bomen staan bekend om hun verkoelende werking en kunnen daarom een belangrijke bijdrage leveren aan het afkoelen van de warme stad. Deze bijdrage van bomen wordt uitvoerig beschreven in hoofdstuk 3.  
[5, 10]



Afb 2.9 Vooral ouderen kunnen veel last hebben van de hitte





# De klimaatadaptieve bijdrage van stadsbomen

## 3



De boom als klimaatadaptieve oplossing voor de stad, een prachtige gedachte. De gevolgen van klimaatverandering, zoals deze in het voorgaande hoofdstuk zijn beschreven, vragen om een oplossing. De boom kan met zijn baten bijdragen aan deze oplossing. Om welke baten dit gaat, hoe de boom deze baten verzorgt en welke criteria en sortiment dit voortbrengt worden in dit hoofdstuk beschreven.



Afb 3.1 Een groene woonomgeving heeft positieve invloed op de gezondheid



Afb 3.2 Uitzicht op groen heeft grote invloed op de WOZ-waarde van woningen

## 3.1 De klimaatadaptieve baten van bomen

De gevolgen van klimaatverandering voor de stad zullen de komende jaren steeds duidelijker merkbaar worden. Over de ernst van deze gevolgen en zelfs de oorzaak van de gevolgen wordt veel gediscussieerd. Op dit vlak neemt dit onderzoek daarom ook geen standpunt in. Het is wel duidelijk dat er zich steeds vaker piekbuien voordoen gevolgd door langere perioden van droogte (KNMI). Daarnaast is ook duidelijk dat de temperatuur in het stedelijk gebied op bepaalde momenten in het jaar veel hoger oploopt dan een aantal jaren geleden. Beide problemen zijn meetbaar en daarom een feit. Het is belangrijk dat er voor deze problemen een oplossing wordt gezocht.

Het is natuurlijk prachtig dat een bijdrage aan het oplossen van deze problemen kan worden geboden door ons eigen vakgebied, namelijk met bomen. Als inrichter van de openbare ruimte kun je met bomen de leefomgeving van alle stedelingen veraangenamen. Niet alleen op het gebied van klimaat, maar ook op het gebied van gezondheid, recreatiemogelijkheden, economische voordelen en belevingswaarde. Een mooiere motivatie om met bomen aan de slag te gaan is er niet!

### Klimaatadaptieve baten

De stad heeft en krijgt te maken met langdurige perioden van extreme hitte, temperaturen die we in Nederland in ieder geval niet gewend zijn. Dit wordt ook wel hittestress genoemd. De oorzaken en de gevolgen van dit probleem zijn beschreven in hoofdstuk twee. De tot nog toe gebruikte oplossingen om ons af te koelen, zoals het gebruik van de aircosystemen, zijn verre van milieuvriendelijk. Een boom is echter een prima milieubewuste bron om de stad af te koelen. Feitelijk is de boom niet alleen milieubewuster maar simpelweg ook beter. Een gezonde volwassen boom levert een verkoelend effect gelijk aan ongeveer 10 aircosystemen, gratis en voor niets.

Om inzichtelijk te krijgen welk bomensortiment uitsteekt boven de andere bomen als het gaat om het verkoelende effect is het belangrijk om eerst de manier waarop een boom verkoelt



inzichtelijk te krijgen. Grofweg zijn hier twee manieren voor te beschrijven, namelijk schaduwwerking en verdamping. De verdamping komt eerst aan bod en wordt beschreven in de hierna volgende paragraaf. Vervolgens komt schaduwwerking aan bod en wordt uiteengezet in de daarna volgende paragraaf.

Een ander belangrijk gevolg van klimaatverandering zijn de piekbuien. Bij een piekbui ontstaat er een overschot aan water. Voor de hierboven beschreven verdamping (en de levensvatbaarheid van de boom) is water nodig. Aangezien het ene gevolg van klimaatverandering het andere nodig heeft voor de oplossing wordt de regenwateroverlast opgenomen in de paragraaf verkoeling. Ondanks dat beide problemen even zwaar wegen in dit onderzoek krijgt regenwateroverlast dus geen eigen paragraaf, aangezien procesmatig de boom dit probleem in combinatie met verkoeling gezamenlijk aanpakt.

### De ene boom is de andere niet

Dit hoofdstuk draait vooral om de zoektocht naar criteria om het juiste bomensortiment te kunnen bepalen. Om dit te weten te komen moeten eerst de processen welke een boom doormaakt duidelijk worden, om vervolgens eigenschappen van een boom als positieve klimaatadaptieve eigenschappen te benoemen. Aan de hand van deze eigenschappen/criteria kan het juiste klimaatadaptieve sortiment zo goed mogelijk benaderd worden. Het woord “benaderen” suggereert dat de keuze van dit uiteindelijke sortiment niet geheel op feiten gebaseerd is. Dat klopt ook.

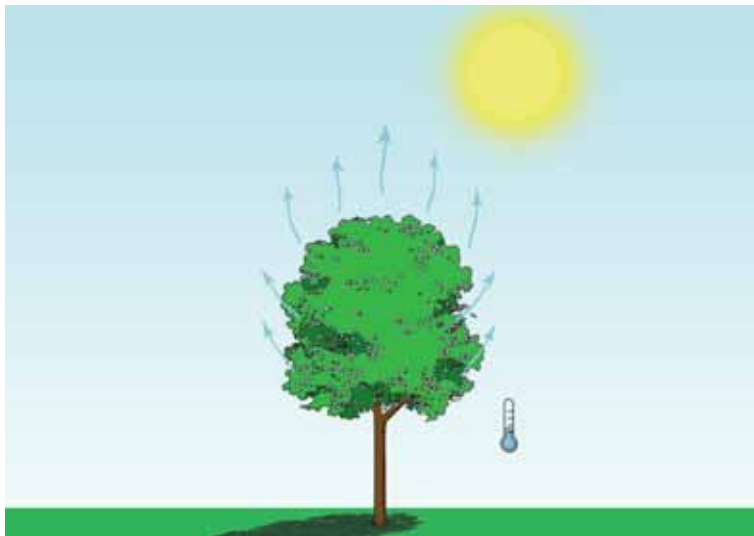
Een boom is een levend organisme waarvan de eigenschappen op sommige vlakken (nog) niet onderzocht zijn of (nog) niet vast te stellen zijn. Om de resultaten van dit onderzoek zo transparant mogelijk te kunnen presenteren, wordt in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk een opsomming gegeven welke gegevens op feiten uit (wetenschappelijk) onderzoek zijn gebaseerd en welke gegevens gebaseerd zijn op aannames of goed onderbouwde professionele meningen.



Afb 3.3 Verkoeling onder de stadsboom



Afb 3.4 Stap 1 evaporatie, regenwater blijft liggen op blad, twijgen en stam



Afb 3.5 Stap 2 evaporatie, regenwater verdampt waarmee de temperatuur daalt

## 3.2 Verdamping

De meest ingewikkelde manier van verkoeling is verdamping. Hiervoor is de biologische kennis van een aantal belangrijke processen van de boom van belang. Verdamping bestaat in het geval van de boom uit twee onderdelen, namelijk evaporatie en transpiratie. Deze twee samen vormen de evapotranspiratie van de boom. De exacte betekenis van evapotranspiratie is “het verlies van waterdamp van een begroeide bodem naar de atmosfeer”. Dit proces vormt naast een belangrijke baat voor de mens, namelijk verkoeling, ook een belangrijk onderdeel van de algehele waterkringloop.

### Evaporatie

Evaporatie is één van de twee onderdelen welke samen zorgen voor evapotranspiratie. Hieronder wordt het proces van evaporatie besproken waar vervolgens criteria voor een optimale “evaporatieboom” aan worden gekoppeld.

### Het proces

Het evaporatieproces van een boom is simpelweg het verdampen van vocht vanaf het blad, twijgen en de stam van de boom. Ten tijde van een regenbui valt regenwater op allerlei delen van de boom, waar het bladoppervlak het grootste aandeel in heeft. Het regenwater blijft op deze plekken liggen. Rondom de boom zal, met name in het stedelijk gebied, het regenwater direct worden afgevoerd naar een ondergrondse afwateringsvoorziening.

Zodra de zon weer invloed krijgt op de boom begint het water te verdampen. Dit betekent dat de luchtvochtigheid rondom de boom stijgt. Aangezien het regenwater uit de omgeving van de boom is afgevoerd zal de luchtvochtigheid op deze plekken niet groter worden. Dit resulteert in hogere luchtvochtigheid in de directe omgeving van de boom ten opzichte van zijn omgeving.

Een hogere luchtvochtigheid heeft een verkoelende werking waardoor de temperatuur en zeker de gevoelstemperatuur rond de boom daalt. Dit kan vooral op een hete zomerse dag het verschil maken tussen een fijne recreatieplek of een regelrechte sauna.<sup>[17]</sup>



### Eigenschappen van de boom

Geen enkele boom is gelijk. Daarom is belangrijk om te weten welke boom je moet toepassen om zoveel mogelijk gebruik te maken van de verkoelende werking van evaporatie. De kroonvorm van een boom is daarbij de grootste factor. Immers, hoe groter het kroonoppervlak, des te meer regenwater de boom kan opvangen. Een boom met een brede kroonvorm of met een hoge kroonvorm zijn goed geschikt voor verkoeling door evaporatie. Een combinatie van beide criteria maakt de boom uiteraard nog geschikter.

Een derde criteria is het bladoppervlak, oftewel de LAI (Leaf Area Index) van de boom. Dit is niet gelijk aan het kroonoppervlak. Een boom met een grote kroon kan zeer transparant zijn en daarmee veel regenwater doorlaten. Een boom met een groot bladoppervlak per m<sup>2</sup> (LAI) vangt meer regenwater op en heeft daarom meer te verdampen. Een vierde criteria voor de evaporatie is de structuur van stam en twijgen. Wanneer de stam en twijgen van een boom veel oneffenheden bevatten zoals kieren en andere holle ruimtes kan hiermee vocht worden vastgehouden. Zodra de verdamping intreedt, zal deze hoeveelheid regenwater bijdragen aan het verkoelen van de omgeving van de boom.

Een vijfde en laatste criteria is het bladverlies van de boom. In de zomer valt over het algemeen de meeste regen en zal de verdamping en de behoefte aan verkoeling het grootst zijn. Toch kan er in het najaar, de wintermaanden en het vroege voorjaar ook sprake zijn van verdamping. Met het oog op klimaatverandering, waarbij het ook in het voorjaar aardig warm kan worden, zal de behoefte aan verkoeling in dit jaargetijde ook toenemen. Een bladhoudende boom heeft daarom extra waarde, aangezien deze het jaar rond in meer of mindere mate verkoeling kan bieden. Een bladverliezende boom kent in deze maanden weinig evaporatie aangezien er alleen regenwater kan worden opgevangen met de twijgen en de stam.



Afb 3.6 Rode beuk met een groot kroonoppervlak

#### Een boom scoort goed met deze eigenschappen:

- + Een brede kroon
- + Een hoge boom
- + Een grote LAI
- + Veel oneffenheden in tak en stamstructuur
- + Bladhoudend

Een “brede” kroon of een “grote” LAI zijn natuurlijk nog geen duidelijke criteria. De exacte bandbreedte van deze criteria wordt weergegeven in paragraaf 4



Afb 3.7 Stap 1 transpiratie, water infiltreert in de bodem tijdens een regenbui



Afb 3.8 Stap 2 transpiratie, water wordt door de wortels opgenomen

## Transpiratie

Transpiratie is het tweede onderdeel dat deel uitmaakt van de evapotranspiratie. Hierna wordt het transpiratieproces van een boom beschreven. Vervolgens worden criteria beschreven waarmee bomensortiment aan transpiratie te koppelen is.

## Het proces

Het transpiratieproces van de boom begint bij water. Een regenbui voorziet de omgeving van de boom van water wat, in een niet verharde omgeving, infiltreert in de bodem. In het geval van het stadscentrum vormt dit direct al een probleem. Tenzij bepaalde voorzieningen zijn getroffen zoals waterpasserende verharding, zal het regenwater niet tot nauwelijks kunnen infiltreren in de bodem. Wanneer wel sprake is van dergelijke voorzieningen of de wortels van de boom het grondwater kunnen bereiken, zullen de wortels het grondwater en andere voedingsstoffen uit de bodem opnemen. Wanneer er veel bodemleven in de bodem aanwezig is, zullen de wortels gebruik kunnen maken van de mycorrhiza schimmels. Deze schimmels leven in symbiose met de boomwortels. De schimmels halen met hun netwerk van schimmeldraden voedingsstoffen uit de bodem en stellen deze beschikbaar aan de boom. De boom levert op zijn beurt de schimmels suikers aan. Een goed bodemleven heeft door deze samenwerking positieve gevolgen voor een boom.

Wanneer het vocht de wortels is binnengekomen wordt het via de endodermis (transportweefsel) van de wortels vervoerd naar de xylemvaten van de boom. De xylemvaten zijn de transportvaten voor water en andere stoffen in de boom. De drijvende kracht achter deze beweging van water is het drukverschil tussen de wortels en het blad. Het blad heeft een zuigkracht waarmee het vocht naar zich toe kan trekken. Daarnaast hebben de wortels een drukkracht. Deze kracht is echter veel minder sterk dan de zuigkracht van het blad. De drukkracht wordt wel van waarde wanneer de huidmondjes van het blad gesloten zijn en wanneer er geen blad aan de boom zit. Dit drukverschil tussen wortels en blad veroorzaakt onderdruk. Dit wordt de waterpotentiaal



genoemd. Een optimale waterpotentiaal ligt rond de 0 bar.

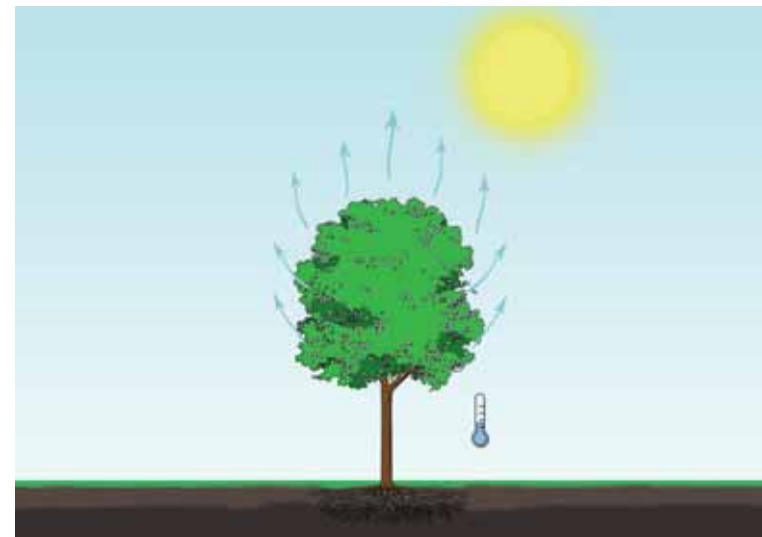
Water heeft een aantal belangrijke toepassingen in de boom en is daarom voor de boom noodzakelijk. Enerzijds gebruikt de boom water in zijn cellen wat zorgt voor stevigheid (turgor). Anderzijds gebruikt de boom water om zichzelf af te koelen. Bij dit proces komt de beoogde verdamping kijken. De boom streeft altijd naar een optimale waterstatus (waterhuishouding). Om zichzelf af te kunnen koelen openen de bladeren de huidmondjes. Hierbij treedt het verdampingsproces in werking.

Zodra het aanbod water vanuit de bodem minder wordt of de boom het water niet snel genoeg naar het blad kan krijgen sluit de boom de huidmondjes. Dit betekent niet dat de verdamping helemaal stopt. Er verdamt altijd nog vocht door de opperhuid van het blad. In extreme gevallen resulteert dit in een te hoog waterpotentiaal wat te omschrijven is als waterstress. Ondanks het sluiten van de huidmondjes gaat de verdamping (in mindere mate) door en komt er te weinig nieuw water naar het blad. De turgor verdwijnt langzaam uit het blad met slaphangen van het blad tot gevolg. Om gebruik te maken van de verkoelende werking van de transpiratie is het dus belangrijk om de vochtvoorziening van de boom op orde te hebben.

In een natuurlijke situatie wordt de boomkeuze afgestemd op de vochtbalans van de natuurlijke ondergrond. Zoals al genoemd is hier in het stedelijk gebied geen sprake van, aangezien regenwater de bodem nauwelijks kan bereiken. In het geval van een hoge grondwaterstand moet de boom uiteraard wel tegen constante natte voeten kunnen. Om in het stadscentrum optimaal gebruik te kunnen maken van de verkoelende werking van bomen is het belangrijk om de boom van voldoende water te voorzien. Dit brengt ons bij het tweede gevolg van klimaatverandering, namelijk de piekbuien. Piekbuien veroorzaken in korte tijd een overschot aan water. Dit betekent een overschot aan water op straat door de piekbuien en een tekort aan water bij de boom. De gevolgen van het ene probleem is de oplossing voor de ander. Maar hoe komt het water bij de boom?



Afb 3.9 Stap 3 transpiratie, water wordt via het xyleem naar het blad vervoert



Afb 3.10 Stap 4 transpiratie, water verdamt via blad, temperatuur daalt



Afb 3.11 Verdampende werking van bomen

De oplossing wordt gevormd door de juiste boom met de juiste groeiplaatsconstructie. Deze groeiplaatsconstructie gaat als transportmiddel dienen van het verharde oppervlak naar de wortels van de boom. Deze groeiplaats wordt uitgewerkt in hoofdstuk 4. Het bomensortiment is echter ook van groot belang. De ene boom is immers de andere niet. De meest betrouwbare manier om een boom te vinden die veel water opneemt en verdampt is door middel van een drukkamer. Door de boom te voorzien van een vaste hoeveelheid water en vervolgens de druk in het blad te meten wordt de waterpotentiaal bepaald en daarmee de waterbehoefte van de boom. Een andere methode om bomensortiment vast te stellen is door bomen te toetsen op een aantal eigenschappen (criteria). Dit onderzoek richt zich op deze methode.<sup>[16]</sup>

### De eigenschappen van de boom

Om de wateropname van de boom en de verkoelende werking door verdamping zo groot mogelijk te krijgen, is het juiste sortiment van groot belang. Een belangrijk criterium bij het vaststellen van dit bomensortiment is, net als bij evaporatie, de omvang van de kroon. Een boom met een hoge en/of brede kroon heeft meer bladoppervlak en meer capaciteit om water te verdampen. Deze omvang van de kroon staat vaak gelijk aan een groter wortelgestel, waardoor de boom ook meer water kan opnemen.

Aangezien de verdamping voornamelijk plaatsvindt via de huidmondjes aan de onderzijde van het blad, zal de boom het meest verdampen wanneer er blad aan de boom zit. Een boom die vroeg in blad komt en/of laat in het jaar zijn blad laat vallen heeft een langere periode om veel te verdampen. Vooral met het oog op de klimaatverandering zal de behoefte aan verkoeling in het vroege voorjaar en laat in de herfst een steeds belangrijker vraagstuk worden. Een lang bladhoudende of zelf volledig bladhoudende boom biedt hiervoor natuurlijk uitkomst.

Een ander belangrijk criterium is de transparantie van de



kroon. De zon krijgt in het geval van een transparantere kroon meer invloed op het blad aan de binnenzijde van de kroon. Dit betekent dat een groter percentage blad betrokken kan worden bij de uitwisseling van CO<sub>2</sub> en de verdamping van water. Een boom met een groot kroonvolume maar minder bladmassa heeft een grotere verdampende werking (uitspraak J. Kopinga, 2014).

Een laatste criterium is het aantal huidmondjes per blad per boomsoort. Hier zijn echter (nog) te weinig gegevens over bekend, waardoor dit criterium nog niet geschikt is om het bomensortiment mee vast te stellen. Een onderzoek doen naar het aantal huidmondjes per boomsoort is wel een belangrijke aanbeveling.

Naast deze eigenschappen van de boom spelen ook veel omgevingsfactoren een rol bij de verdamping. Belangrijke factoren zijn de temperatuur en de luchtvochtigheid (Nederlands Bosbouw tijdschrift, 1993). Een hogere temperatuur “warmt” de boom op. Ondanks dat de boom de huidmondjes sluit om uitdroging te voorkomen, zal de verdamping altijd in meer of mindere mate doorgaan om de boom toch af te koelen. Een hogere temperatuur zorgt daarom vaak, ondanks het sluiten van de huidmondjes, voor een hogere verdamping. Aangezien een boom met zijn eigenschappen geen invloed heeft op de kracht van de zon en daarmee de temperatuur is dit geen criterium bij het bepalen van bomensortiment.<sup>[12, 17]</sup>



Afb 3.12 Robinia pseudoacacia, een boom met een grote transparante kroon

**Een boom scoort goed met deze eigenschappen:**

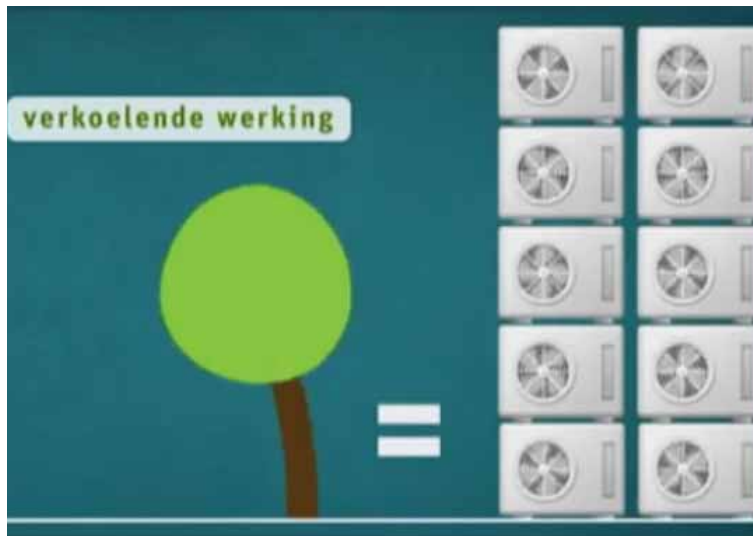
- + Lange periode in blad
- + Transparantie van de kroon
- + Brede kroon
- + Hoge boom
- + Aantal huidmondjes

**Niet soortafhankelijke omgevingsfactor**

- + Hogere temperaturen zorgen in veel gevallen voor een grotere verdamping



Afb 3.13 Bomen koelen de woning door schaduw, een eeuwenoud gebruik



Afb 3.14 Schaduwwerking volwassen boom gelijk aan ongeveer 10 airco's

## 3.3 Schaduwwerking

Schaduwwerking is een belangrijke vorm van verkoeling. Dit is onbewust misschien wel de meest gewaardeerde baat van bomen tijdens een hete zomerse dag. Lekker een koud biertje drinken op een terras met de slagschaduw van een boom als parasol. Wat wil een mens nog meer. Toch beginnen dit soort verkoelende plekken niet alleen voor recreatieve doeleinden aantrekkelijk te worden. Met oog op de klimaatverandering wordt de vraag om verkoeling steeds groter en het bieden van verkoeling steeds noodzakelijker. De belangrijkste manier waarop dit nu gebeurt is door de installatie van airco's. Deze apparaten zijn natuurlijk verre van milieubewust en dragen daarnaast bij aan de stedelijke "horizonvervuiling". Bomen daarentegen zijn precies het tegenovergestelde. Ze bieden op geheel natuurlijke wijze schaduw en met een goede boomkeuze vormen bomen in alle seizoenen een lust voor het oog. Genoeg reden dus om de verkoelende werking van schaduw door bomen nader te bekijken.

### Het proces

Schaduwwerking is een vrij eenvoudig proces. Warme zonnestrallen dalen neer op de stad welke door de donkere verhardingsmaterialen worden geabsorbeerd. Aangezien de stad voor een groot percentage uit verhard oppervlak bestaat, verloopt de opwarming van de stad gestaag gedurende warme zomerdagen. Het zonlicht dat op bomen valt wordt door de kroon van de boom tegengehouden en kan de ondergrond dus niet of nauwelijks bereiken. Dit zorgt ervoor dat de temperatuur en de gevoelstemperatuur in de schaduw van de boom daalt. Dit heeft niet alleen een gunstig effect op straatniveau, maar verkoelt ook de gevels van gebouwen. Hierdoor daalt de temperatuur in de gebouwen, waardoor de airco niet of nauwelijks meer nodig is.

Een ander groot voordeel van schaduw heeft te maken met het parkeren van auto's. Dit is een wat minder bekend, maar wel zeer belangrijk voordeel van schaduw. Iedereen weet dat het parkeren van de auto onder de bomen zorgt voor een aanzienlijk prettigere terugreis, aangezien de auto veel koeler blijft. Het is



minder bekend dat een auto in de volle zon allerlei schadelijke stoffen in de lucht brengt. Door de hitte van de zon komen schadelijke metaaldeeltjes vrij van de lak van de auto en komen brandstofgassen vrij uit de brandstoftank van de auto. Dit brengt schade toe aan het milieu en draagt ook in negatieve zin zijn steentje bij aan de huidige klimaatproblematiek.

### Eigenschappen van de boom

De schaduwwerking is van iedere boom anders. Om een goed sortiment te kiezen ten aanzien van schaduwwerking zijn een aantal eigenschappen van de boom doorslaggevend. De belangrijkste eigenschappen betreffen het formaat van de boom en de kroon. Een hoge boom zal meer schaduw geven dan een kleinere boom. Hetzelfde geldt voor een boom met een brede kroon. Hoe breder de kroon, des te breder het beschaduwde oppervlak.

Een andere belangrijke eigenschap is de dichtheid van de kroon. Een boom met een dicht opeengepakt bladerdek zal een grotere verkoelende werking met schaduw hebben dan een boom met een halfopen of open kroon. Hierbij komt wel de vraag naar voren hoeveel schaduw wenselijk is. Het voorbeeld van het koude biertje op het terras wordt wat minder aantrekkelijk in de volle schaduw van een boom waar de temperatuur dermate daalt dat het niet meer wenselijk is om in een T-shirt buiten te zitten. Voor het afkoelen van de stad is een dichte kroon wel wenselijker.

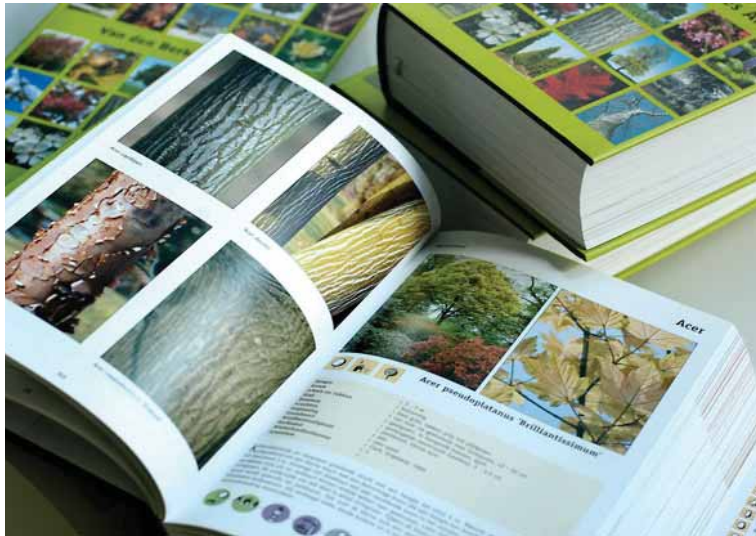
Een laatste eigenschap is de kleur van het blad. Een boom met een lichte bladkleur zoals de kleur geel laat meer licht door dan een boom met donker blad. Een belangrijke eigenschap die door velen niet snel in verband gebracht wordt met schaduwwerking. Om de stad zo veel mogelijk af te koelen is een donkere bladkleur het meest wenselijk. Een lichte bladkleur komt in aanmerking bij een combinatie tussen klimaatadaptieve wensen en wensen van bijvoorbeeld de horeca-ondernemer.



Afb 3.15 Prachtig verkoelende plek op het terras onder de boom

#### Een boom scoort goed met deze eigenschappen:

- + Hoge boom
- + Brede kroon
- + Transparantie van de kroon (afhankelijk van de wenselijke situatie)
- + Bladkleur (afhankelijk van de wenselijke situatie)



Afb 3.16 Van den Berk over Bomen, een belangrijke bron voor de criteria



Afb 3.17 De baten van jonge bomen zijn nog niet optimaal

## 3.4 Criteria en sortiment

In de voorgaande paragrafen zijn aan de hand van de verkoelende processen criteria opgesteld. Deze criteria vormen de eisen waaraan een klimaatadaptieve boom moet voldoen. De genoemde criteria hebben echter een erg grote bandbreedte. Wat is een brede kroon? Wat is een transparante kroon? Om aan te geven hoe de ideale situatie er per criterium uit ziet, moet ieder criterium met bestaande gegevens omschreven kunnen worden. Door gebruik te maken van bestaande gegevens kan voor iedere boom de klimaatadaptieve waarde bepaald worden. De te gebruiken bronnen voor deze gegevens zijn “Van den Berk over Bomen” en “Stadsbomen vademecum 4”. Criteria welke niet in deze bronnen terug te vinden zijn worden onderbouwd met gegevens uit andere literatuur of door eigen ervaring.

Een voorbeeld van deze “bestaande gegevens” zijn de symbolen waarmee beide bronnen de kroonvorm aangeven. Voor bijvoorbeeld het criterium brede kroonvorm worden de verschillende kroonvormen zoals beschreven in de genoemde bronnen onderverdeeld in drie categorieën. De categorie + betekent dat deze kroonvorm goed voldoet aan het gestelde criterium. Een +/- voldoet matig en een – score voldoet nauwelijks tot niet aan dit criterium. Op deze wijze worden bestaande gegevens van bomen uit betrouwbare literatuur zo goed mogelijk gekoppeld aan de criteria voor de beste klimaatadaptieve stadsbomen.<sup>[1, 9]</sup>







De hierna volgende criteria zijn puur en alleen gebaseerd op het klimaatvraagstuk. Uiteraard moet bij de toepassing van deze gegevens ook altijd worden gekeken naar de plaatselijke omstandigheden, zoals het gebruik van strooizout, kans op harde windstoten en de context van de groeiplaats. Deze factoren hebben uiteraard naast deze criteria voor klimaatadaptie ook invloed op de sortimentskeuze. Bij de beoordeling van de bomen aan de hand van de criteria wordt uitgegaan van het volwassen stadium van de boom. De klimaatadaptieve baten zijn dus vrijwel nooit direct na aanplant optimaal aanwezig. Bomen met klimaatadaptieve baten zijn dus niet alleen een investering voor het heden maar vooral voor de toekomst.






### Een brede kroon

De breedte van de kroon is bij alle drie de vormen van verkoeling een belangrijk criterium. Een brede kroon is in alle drie de gevallen de meest ideale situatie. Om te bepalen of een boom op dit criterium goed scoort, is onderscheid gemaakt in de volgende drie schaalniveaus.





#### + Brede kroon

-  Ronde kroonvormen
-  Afgeplat bolvormige kroonvormen
-  Breed piramidaal
-  Breed eironde kroonvormen
-  Breed vaasvormige kroonvormen
-  Breed treurende kroonvormen

#### +/- Matig brede kroon

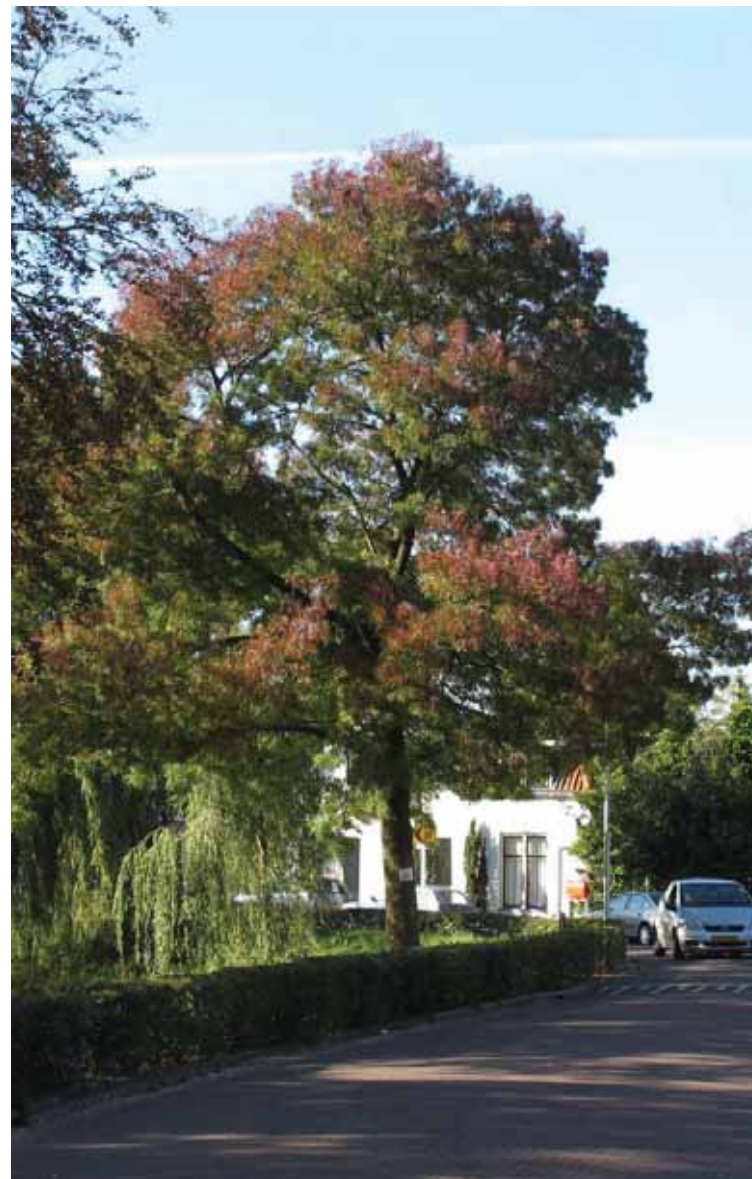
-  Ovale kroonvormen
-  Eironde kroonvormen
-  Vaasvormige kroonvormen

#### - Smalle kroon

-  Zuilvormige kroonvormen
-  Smal piramidale kroonvormen
-  Smal vaasvormig
-  Smal treurende kroonvormen

Bron: Symbolen afkomstig van "Van den Berk over Bomen"

Mooie voorbeelden van bomen met een brede kroon zijn *Aesculus hippocastanum* 'Baumannii', *Koelreuteria paniculata*, *Carpinus betulus* en *Fraxinus angustifolia* 'Raywood'



Afb 3.18 *Fraxinus angustifolia* 'Raywood', een boom met een brede kroon




Afb 3.19 Vrijwel alle Tilia soorten en cultivars behoren tot de 1e grootte

## Een hoge kroon


De hoogte van de kroon wordt bepaald door de maximale hoogte welke een boom kan bereiken. In Nederland variëren deze hoogtes in de meeste gevallen tussen de 2 en 35 meter, met enkele uitschieters naar de 40 tot 50 meter. Met dermate grote verschillen in hoogtes moge het duidelijk zijn dat het verkoelende effect van deze bomen ook zeer divers is. Zoals beschreven bij alle, in paragraaf 2 en 3 genoemde, verkoelende processen is een hoge kroon een belangrijk criterium.

Vrijwel alle vakgerelateerde bronnen over bomen onderscheiden drie hoogteklassen, namelijk 1e grootte, 2e grootte en 3e grootte. Ieder van deze klassen ondervangt een bandbreedte van hoogtes van de bomen. Ondanks dat er in de literatuur kleine verschillen zitten tussen de bandbreedtes van deze klassen, zijn deze drie klassen een goed hulpmiddel om “een hoge kroon” te kunnen definiëren. Hieronder worden de drie klassen weergegeven, waarbij de 1e grootte klimaatadaptief gezien een goede score krijgt en een boom van 3e grootte een matig tot slechte score.


### + Hoge kroon

 1e grootte (> 15 meter)

### +/- Matig hoge kroon

 2e grootte (8-15 meter)

### - Lage kroon

 3e grootte (< 8 meter)

Bron: Symbolen afkomstig van “Van den Berk over Bomen”

Mooie voorbeelden van bomen met een hoge kroon zijn *Acer rubrum* ‘Red Sunset’, *Ginkgo biloba* ‘Autumn Gold’, *Liriodendron tulipifera*, *Quercus petraea* en vrijwel alle *Tilia* cultivars



### Transparantie van de kroon

Transparantie is een redelijk lastig criterium aangezien de verschillende typen van verkoeling om verschillende kroondichtheden vragen. Voor optimale transpiratie is een halfopen kroonvorm wenselijk en voor schaduwwerking een geheel gesloten kroon. In het geval van schaduwwerking is het wel de vraag of een geheel gesloten kroon wenselijk is. Vooral in het stadscentrum, waar relatief veel recreatie plaatsvindt, is een te grote temperatuurdaling onder de boom ook niet wenselijk. Daarom wordt hier gekozen om een halfopen kroonvorm als optimale klimaatadaptieve eigenschap te zien. Dit betekent wel dat in het geval van schaduwwerking niet altijd de optimale verkoeling van het stadscentrum wordt bereikt, maar dit wordt wel opgevangen door een optimale transpiratie. De dichtheid van de kroon wordt in zowel “Van den Berk over Bomen” als het “Stadsbomen Vademecum 4” beschreven.

Een halfopen kroon vormt het optimale criterium. Een gesloten kroon is niet optimaal voor de transpiratie en gevoelstemperatuur, maar wel voor de afkoeling van de stad en de evaporatie. Een open kroon heeft van deze drie kroonvormen de minste verkoelende eigenschappen. Dit gegeven bepaald de hieronder weergegeven indeling.

#### + Veel effect



Halfopen kroon

#### +/- Matig effect



Gesloten kroon

#### - Weinig effect



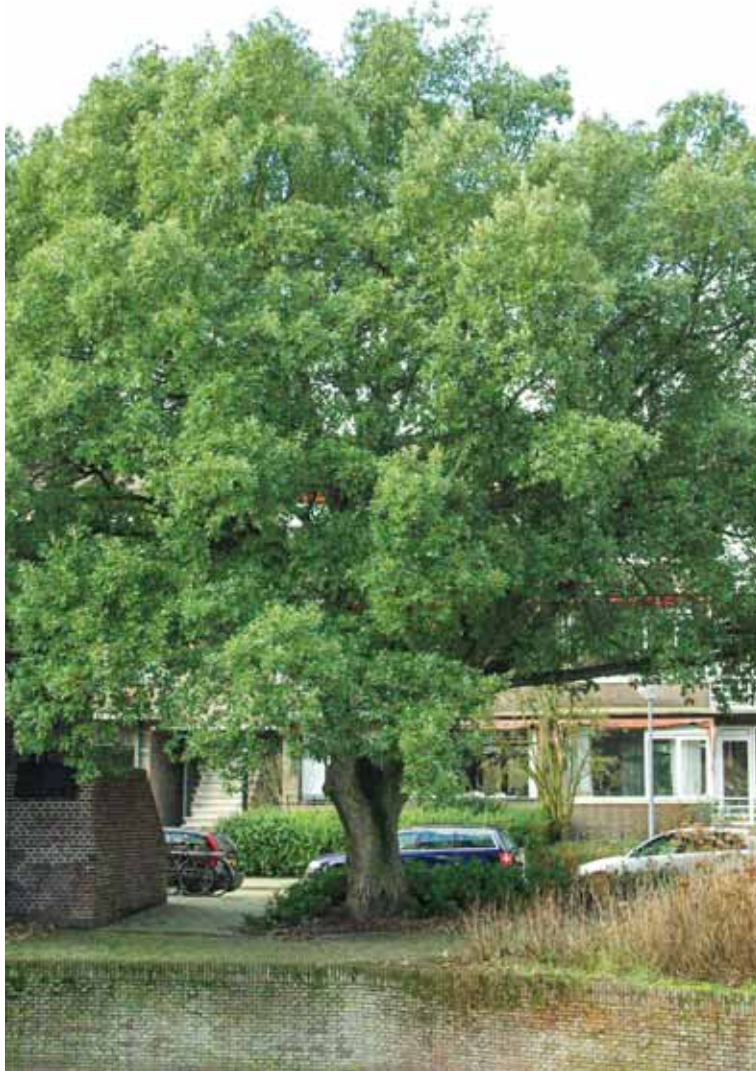
Open kroon

Bron: Symbolen afkomstig van “Van den Berk over Bomen”

Mooie voorbeelden van bomen met halfopen kronen zijn *Ailanthus altissima*, *Robinia pseudoacacia* en *Alnus incana*



Afb 3.20 *Robinia pseudoacacia*, een mooie boom met halfopen kroon



Afb 3.21 Quercus x turneri 'Pseudoturneri', een (half)wintergroene boom

## Bladperiode

Het blad is hét onderdeel van de boom waarmee de verkoelende werking van de boom wordt geregeld. De evaporatie, de transpiratie en de schaduwwerking hebben allemaal veel te maken met het blad. Het is daarom niet meer dan logisch dat een boom een langere periode verkoeling kan bieden wanneer deze langer in blad staat. Aangezien boomsoorten niet gelijktijdig in blad komen en ook niet gelijktijdig hun blad laten vallen is de bladperiode van bomen erg belangrijk. Een wintergroene boom is dan natuurlijk helemaal mooi.

Het is echter niet eenvoudig om voor de bladperiode selectiecriteria op te stellen. Een boomsoort heeft namelijk geen vaste bladperiode. De bladontplooiing en bladval zijn afhankelijk van veel klimatologische- en weersomstandigheden. Om aan te geven hoe groot deze verschillen kunnen zijn, nemen we als voorbeeld de *Betula pendula*. Op de website [natuurkalender.nl](http://natuurkalender.nl)<sup>[14]</sup> zijn over deze en andere bomen gegevens te vinden over onder andere de eerste waarnemingen van de bladontplooiing en de eerste waarnemingen van bladval. De eerste bladeren van de *Betula pendula* ontluiken in 2013 op 17 april, één jaar eerder was de eerste ontplooiing al op 04 maart waargenomen.

Dit betekent dat er geen vaststaande criteria gehanteerd kunnen worden voor de bladperiode, zoals dat wel kan voor bijvoorbeeld de kroonbreedte. Dit betekent echter niet dat het criterium bladperiode afvalt. Er zijn een aantal boomsoorten waarvan bekend is dat deze bomen altijd lang in het blad zitten ten opzichte van andere bomen of zelfs wintergroen zijn. Kleine kanttekening bij dit onderwerp is wel dat bomen met een lange bladperiode vaak dikkere bladeren hebben. Dikkere bladeren hebben meestal een lagere verdampingswaarde en brengen daarmee minder verkoeling.

Mooie voorbeelden van lang bladhoudende bomen zijn *Alnus x spaethii* 'Spaeth', *Alnus*, *Salix x sepulcralis* 'Chrysocoma', *Aesculus* (wel vroeg uit blad) en *Carpinus*. Wintergroen is *Quercus ilex* en halfwintergroen de *Quercus x turneri* 'Pseudoturneri'.



### Bladkleur

De bladkleur is vooral voor de schaduwwerking van belang. Bomen met lichtgekleurde bladeren laten meer zonlicht door dan bomen met donkergekleurde bladeren. Ook hier is het dus weer de vraag wat het meest wenselijk is, de verkoeling van de stad of de verkoeling van de mensen. Er is in ieder geval een categorisering te maken met de verschillende bladkleuren. Over het algemeen zijn de lichte kleuren zoals geel of bont blad met overheersende crèmekleurige/gele stukken het meest lichtdoorlatend. Bladeren met kleuren als groen en rood volgen deze categorie kleuren op. De laatste categorie zijn de bladeren met donkere kleuren zoals donkerpaars, donkerrood en tinten die neigen naar zwart.

Om terug te komen op het vraagstuk of de verkoeling voor de mens of voor de hele stad het meest wenselijk, wordt voor dit criterium een middenweg gezocht. Bomen met kleuren als groen en rood koelen de stad en brengen tegelijkertijd de temperatuur niet te drastisch omlaag, zodat de boom ook voor recreatieve doeleinden een prettige schaduw biedt. Dit betekent dat de andere twee categorieën blad dezelfde waardering krijgen. Alleen aan de hand van de context van de boom en het vraagstuk vanuit de opdrachtgevende partij kan de keuze worden gemaakt tussen deze twee niveaus van verkoeling.

#### + Matig lichtdoorlatend

Groene en rode bladkleuren

#### +/- Weinig lichtdoorlatend

Donkerrode, donkerpaarse en bijna zwarte bladkleuren

#### +/- Veel lichtdoorlatend

Gele en lichtbonte bladkleuren

Mooie voorbeelden van bomen met matig lichtdoorlatende bladeren zijn *Platanus x hispanica*, *Catalpa bignonioides*, *Tilia x europaea*, *Acer rubrum*, *Sophora japonica* en *Liquidambar styraciflua*



Afb 3.22 *Sophora japonica*, boom met groen blad en mooie bloei als extra baat



Afb 3.23 Castanea sativa, vooral op latere leeftijd diepe lengtegroeven

## Een grote LAI

De Leaf Area Index, vrij vertaald de bladoppervlak index. Dit geeft aan hoeveel blad een boom bevat per m<sup>2</sup>. Dit is een prachtig gegeven om de hoeveelheid blad en daarmee de verkoelende werking van een boom gedeeltelijk te bepalen. Helaas zijn de exacte LAI gegevens van veel bomen (nog) niet bekend. Onderzoek naar de gemiddelde LAI per boomsoort is zeer wenselijk om de klimaatadaptieve waarde per boom nog beter vast te kunnen stellen.

## Aantal huidmondjes

De hoeveelheid huidmondjes per boom heeft effect op de verdampingscapaciteit van een boom. Vooral voor de transpirerende werking van bomen zijn deze huidmondjes erg van belang. Er zijn echter weinig gegevens over het aantal huidmondjes per boomsoort. Er is onderzoek nodig om deze gegevens vast te kunnen stellen.

## Veel oneffenheden in tak- en stamstructuur

Voor de evaporatie is niet alleen het bladoppervlak, maar ook de structuur van stam en tak belangrijk. Oneffenheden in stam en tak kunnen water vasthouden, wat vervolgens weer kan verdampen. Veel oneffenheden betekent automatisch meer capaciteit. De literatuur geeft hier niet altijd een duidelijke beschrijving van en kent geen iconen voor dit criterium. Er zijn echter wel voorbeelden van bomen die voldoen aan dit criterium.

Een herkenbaar voorbeeld is een volwassen *Quercus robur*. De bast van deze boom heeft veel inkepingen waar het regenwater tijdelijk in opgeslagen kan worden. Een ander mooi voorbeeld is een volwassen *Robinia pseudoacacia*. Ook van deze boom hebben de bast en takken veel inkepingen. Een derde voorbeeld is de *Corylus colurna* met kurkachtige stam. Een laatste voorbeeld, zoals hiernaast ook afgebeeld, is de *Castanea sativa*.



### De meest klimaatadaptieve bomen

Er zijn veel bomen die kunnen bijdragen aan het klimaatadaptief maken van de stad. Vrijwel iedere boom bezit wel één of meerdere van de hiervoor genoemde criteria. Vooral de bomen die voldoen aan meerdere criteria zijn natuurlijk interessant. Hoe meer baten, des te beter! Het is natuurlijk mogelijk om alle bomen te toetsen om de genoemde criteria. Dit is natuurlijk onbegonnen werk. Daarom is het eenvoudiger om met behulp van een bomenboek, zoals Van den Berk over Bomen, bomen te selecteren op de criteria welke deze boeken met symbolen of andere zoeksystemen voorschrijven. Het betreft hier voornamelijk de kroonbreedte, de kroonhoogte, de transparantie van de kroon en de bladkleur.

Met deze stappen is de selectie van een klimaatadaptieve boom al ver gevorderd. Vervolgens kan deze gereduceerde bomenlijst op eigenschappen als de bladperiode en het bezitten van oneffenheden in de stam of takken getoetst worden. Dit is vaak terug te vinden in de beschrijvingen van de bomen in de literatuur. De eigenschappen LAI en aantal huidmondjes zijn zoals beschreven wel belangrijk maar door gebrek aan gegevens nog niet altijd vast te stellen. Wanneer in de toekomst hierover wel gegevens bekend gemaakt gaan worden, zullen deze onderzoeken de selectie op LAI en aantal huidmondjes mogelijk gaan maken. Hieronder staan een aantal voorbeelden weergegeven van boomsoorten die aan meerdere klimaatadaptieve eigenschappen voldoen en daarom behoren tot “de meest klimaatadaptieve bomen”. Let op, dit zijn voorbeelden, dus absoluut niet de enige meest klimaatadaptieve bomen.

### Quercus robur

- Boom van de 1e grootte
- Half open kroon
- Diepe groeven in stam en takken
- Groen blad



Afb 3.24 Quercus robur

# Criteria en sortiment

## *Alnus x spaethii* 'Spaeth'

- Boom van de 1e grootte
- Breed piramidale kroonvorm
- Lange bladperiode
- Half open kroon
- Groene bladkleur



Afb 3.25 *Alnus x spaethii* 'Spaeth'

## *Tilia x europaea* 'Euchlora'

- Boom van de 1e grootte
- Ovale tot breed eironde kroonvorm
- Diepe groeven in bast (latere leeftijd)
- Half open kroon



Afb 3.26 *Tilia x europaea* 'Euchlora'



*Fraxinus angustifolia* 'Raywood'

- Boom van de 1e grootte
- Breed eivormige kroonvorm
- Half open kroon
- Diepgegroefde stam en takken (latere leeftijd)



Afb 3.27 *Fraxinus angustifolia* 'Raywood'

*Phellodendron amurense*

- Breed waaiervormige kroonvorm
- Halfopen kroon
- Diep gegroefde takken en bast
- Groen blad



Afb 3.28 *Phellodendron amurense*



Afb 3.29 Schaduw op een parkeerplaats, baat voor milieu en eigenaar auto



Afb 3.30 Schaduw op een gebouw reduceert de energiekosten van de airco

## 3.5 Baten en baathouders

Het is natuurlijk prachtig dat een juiste keuze van boomsoorten kan leiden tot een leefbaar stadsklimaat voor nu en de toekomst. In de vorige paragrafen is duidelijk geworden wat de betekenis van bomen kan zijn bij het klimaatadaptief maken van de stad. Echter wordt hier alleen gesproken over de mogelijke effecten, zoals verkoeling. Maar wat zijn die voordelen van verkoeling nu precies? Om de exacte voordelen van de klimaatadaptieve bomen voor de stad en daarmee voor de mens inzichtelijk te maken wordt hieronder een opsomming gegeven van de baten die een boom daadwerkelijk kan leveren met betrekking tot het stedelijk leefklimaat.

Daarnaast worden per baat enkele baathouders genoemd. Baathouders zijn de personen of aspecten die invloed op de leefomgeving hebben en voordelen ondervinden van de genoemde baten. Een belangrijke bron voor deze baten zijn een aantal onderzoeken van dhr. A.R. Ennos e.a.. Deze onderzoeken spelen voornamelijk in op de rol van groen en in de stad op het gebied van de klimaatverandering.<sup>[6, 7]</sup>

### Verkoeling

#### Baat

De schaduw van bomen reduceert de kosten van airconditioning met 4-6% in Chicago (Ennos). Dit betekent voor een grote stad als Chicago een enorme daling van het energiegebruik.

#### Baathouders

1. Eigenaren van gebouwen, door daling van het energiegebruik besparen deze eigenaren op hun energierekening
2. Het milieu. De vraag naar energie zal dalen door de afname van airconditioning. Dit zorgt voor minder uitstoot van schadelijke stoffen bij de energiecentrale. Indirect wordt daarmee het leefklimaat van alle mensen hier positief door beïnvloed.



### Baat

Een aandeel van 10% van bomen op het totale oppervlak van het stadscentrum koelt het complete centrum tijdens een hittegolf ongeveer met 4°C af. Volgens het onderzoek van Ennos betekent dit dat er in de stad tot in ieder geval 2080 een prettig leefklimaat op het gebied van temperatuur blijft heersen. (Ennos)

### Baathouders

1. De inwoners van de stad. 4°C lijkt misschien niet veel, maar tijdens een extreem warme zomerdag kunnen 4 extra graden een groot verschil maken tussen een aangename en zeer onaangename temperatuur.

2. Ouderen. Vooral de oudere bevolkingsgroepen ondervinden vaak last van hoge temperaturen. Op oudere leeftijd neemt het vermogen om te transpireren (en daarmee het lichaam te koelen) af. Hitte kan daarom vooral bij ouderen met een zwakke gezondheid letterlijk het verschil maken tussen leven en dood ([www.ouderenfonds.nl](http://www.ouderenfonds.nl)).

### Baat

Een boom koelt met zijn schaduw op een extreem hete zomerdag het onderliggende betonnen oppervlak tot wel 14°C af ten opzichte van zijn omgeving (Ennos)

### Baathouders

1. Horeca ondernemer. Een belangrijke baathouder van de schaduw van de boom is de horeca ondernemer. Een terras op een hete zomerdag in de schaduw van een boom, wie wil daar nou niet zijn drankje drinken. Dergelijke situaties kunnen de horeca ondernemer veel extra klanten opleveren. Helaas wordt er nog te weinig gebruik gemaakt van deze baat van bomen.

2. De inwoners/bezoekers van de stad. De schaduwwerking van bomen is erg belangrijk in tijden van hitte. En uitrusten op een bankje op het plein. Eén bankje staat pal in de brandende zon, de tweede in de schaduw van de boom. Welke kiest u?

### Baat

Een in de schaduw van een boom geparkeerde auto heeft een temperatuur tot wel 25°C lager dan de omgeving (Tonneijk, Fred)

### Baathouders

1. De eigenaar van de auto. Deze baathouder behoeft weinig uitleg. De keuze tussen een hete en een koele auto valt vrijwel unaniem op de koele auto.

2. Het milieu. Dit is een baathouder die misschien wat minder bekend is. Een auto die in de brandende zon staat verliest namelijk brandstof, puur door de verdamping. Hierbij komende de schadelijke stoffen van de brandstof vrij. Daarnaast komen er in de volle zon kleine deeltjes van de lak vrij (Anton Dekker). Erg overdreven gezegd verdwijnt langzaam maar zeker de lak van de auto. Deze deeltjes zijn schadelijk voor het milieu.



Afb 3.31 De horeca eigenaar profiteert van de schaduw en esthetische waarde



Afb 3.32 Water wordt vastgehouden op bladeren van bomen



Afb 3.33 Riool krijgt door de inzet van bomen minder water te verwerken

## Waterregulatie

### Baat

Een boom vangt 40-50% van het regenwater bij een normale bui, met het blad op. Een gebouw houdt slechts 2-5% regenwater vast. Dit betekent dat een aandeel van 10% van de bomen op het totale oppervlak van het stadscentrum van de totale hoeveelheid regenwater 5% puur met het blad opvangt en verdwijnt door evaporatie (Ennos). De transpirerende werking van bomen is hier dus nog niet eens meegenomen.

### Baathouders

1. Gemeenten. De huidige en toekomstige piekbuien gaan zorgen voor veel wateroverlast. Door middel van evaporatie kan deze overlast sterk gereduceerd worden. De scheelt de gemeente enorm veel schadeclaims. Daarnaast verlaagt dit de rioolzuiveringskosten.

2. Inwoners van de stad. Wateroverlast is absoluut niet prettig. Bij het voorkomen van deze overlast zijn de inwoners zeker gebaat. Ook de inwoners betalen op den duur minder rioolzuiveringskosten.

### Baat

Een onderzoek uit Manchester toont aan dat een boom 60% van de gemiddelde regenval kan opnemen met evapotranspiratie.

### Baathouders

1. Iedereen. 60% van het water dat in de omgeving van de boom valt tijdens een normale regenbui, kan door middel van evotranspiratie weggevoerd worden. Bij een piekbui zal dit aantal lager zijn, maar door het water tijdelijk te bergen en vervolgens in een droge periode aan de boom af te geven, is deze 60% wel te bereiken. Een groot deel van de overlast en rioolzuiveringskosten wordt hiermee weggenomen. Hierbij is iedereen gebaat.





Afb 3.34 Prachte groene laan, midden in de stad. Dergelijke groenstructuren zijn van grote klimaatadaptieve waarde voor de stad





Afb 3.35 De kroon van deze boom blokkert de luchtstroming

## 3.6 Ontwerpaspecten

Bij ieder project wordt vooraf een ontwerp gemaakt. In dit ontwerp wordt, zoals gebruikelijk, met een bepaalde visie de vormtaal van de nieuwe situatie vastgesteld en binnen deze weergave worden verhardingsmaterialen, inrichtingselementen en groen aan het plan toegekend. Met name over de positionering van de bomen wordt niet altijd voldoende nagedacht. De vele voordelen die een boom ons kan bieden staat of valt al in de ontwerpfase.

Voor de klimaatadaptieve gedachte betekent dat bijvoorbeeld minder rendement van de verkoeling van bomen. Een goed voorbeeld is de afkoeling van gebouwen. In de vorige paragraaf staat al beschreven dat een boom dezelfde verkoelende werking kan hebben als ongeveer 10 airco-systemen. Om dergelijke fantastische resultaten te kunnen bereiken moet de boom op de juiste plaats ten opzichte van een gebouw worden geplaatst. Vooral het aanplanten van de boom aan de oost en zuidzijde van het gebouw levert het hierboven beschreven effect op (A.R. Ennos). Het is dus cruciaal om deze positionering van de boom niet alleen te laten afhangen van zichtlijnen of andere ontwerpmatige redeneringen, maar ook zeker van de mate waarin de boom zijn baten op een bepaalde plek kan vervullen.

Een andere belangrijke reden goed te kijken naar de positionering van de bomen heeft met de luchtstroming te maken. Het moge duidelijk zijn dat de grote hoeveelheden bebouwing in de stad zorgen voor een afname van de luchtstroming. Stroming van de lucht zorgt voor verkoeling van de stad, een afname van deze stroming draagt daarom bij aan het hitte-eiland effect. Het is juist de bedoeling om met bomen de stad te verkoelen. Bomen moeten dus nooit luchtstromingen in bijvoorbeeld smalle straten met hun kroon blokkeren. Hiermee wordt het tegenovergestelde bereikt van het doel waar dit rapport voor geschreven is. Ook hier kan de ontwerper een sleutelrol spelen bij het behalen van de klimaatadaptieve baten of juist het compleet falen van dit doel.



### 3.7 Feiten en aannames

In dit hoofdstuk is veel geschreven over de klimaatadaptieve baten van bomen en de processen waarmee deze baten verkregen worden. De meeste informatie is verkregen uit betrouwbare, wetenschappelijke of biologische onderzoeken. Echter is een deel van deze informatie (nog) niet onderbouwd met feiten. Enerzijds komt dit door een tekort aan onderzoekers op dit vakgebied (of een tekort aan geld voor onderzoek) en anderzijds doordat veel aspecten van bomen moeilijk in cijfers uit te drukken zijn. Vooral het vaststellen van de (financiële) baten van bomen blijkt lastig. Dat de baten zijn weten we, maar hoe dit te onderbouwen is, blijft in sommige gevallen een moeilijk verhaal. Om dit onderzoek zo transparant mogelijk te houden wordt hieronder een puntgewijze samenvatting gegeven van dit hoofdstuk, opgedeeld in feiten en aannames.

#### Feiten

- Piekbuien komen steeds vaker voor (KNMI)
- De temperatuur in de stad loopt steeds hoger op (A.R. Ennos)
- Het verkoelend effect van een volwassen boom staat gelijk aan maximaal 10 airco's
- Het evaporatieproces (W. Schuring)
- Het transpiratieproces (W. Schuring)
- Schaduw van een boom koelt auto's en vermindert verdamping van brandstof en metaaldeeltjes van de lak (A. Dekker en F. Tonneijk)
- Lichtgekleurd blad laat meer licht door dan donkergekleurd blad (J. van Merriënboer)

#### Aannames

- De opdeling in kroonbreedtes. Sommige kroonbreedtes vallen op de rand van een categorie. Over de plaatsing van de "randgevallen" valt te discussiëren.
- De hoeveelheid blad (LAI) lijkt bij te dragen aan een grotere evapotranspiratie. Om dit te kunnen onderbouwen is meer onderzoek nodig.
- Het aantal huidmondjes draagt vrijwel zeker bij aan transpiratie. Het exacte effect dient beter onderzocht te worden
- Alle in dit hoofdstuk genoemde criteria wegen even zwaar bij het samenstellen van het sortiment. Wellicht hebben een aantal van deze criteria meer effect dan de andere criteria. Om gewicht te kunnen hangen aan de criteria dient van het criteria het effect op de verkoeling en wateropname te worden vastgesteld.



Afb 3.36 Verkoeling met bomen, ook de stad is er klaar voor





# De klimaatadaptieve groeiplaats

# 4



De groeiplaats is een onmisbaar onderdeel van dit onderzoek. Een boom kan in theorie nog zoveel baten leveren, als de groeiplaats niet juist is ingericht, komen deze baten nooit tot hun recht. Daarnaast kan een groeiplaats ook zelf bijdragen aan het klimaatadaptief maken van het stadscentrum. Welke eigenschappen een groeiplaats moet bezitten om de boom een goede groeiomgeving te bieden en hoe een klimaatadaptief groeiplaatsontwerp eruit ziet, wordt in deze paragraaf beschreven en afgebeeld.



## 4.1 Het belang van de groeiplaats



Afb 4.1 Boom planten? Doe het goed, of doe het niet!



Afb 4.2 De groeiplaats, geldverspilling of een investering voor de toekomst?

In voorgaande hoofdstukken is uitvoerig behandeld hoe bomen ons kunnen voorzien in belangrijke klimaatadaptieve baten. Echter komen deze baten pas tot hun recht wanneer geïnvesteerd wordt in gezonde groeiomstandigheden voor de bomen.

Helaas worden bomen in veel projecten gezien als de 'sluitpost' waar niet te veel in geïnvesteerd moet worden. In andere projecten wordt er weer te laconiek omgegaan met het belang van de kwaliteit van de boom en zijn groeiplaats. Vaak is het gevolg dat de bomen niet uit zullen groeien tot mooie gezonde volwassen bomen, waardoor de baten van bomen zich automatisch minder zullen laten gelden. Om gemeenten, adviesbureaus en aannemers te helpen bij het correct toepassen van bomen, zodat de bomen met succes het streefbeeld kunnen behalen en de baten optimaal tot hun recht komen, wordt in dit hoofdstuk de optimale groeiplaats voor de stadsboom ontworpen. De groeiplaats zal de boom in al zijn behoeften voorzien zonder dat andere binnenstedelijke voorzieningen hier hinder van ondervinden.

Daarnaast wordt de groeiplaats zó ontworpen dat het een zo groot mogelijke bijdrage zal gaan leveren aan de binnenstedelijke klimaatadaptatie. Dit betekent dat het de stad zal voorzien in een regenwatervoorziening welke piekbuien kan bergen, om vervolgens zo veel mogelijk van dit water te gebruiken om de boom van water te voorzien. Het is de bedoeling dat het water tevens beschikbaar blijft voor de boom ten tijde van droogte. Er bestaan al groeiplaatsen die bomen via "de regenleiding" voorzien van water. Echter zal bij de klimaatadaptieve groeiplaats de optimale balans vinden tussen het bergen en het geleidelijk afgeven van regenwater. In de 'klimaatadaptieve groeiplaatsconstructie' worden de bomen voorzien van de optimale groeiomstandigheden, waarvan de waterbalans een onderdeel is.

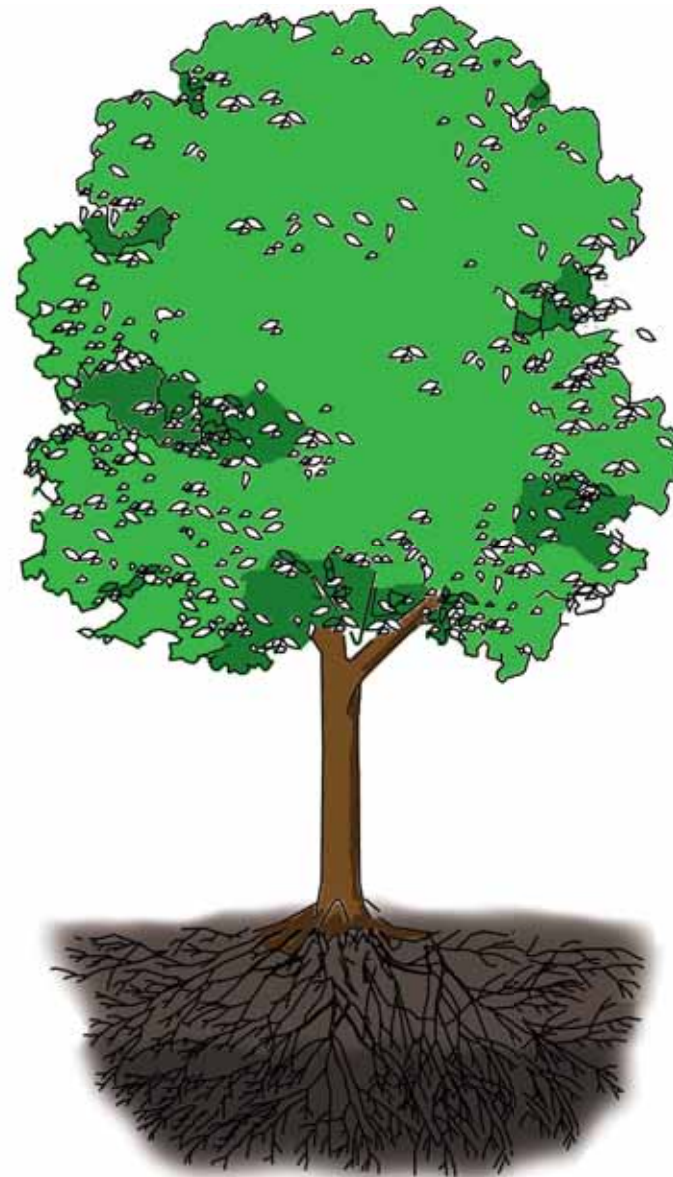
Het is belangrijk dat de constructie de boom in zijn behoeften voorziet en tegelijkertijd bijdraagt aan een duurzame omgang met regenwater, zonder dat beide functies elkaar hinderen. Zo



dient deze paragraaf als checklist ter controle van de volledigheid van de constructie. Er dienen zich enkele uitdagingen aan bij het ontwerpen van een dergelijke constructie. In deze paragraaf worden deze uitdagingen toegelicht om ze vervolgens één voor één tekstueel en beeldend het hoofd te bieden.

Het is belangrijk per situatie na te gaan wat het streefbeeld is en welke kwaliteit er nagestreefd dient te worden als het gaat om de boomtoepassing. Bij toepassing in het binnenstedelijk gebied wordt doorgaans echter een hoge kwaliteit geëist om de binnenstad een bepaalde beleving en imago uit te laten stralen. We gaan in deze situatie uit van toepassing binnen het ruime straatprofiel in het stadscentrum. Voorbeelden waar de constructie toegepast zou kunnen worden zijn pleinen, brede straten en parkeerplaatsen. Hier is veel stenig materiaal aanwezig waardoor vergroening, verkoeling en duurzame afwatering goed tot hun recht zouden kunnen komen. Vanwege de binnenstedelijke situering zijn gemeenten vaak bereid meer te investeren in groen. De groeiplaats zal dan ook een hoogwaardig product worden, welke groeisucces garandeert, maar dus ook het nodige geld zal kosten.

De boom hiernaast dient als rolmodel voor de optimale klimaatadaptieve stadsboom. Om de klimaatadaptieve baten die de boom heeft tot bloei te laten komen moet de groeiplaats aan bepaalde eisen voldoen. In dit hoofdstuk zullen we per eis zowel tekstueel als beeldend een oplossing brengen waardoor we aan het eind van het hoofdstuk zullen afsluiten met de optimale klimaatadaptieve groeiplaats.



Afb 4.3 Model van de boom, leidend bij het groeiplaatsontwerp



Afb 4.4 De wortels van een boom reiken vaak verder dan men denkt



Afb 4.5 Te weinig wortelruimte resulteert in de opdruk van verharding

## 4.2 Doorwortelbare ruimte

Wanneer een boom toegepast wordt waarvan het de bedoeling is dat het een omvangrijke kroon zal ontwikkelen, dient het de beschikking te hebben over voldoende doorwortelbare ruimte. Voor gezonde bomen geldt namelijk dat de ontwikkeling van de kroon, parallel loopt aan de ontwikkeling van het wortelgestel. Dit heeft alles te maken met het bladoppervlak waarmee de boom door middel van capillaire werking en worteldruk zorgt dat er water en voedingsstoffen vanuit de wortels, via de stam richting de kroon worden getransporteerd waardoor fotosynthese kan plaatsvinden. Het wortelgestel moet de groeiende kroon kunnen blijven voorzien van voldoende water en voedingsstoffen. Na verloop van tijd zal het wortelgestel hierom in opnamecapaciteit moeten groeien. Doorgaans kan het wortelgestel van een stadsboom zich vrijuit ontwikkelen wanneer de bodem niet sterker verdicht is dan 2 MPA, waarbij de verdichting idealiter niet hoger is dan 1,5 MPA. Wanneer de bodem sterker verdicht is dan 2 MPA zullen de wortels niet verder kunnen groeien, wat op den duur de groei van de gehele boom negatief zal beïnvloeden.

Een veel gebruikte vuistregel om de doorwortelbare ruimte die een boom nodig zal hebben te voorspellen is het toepassen van 1m<sup>3</sup> vrij doorwortelbare ruimte, per verwacht groeiseizoen. Een boom zal met 1m<sup>3</sup> vrij doorwortelbare ruimte, voorzien van goede minerale grond, 1 seizoen groeien. Wanneer de tijd is aangebroken waarbij de boom de vrij doorwortelbare ruimte volledig heeft ingenomen, zal bij voldoende voeding-, vocht- en watervoorziening, de groei langzaam afnemen waarna de boom na enkele jaren zal stoppen met groeien. Wanneer de boom gestopt is met groeien hoeft het niet zo te zijn dat de boom direct afsterft. In een gezonde groeiplaats zal de boom nog jaren kunnen blijven staan.

Met deze informatie kan een opdrachtgever gemakkelijk bepalen hoe veel doorwortelbare ruimte er minimaal beschikbaar moet worden gesteld om een bepaald streefbeeld te kunnen halen. Wanneer een stadsboom van 1e grootte 50 jaar nodig heeft om een bepaald streefbeeld te kunnen halen, zal de groeiplaats dus plaats moeten bieden aan 50 m<sup>3</sup> vrij doorwortelbare ruimte. Van



groot belang is dan wel dat de groeiplaats gedurende deze 50 jaar de boom continu voorziet van voldoende water, zuurstof en voedingsstoffen.

Tevens is het niet realistisch om de groeiplaats bijvoorbeeld 5 meter diep te maken met een oppervlakte van 10 vierkante meter. Het wortelgestel van een boom groeit in eerste instantie naar de ruimte en de voorzieningen die het krijgt, maar doorgaans zit het grootste deel van het wortelgestel (voornamelijk wegens zuurstofvoorziening) binnen de eerste meter onder maaiveld.

In sommige gevallen zit het grondwater nog ondieper dan 1 meter. In deze gevallen heeft het weinig zin om de groeiplaats 1 meter diep te maken. De boomwortels zullen nooit door het grondwaterpeil heen groeien. De groeiplaats kan dan zo diep worden als de gemiddeld hoogste grondwaterstand, waardoor de boom via het grondwater door middel van capillaire werking van water wordt voorzien.

In veel gevallen wordt er niet voldaan aan de richtlijnen voor de noodzakelijke doorwortelbare ruimte. Primaire oorzaken hiervan zijn een gebrek aan kennis van de ontwerper, het doorschuiven van voorspelbare problemen naar latere fasen (beheer), en een tekort aan integratie van de boom in het ontwerpproces. In veel gevallen krijgen de bomen ondergronds te maken met kabels, leidingen en vooral ook het riool. Gevolg is vaak dat de bomen en deze elementen elkaar raken, verdrukken of zelfs beschadigen. Bij beschadiging aan de kabels en leidingen raken tijdens de reparatiewerkzaamheden nogal eens boom(-wortels) beschadigd of worden wortels volledig afgestoken/-gezaagd. Dit gaat ten koste van de gezondheid van de boom.<sup>[3, 11]</sup>



Afb 4.6 Ondergrondse groeivoorziening t.b.v. de doorwortelbare ruimte

# Doorwortelen

## Het ontwerp

Het liefst zouden we zien dat bomen in de stad zo oud zouden kunnen worden als dat ze in de natuur ook vaak worden. Helaas zijn hier de omstandigheden vaak niet naar en is er simpelweg de ruimte niet voor. Om reëel te blijven en de kosten niet torenhoog te laten oplopen gaan we uit van een groeiplaats die ruimte biedt voor 40m<sup>3</sup> vrij doorwortelbare ruimte. Zowel in laanstructuur, als in groepsverband of solitair is deze maat goed in te passen. De constructie zal zorg dragen voor gezonde groeiomstandigheden waardoor de boom ca. 40 jaar gestaag door zal groeien. Wanneer de 40 jaar verstreken zijn en de boom hoogstwaarschijnlijk het volledige volume van de groeiplaats heeft ingenomen, zal de groei langzaam afnemen. Er zal nagestreefd worden om de groeiplaats zó duurzaam te ontwerpen dat de boom in volwassen stadium, zonder nog veel te groeien, nog jaren zal kunnen blijven staan.

40 m<sup>3</sup> doorwortelbare ruimte kan in vele vormen gedimensioneerd worden. Het enige dat vast staat voor het groeisucces van de boom is de diepte die de boom nodig heeft, namelijk ca. 1 meter. Om de boom enige vrijheid te geven om bij uitzondering dieper te gaan dan een meter en om hierdoor minder oppervlak te hoeven reserveren, is de diepte op 1,2 vrij doorwortelbare ruimte vastgesteld. Tot deze diepte zal de boom zijn vocht en voedingsstoffen kunnen vinden. Om tot 40 m<sup>3</sup> vrij doorwortelbare ruimte te komen rest nog het vaststellen van het oppervlak. Er is een oppervlak van ca. 33m<sup>2</sup> nodig om met de vastgestelde diepte tot een volume van 40 m<sup>3</sup> te komen. Door het ruime volume die de boom krijgt, zal de zoektocht naar voorzieningen buiten de groeiplaats van de boom niet voorkomen. Hierdoor zullen ondergrondse elementen (kabels en leidingen) niet meer verward raken in het wortelgestel van de boom.

In dit geval is de groeiplaats vierkant geworden, wat een vorm is die goed zou passen op een plein of parkeerplaats. In geval van een vierkante groeiplaats komen we nu uit op zowel een lengte- als een breedtemaat van 5,8 meter. Mocht een dergelijke groeiplaats nou op een parkeerplaats toegepast

worden dan zou het een mooie oplossing zijn dat de groeiplaats het oppervlak zou krijgen van bijvoorbeeld 4 parkeervakken. Als op elke parkeerplaats in Nederland een boom wordt geplant in het hart van vier parkeervakken, zijn we goed op weg richting een groenere stadsomgeving en klimaatadaptatie.

De vorm van de groeiplaats kan natuurlijk aan de in te passen situatie aangepast worden. Het is bijvoorbeeld aannemelijk dat de groeiplaats in een drukke verkeersstraat beter wat rechthoekig kan zijn zodat kabels en leidingen nog voldoende ruimte om de groeiplaats hebben. Het is voor de boom niet zo belangrijk welke vorm de groeiplaats nou precies heeft. Als het maar niet te smal wordt. Meer hierover in paragraaf 4.4.<sup>[3]</sup>

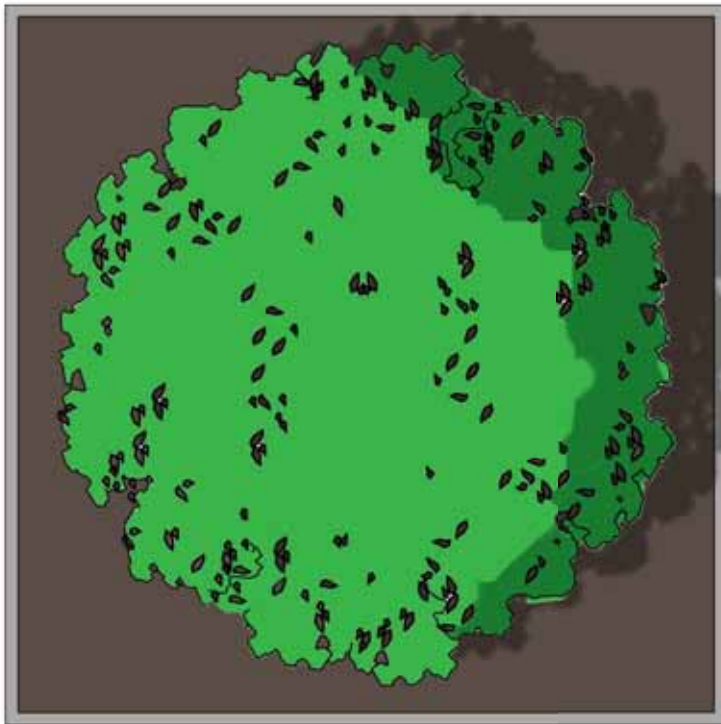


Afb 4.7 De stedelijke infrastructuur komt de wortelruimte niet ten goede

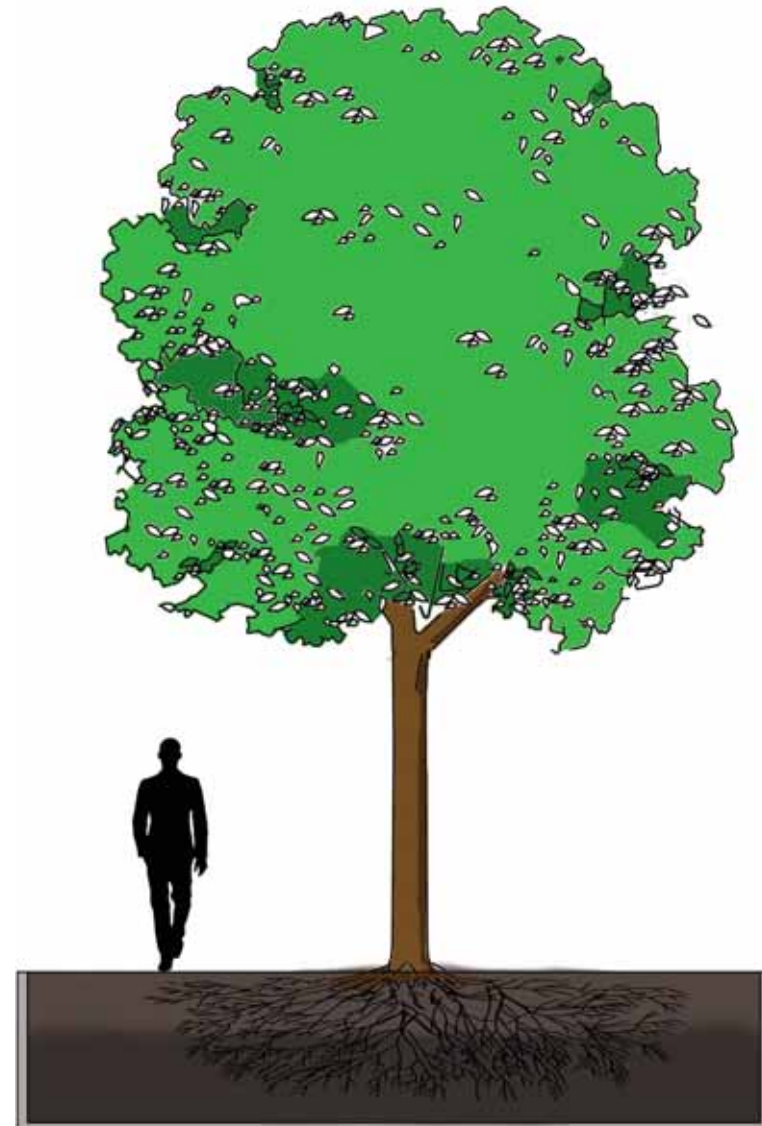


### Het ontwerp samengevat

- 1 m<sup>3</sup> vrij doorwortelbare ruimte per groeiseizoen
- Uitgangspunt 40m<sup>2</sup>
- Geen verwikkeling boomwortels met andere ondergrondse voorzieningen
- Aanpasbare vorm (situatieafhankelijk)
- 1,20 meter diep



Afb 4.8 Bovenaanzicht groeiplaats boom



Afb 4.9 Zijaanzicht wortelruimte boom



Afb 4.10 Dit systeem van kunststof heeft een matige draagkracht



Afb 4.11 Een betonconstructie heeft een enorm grote draagkracht

## 4.3 Draagkracht

De intensieve betreding in de stad heeft er door de jaren heen voor gezorgd dat de behoefte aan verharding de behoefte aan groen voorbijgestreefd is. Verharding is almaar meer terrein gaan winnen ten opzichte van de natuurlijke gebiedseigen open bodem. Verharding is functioneel en beheersmatig nou eenmaal voordeliger dan groen. Er lijkt echter een besef te ontstaan onder gemeenten dat er meer aandacht aan groen geschonken dient te worden.

Veel groeiplaatsen van bomen zijn door de jaren heen onderdrukt door het grote verharde oppervlak. Door de funderingen van de verhardingen is de groeiplaats van de bomen almaar kleiner geworden, evenals de voorraad aan voedingsstoffen. De verdichte bodem is vaak te ‘massief’ gebleken voor de wortels om zich op gezonde wijze te kunnen ontwikkelen. De soort bodem die een boom nodig heeft om op gezonde wijze te kunnen groeien, heeft nou eenmaal niet de draagkrachtige eigenschappen waar de hedendaagse stad om vraagt.

Draagkracht is daarom een belangrijke eigenschap die de groeiplaats moet kunnen vervullen. De wrijving die bestaat tussen de eigenschappen van draagkrachtige funderingen en voedingsrijke bodems moet worden opgeheven om zowel de boom als de stad zo veel mogelijk in haar wensen te kunnen voldoen. Om de functionaliteit van het maaiveld bij toepassing van verharding te handhaven is het van belang dat het mogelijk moet zijn boven de vrij doorwortelbare ruimte het oppervlak te kunnen vullen met verharding. Dit moet echter niet ten koste gaan van de kwaliteit van de groeiplaats.

Om de gebruikersvrijheid van de groeiplaats te optimaliseren moet de groeiplaats voldoende draagkracht hebben om bijvoorbeeld verkeer en voetgangers te kunnen houden. In de stad komt veel vracht- en busverkeer. Om dit verkeer niet te hoeven weren of hinderen in de stad dient er een draagkrachtige groeiplaatsconstructie ontworpen te worden. De constructies moet daarnaast niet alleen de belastingen van bovenaf kunnen opnemen, maar komt ook onder zware spanningen te staan



wanneer de boom volgroeid is en het wortelgestel verder uit wil breiden of als de wind flink aan de kroon trekt.

In het stadscentrum van gemeente Apeldoorn is er al eens over dit vraagstuk gespard. Zij hebben dit vraagstuk beantwoord door de draagkracht te realiseren middels een betonnen bunkerconstructie. De constructie heeft ervoor gezorgd dat Apeldoorn nagenoeg vrij is in de inrichting én het gebruik van het maaiveld direct rondom de bomen. Daarbij heeft het als bijkomend voordeel dat het wortelgestel ‘opgesloten’ zit in een eigen ruimte, waardoor het geen schade kan aanrichten aan omliggende infrastructuur. De groeiplaatsen waar de bomen in staan zijn hierdoor erg beheersbaar geworden. De ondergrondse invloeden van de boom op de directe omgeving en vice versa zijn hierdoor uitgesloten.

De constructie van Apeldoorn is hiermee erg innovatief en een prima oplossing voor de criterium draagkracht. In Apeldoorn heeft men echter te maken met een zeer goede bouwgrond bestaand uit overwegend zandig materiaal. Het moet mogelijk zijn om de constructie lichter te maken, waardoor de constructie gemakkelijker toe te passen is in steden die op een minder draagkrachtige bodem zijn gebouwd.

De eisen draagkracht, licht en robuust zijn echter drie termen die niet erg lekker stroken. Voornamelijk draagkrachtige en robuuste materialen zijn vrijwel altijd erg massief. Het betonnen concept van Apeldoorn is daarom een prima uitgangspunt, maar het is aannemelijk dat deze constructie lichter kan door de toepassing van beton te minimaliseren.<sup>[3]</sup>



Afb 4.12 Een 2e maaiveld verzorgt in draagkracht en wortelruimte in Apeldoorn

# Dragen



Afb 4.13 Betonconstructie naast waterloop en voetpad in Apeldoorn



Afb 4.14 Beton is van vrijwel alle patronen, illustraties en teksten te voorzien

## Het ontwerp

Een betonnen constructie is in staat de draagkracht te leveren die de stad vraagt. Hierdoor hoeft het groeimedium/het wortelgestel niet in te leveren op doorwortelbaarheid en/of voedingswaarde. In feite is er een maaiveld gecreëerd waar de stad optimaal bediend wordt in gebruikers- en beheersvrijheid én is er daaronder een maaiveld gecreëerd die niet zal worden betreden of verdicht waar de boom profijt van heeft. De vrij doorwortelbare ruimte kan gehandhaafd worden.

De betonnen constructie welke in Apeldoorn is toegepast fungeert als inspiratiebron op dit ontwerp. Het gewapende beton is eveneens gekozen als beste materiaal, echter bestaat de constructie nu niet uit een dichte bak, maar is het een lichter betonnen raamwerk geworden wat meer ruimte biedt voor andere voorzieningen die de boom in behoeften kunnen faciliteren.

Bovenop het raamwerk bestaat de constructie uit vier (of meer) prefab betonnen platen. Deze platen kunnen de intensieve betreding in de stad aan. Het beton is een product dat gemakkelijk aanpasbaar is om andere voorzieningen binnen het ontwerp te kunnen integreren. Direct om de stam bestaan de platen uit prefab elementen die naar mate de stam dikker wordt eruit gehaald kunnen worden om de stam meer ruimte te bieden. Bovenop de prefab betonnen platen zou de verharding ingestraat kunnen worden zodat de groeiplaats op gaat in zijn omgeving. Het is echter ook mogelijk de constructie zichtbaar te maken voor de mensen. Mensen zullen zich hierdoor meer bewust kunnen worden van de investering die gedaan moet worden om dergelijke 'stadsbomen kwaliteit' te kunnen realiseren.

Beton is daarnaast een product waarin gemakkelijk artistieke elementen in verwerkt kunnen worden. De platen kunnen elke denkbare kleur krijgen, er kunnen bijvoorbeeld speelpatronen, teksten en illustraties in verwerkt worden. Zo is de groeiplaats bijvoorbeeld goed te combineren met een monument.

Om de boom heen kan het maaiveld vrijuit ingericht worden.

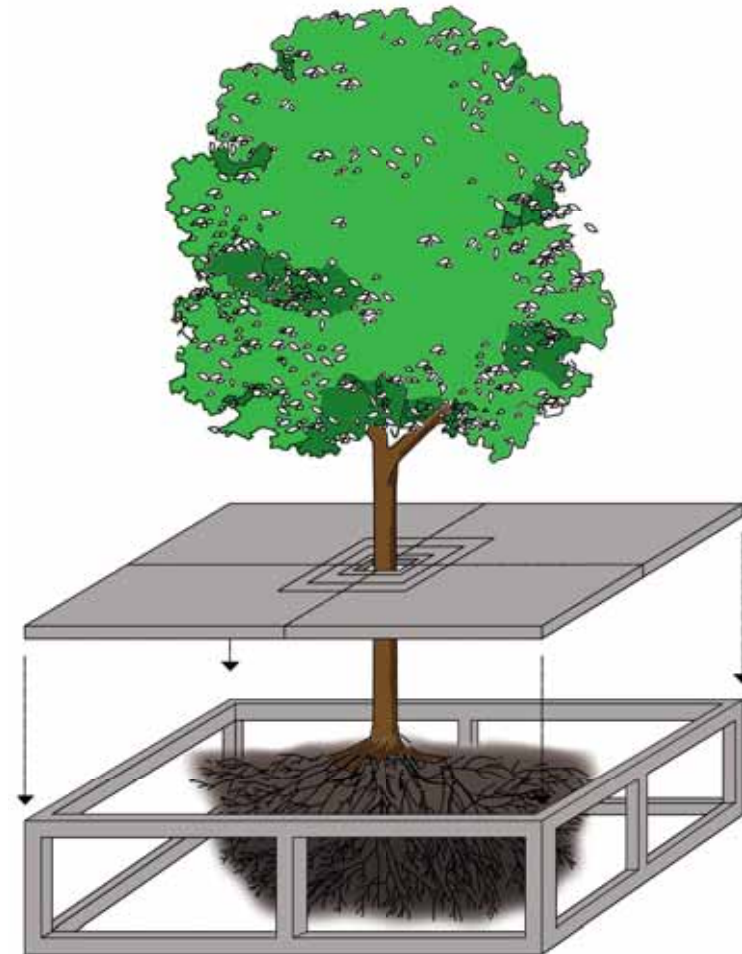


Er kunnen terrassen op aangelegd worden, waardoor mensen 's zomers lekker in de schaduw kunnen zitten. Er kunnen speeltoestellen op geplaatst worden of er kunnen parkeerplaatsen op gerealiseerd worden. De boom zal van alle bovengrondse activiteiten weinig tot geen hinder ondervinden.

Een uitdaging die nog rest is het scheiden van het wortelgestel in het 'slappe' groeimedium, met de stevige puinfunderingen die veelvuldig om de groeiplaatsen toegepast zullen worden. De puinfunderingen mogen zich niet gaan mengen met het groeimedium en vice versa. Daarnaast is het prettig voor de beheersbaarheid van de groeiplaats dat er een scheiding is tussen wortelgestel en bijvoorbeeld kabels en leidingen. Beide elementen verstoren elkaar in vele conventionele situaties. Een oplossing hiervoor wordt opgenomen in paragraaf 4.6 waarbij de waterbergende voorziening wordt toegevoegd aan de groeiplaats.<sup>[3]</sup>

#### Het ontwerp samengevat

- Draagkracht d.m.v. betonconstructie
- Multifunctioneel maaiveld
- Vrijheid in keuze groeimedium
- Ontwerpvrijheid aan het oppervlak



Afb 4.15 Zijaanzicht draagkracht groeiplaatsconstructie



Afb 4.16 Boompalen zorgen voor een goede bovengrondse verankering



Afb 4.17 De verankering van een boom met eigen wortels is erg belangrijk

## 4.4 Verankering

Waar de wortels van een boom in de vrije natuur vrijwel altijd alle kanten op kunnen, moet de stadsboom het doen met de ruimte die het krijgt binnen het straatprofiel. Door de soms krappe vormgeving van de groeiplaats krijgt de boom geen mogelijkheid zich goed in de bodem te kunnen verankeren. Dit gaat ten koste van het groeisucces van de boom en kunnen er onverwacht gevaarlijke situaties ontstaan. Of een boom wel of niet goed verankerd staat is nou eenmaal moeilijk te onderzoeken.

Om niet te hoeven twijfelen aan de verankering van de boom in de groeiplaats is het van belang dat de boom in een gezonde situatie komt te staan waarbij het investeert in de ontwikkeling van het wortelgestel. Wanneer de ontwikkeling van het wortelgestel goed verloopt en het wortelgestel zich ver genoeg van de stam af kan ontwikkelen, zal de verankering van de boom geen problemen opleveren. Het is na te streven om de voedingssupplementen en het water gelijkmatig over de groeiplaats te spreiden, zodat het wortelgestel niet afhankelijk is van een te klein worteloppervlak.

In dit geval zal het wortelgestel zichzelf niet verder ontwikkelen. De groeiplaats is bij voorkeur niet smaller dan een derde van de toekomstige kroon diameter. Hierbij staat de boom het meest gunstig als het in het midden van de groeiplaats staat. De dimensionering van de groeiplaats hangt dus voornamelijk samen met het volume vrije doorwortelbare ruimte die de boom nodig heeft en de verwachte kroon diameter die de boom in volgroeide fase zal hebben. De verwachte kroon diameter uitgaande van een straatboom 1e grootte in laan-, rij of als solitair, in een gezonde groeiplaats kan al snel oplopen tot zo'n 10 tot 15 meter.<sup>[3]</sup>

### Het ontwerp

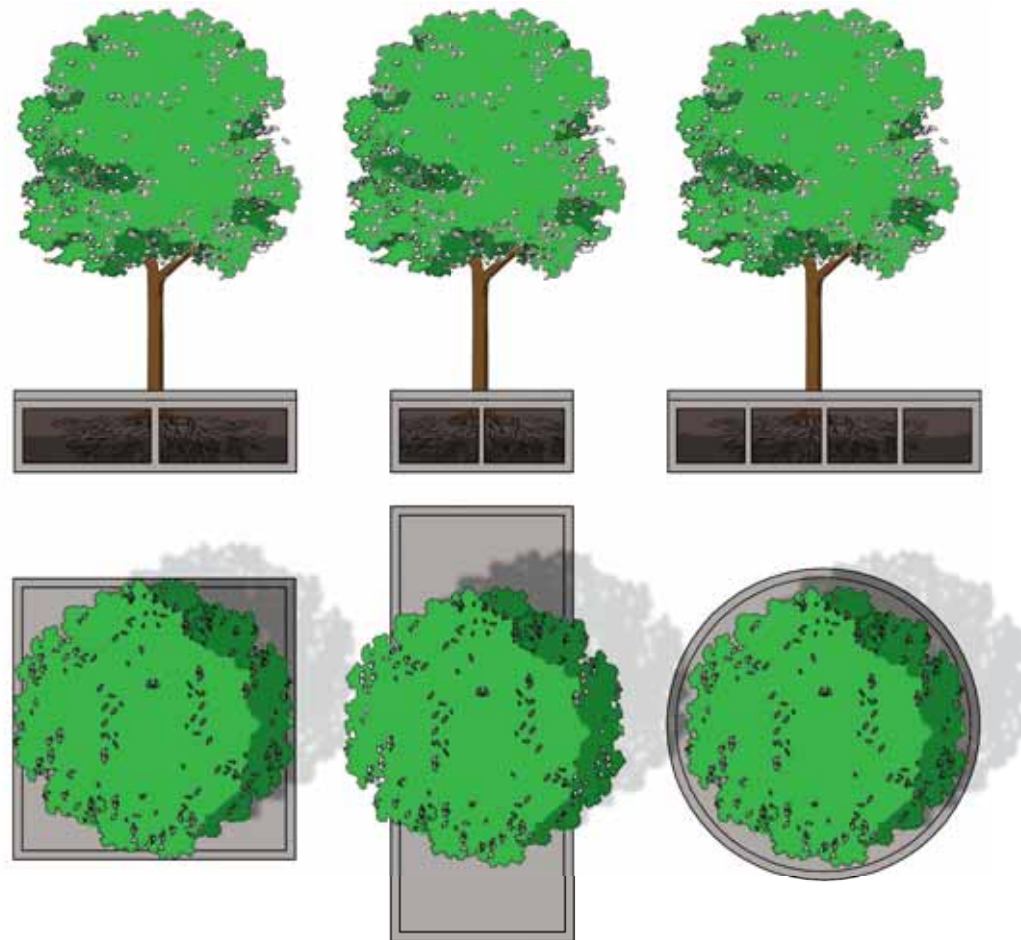
De illustratie laat zien dat de vorm van de groeiplaats in principe niet uit hoeft te maken. De vorm kan aangepast worden aan de situatie waar het ingepast moet worden. Zo zullen laanbomen eerder een langere, smalle groeiplaats krijgen, terwijl het logisch is om solitaire in een meer gelijkvormige groeiplaats te zetten.



Mocht de architect graag willen dat de betonnen afdekplaten op het maaiveld zichtbaar zijn, kan de architect zelf een vorm verzinnen die past in het gehele ontwerp, zolang de groeiplaats maar voldoende groot is en er voldoende vocht- en voedingvoorziening aanwezig is.<sup>[3]</sup>

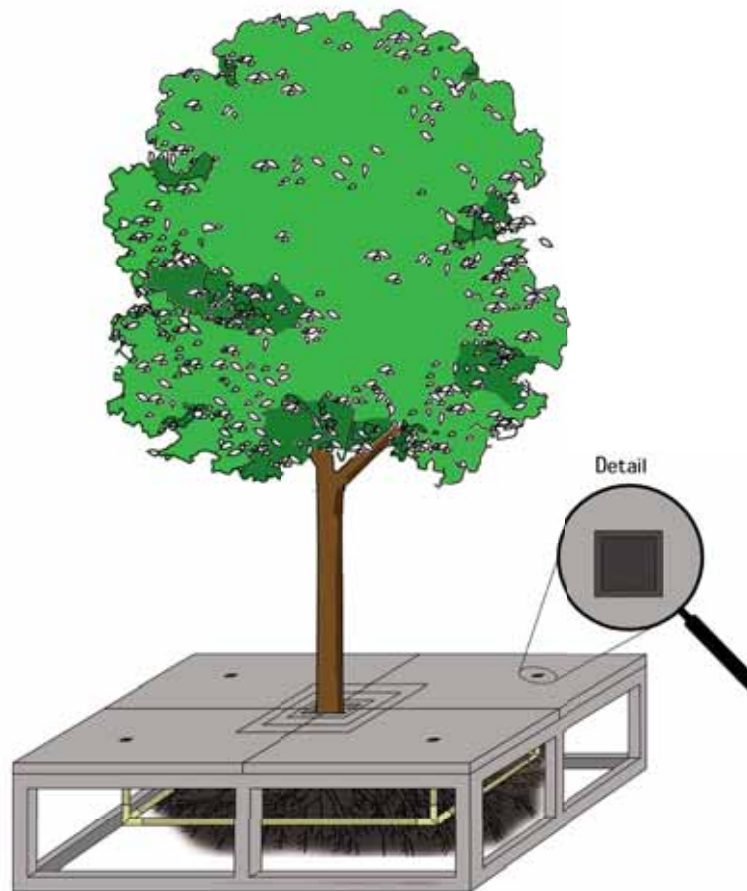
### Het ontwerp samengevat

- Minimaal 1/3 van toekomstige kroonbreedte
- Ontwerpvrijheid (situatie afhankelijk)



Afb 4.18 Een aantal mogelijkheden voor de vormgeving van de groeiplaats, waar de verankeringsruimte voor de boom in orde is

## 4.5 Zuurstofvoorziening



Afb 4.19 Het ontwerp voor de zuurstofvoorziening

Een wortelgestel staat idealiter in een bodem vol organische en minerale stoffen. Om echter als wortelgestel goed te kunnen gedijen, dient er daarnaast ook een open gaswisseling te kunnen plaatsvinden tussen bodem en bovengrondse lucht. Een boom produceert zuurstof, maar heeft een deel van deze zuurstof ook weer nodig. Wortels gebruiken zuurstof voor de groei en de opname van voedingsstoffen. Wanneer het percentage zuurstof in de bodem afneemt, of de wisselwerking tussen ondergrondse en bovengrondse gassen wordt gestremd, gaat allereerst de ontwikkeling van het wortelgestel achteruit. Als het percentage zuurstof tot een kritiek punt daalt, neemt ook de opname van voedingsstoffen af. Wanneer allereerst de ontwikkeling van het wortelgestel afneemt, heeft dit al directe gevolgen voor de ontwikkeling van de boom. De ontwikkeling van het wortelgestel verloopt vrijwel parallel aan de ontwikkeling van de volledige boom (paragraaf 4.1). Als vervolgens de opname van voedingsstoffen stremt, zal de boom stoppen met zijn ontwikkeling.

Zuurstofvoorziening is in de hedendaagse Nederlandse stad een behoorlijk probleem voor de ontwikkeling van de stadsbomen. Het grote verharde oppervlak is hier voornamelijk debet aan. De verdichtte funderingen met daar bovenop de verhardingen voorkomen vrijwel elke vorm van gasuitwisseling. Architecten proberen in sommige gevallen dit te voorkomen door bijvoorbeeld grasbetontegels toe te passen. Dit lijkt echter vaak niet het effect te sorteren zoals de architect bedoeld heeft. Door intensieve betreding van de grasbetontegels raakt de bodem alsnog erg verdicht waardoor de zuurstofvoorziening alsnog verstikt raakt.

Wat gasuitwisseling betreft zal een groeiplaats dus idealiter in zijn volledigheid in contact staan met de lucht. Echter is dit niet realistisch aangezien de vraag naar verharding in de stad nou eenmaal erg hoog is. Om de boom toch zo veel mogelijk in de vraag naar zuurstof te kunnen voorzien dient bovenstaande situatie zo veel mogelijk nagebootst te worden óf dient er een oplossing gevonden te worden die in ieder geval voor voldoende gasuitwisseling zal zorgen. De ideale groeiplaats bevat ca. 20%



'porositeit' waardoor zuurstof gemakkelijk opgenomen kan worden en bijvoorbeeld CO<sup>2</sup> zonder problemen de groeiplaats kan verlaten. Dit percentage kan behaald worden door een groeimedium toe te passen welke een open, lichte structuur heeft.

Een duurzame groeiplaats betekent in het geval van zuurstofhuishouding ook een blijvende open structuur gedurende het leven van de boom. Het is dus van belang om ervoor zorg te dragen dat de groeiplaats na verloop van tijd niet verdicht zal raken door activiteiten om de boom. Bodemleven kan een belangrijke functie gaan vervullen in deze eis.

Een laatste uitdaging om in het ontwerp van de optimale groeiplaats in te passen is het tegengaan van verzadiging van de groeiplaats. Wanneer de groeiplaats verzadigd raakt met water en/of organische stoffen, stremt dit de wisselwerking tussen gassen boven- en ondergronds. Dit zal directe gevolgen hebben voor een gezonde ontwikkeling van de boom. Het is van belang dat de waterhuishouding (-afgifte) binnen de groeiplaats van continue kwaliteit en kwantiteit blijft.<sup>[3]</sup>



Afb 4.20 Simpele variant van boombeluchting door drain

### Het ontwerp

Om de gasuitwisselingen in de groeiplaats te optimaliseren maken we gebruik van een conventioneel principe. Dit principe bestaat uit een constructie van drainbuizen die om het wortelgestel aangelegd wordt. Deze geperforeerde buizen zorgen ervoor dat de bodem onderin de groeiplaats indirect contact heeft met de lucht bovengronds. Hierdoor wordt de zuurstofhuishouding geoptimaliseerd door de gehele groeiplaats. Een nylon kous om de buis moet er voor zorgen dat er geen grond in de buizen kan spoelen.

Dit drainbuis principe wordt bij veel bomen toegepast die in verharding worden aangeplant. Vaak steken deze drainbuizen dan boven het maaiveld uit om ervoor te zorgen dat de buizen niet vol spoelen met grond tijdens regenbuien. In de ontworpen constructie steken de drains in de betonnen platen en zijn ze op het maaiveld netjes weggewerkt onder gietijzeren putdeksels. Het is belangrijk dat de putdeksels gaatjes hebben die groot genoeg zijn om voldoende lucht door te laten maar die niet snel verstopt zullen raken door vuil (kauwgom).

Behalve dat de afwerking door middel van putdeksels er beter uit ziet, wordt hierdoor voorkomen dat mensen hun afval in de drainbuizen kunnen stoppen, wat bij conventionele beluchtingsconstructies nog al eens voor komt en problemen oplevert. Een tweede maatregel welke bijdraagt aan een gezonde gasuitwisseling van de groeiplaats is het tweede maaiveld dat gecreëerd is onder de betonplaten. Dit tweede maaiveld heeft deels via de drainbuizen, en deels via het gat direct om de stam contact met de atmosfeer.

### Het ontwerp samengevat

- Conventioneel drainbuisprincipe
- Weggewerkt onder gietijzeren putdeksels
- Tweede maaiveld in contact met atmosfeer

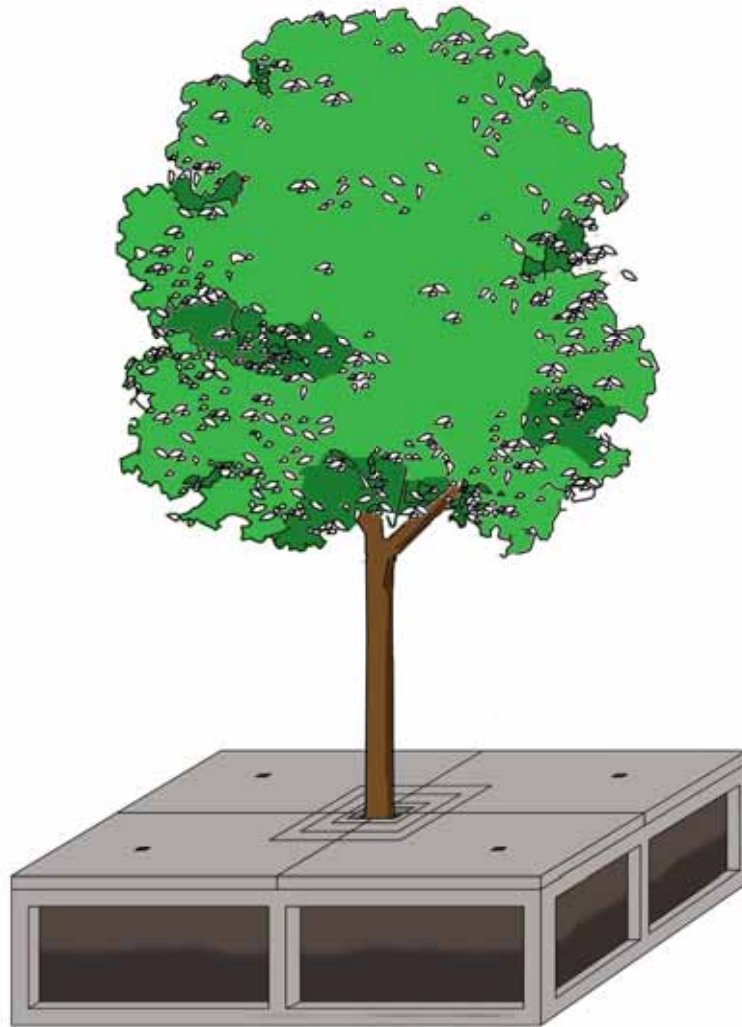
## 4.6 Groeimedium

Het groeimedium is wellicht niet zo zeer het product waaraan iets te ontwerpen is. Echter dient ook het groeimedium aangepast te worden aan de situatie waarin en met welk doel het de boom zal voorzien van voeding, water etc. Het is belangrijk om na te denken over de samenstelling van het product, omdat de vele mogelijkheden die er zijn, ook vele verschillende doelen kunnen nastreven. Het belang van de juiste keuzes voor de samenstelling van het groeimedium zal hieronder worden toegelicht.

Wellicht wel van het grootste belang voor een succesvolle groei van de boom is een voedzame grond waarin de boom van alle behoeften wordt voorzien. Een goede grond voorziet de boom in voldoende organische stof, schimmels en mineralen en heeft voldoende vermogen om vocht vast te houden. Een boom heeft organische stof nodig om aan de voedingsstoffen te komen die zorgen voor de groei van de boom. Door afbraak van organische stoffen door bodemleven komen nutriënten vrij die door boomwortels opgenomen kunnen worden. Deze nutriënten ondersteunen de boom in zijn ontwikkeling.

Een boom kan nagenoeg zelfvoorzienend zijn in het toevoegen van organische stof aan de bodem, door het blad wat in de herfst van de boom valt. Echter wordt van het blad dat in de stad van de boom valt, vrijwel altijd opgeruimd, waardoor deze zelfvoorziening verwaarloosd wordt.

Hierdoor dient de groeiplaats in de vraag naar voeding te voorzien in de vorm van een voedselrijk medium. Een goede groeiplaats voorziet de boom van minimaal 3%, en in een goede situatie van 8% organische stof. Echter zit de uitdaging verscholen in het feit dat een toegevoegde waarde organische stof in de stad eindig is door de afbraak door bodemleven en het opruimen van gevallen blad door gemeentediensten. Het moet dus mogelijk zijn voor de boom om zijn blad te laten vallen en af te staan aan zijn eigen bodem, of om beheermatig de boom voeding te geven middels bodeminjecties. Belangrijk is dat de organische stof gelijkmatig verdeeld is door de gehele constructie, waardoor de boom blijft investeren in wortelgroei waardoor de groeiplaats in zijn geheel



Afb 4.21 Invulling van de groeiplaats met een juist samengesteld groeimedium



door de wortels ingenomen zal worden.

Door een aandeel organische stof in de groeiplaats kan bodemleven in tact gehouden worden. Dit bodemleven zorgt buiten dat het voedingsstoffen levert, er tevens voor dat er een goede open structuur met voedingsstoffen in de bodem gehandhaafd blijft waardoor de boom water, voedingssupplementen en zuurstof gemakkelijk tot zich kan nemen. Bodemleven in de vorm van schimmels en bacteriën scheiden bij de afbraak van organische stoffen slijmstoffen uit die de mengeling aan mineralen en organische stoffen laten samenklonteren tot voedzame bodemkrumels. Kleine bodemdieren zorgen door middel van het graven van allerlei formaten gangenstelsels voor een open structuur en een mengeling van voedzame stoffen. Regenwormen brengen organische stoffen naar diepere bodemlagen waardoor dieper in de groeiplaats de boom tevens voorzien kan worden van voedingsstoffen.

In het geval van de klimaatadaptieve groeiplaats wellicht het grootste voordeel van een groeimedium met een hoog gehalte organische stof: de grote capaciteit om vocht vast te houden. Per m<sup>3</sup> leemhoudende grond kan het ca. 180 liter vocht vast houden (Jitze Kopinga, 29-4-2014). Voor een groeiplaats van 40m<sup>3</sup> betekent dit dus al gauw een netto vochthoudend vermogen van ruim 7 m<sup>3</sup>. Dit staat gelijk aan een flinke regenbui van 35 millimeter op een oppervlak van 200 m<sup>2</sup>. Dit vermogen kan rechtstreeks bij de capaciteit opgeteld worden van een waterbergende voorziening, welke later in het hoofdstuk nog aan de groeiplaats toegevoegd zal worden.

Echter dient een groeimedium ook nog in meer of mindere mate drainerend te zijn. Het is namelijk van belang dat de groeiplaats eens in de zoveel tijd goed kan doorspoelen om verzilting te voorkomen. (J. Kopinga, 29-4-2014) Door een oneindige hoeveelheid organische stof zou al het vocht vastgehouden worden waardoor uiteindelijk de groeiplaats zou verzadigen. Hierdoor zou de zuurstofvoorziening worden verstikt waardoor

de boomwortels geen zuurstof meer tot hun beschikking hebben, met alle gevolgen van dien.

Behalve dat het groeimedium de boom moet voorzien in behoeften, is het zeker in de stad ook van groot belang dat het groeimedium niet te licht is. Hoe lichter het groeimedium namelijk is, hoe instabieler de boom zal staan. De bodem moet een bepaalde fractie zware grond bevatten met licht bindend vermogen, zoals klei. Klei is ook sterkvochtbindend. Afhankelijk van de situering in de stad, de streek van toepassing en de situering ten opzichte van de meest voorkomende windrichting, kan het aandeel zware grond worden aangepast.

Het groeimedium hoeft overigens niet een bijzonder hoogwaardig product te zijn. Afhankelijk van het gekozen sortiment kunnen de eisen voor het groeimedium uiteenlopen. De ene boom gedijt enkel goed in een hoogwaardige bomengrond, terwijl de ander zich prima kan ontwikkelen in een licht verrijkte bouwvoor. De samenstelling van het groeimedium kan daarom ook voornamelijk vastgesteld zijn op basis van eisen voor de klimaatadaptieve voorziening, namelijk de waterberging.

#### Het ontwerp samengevat

- Rijk bodemleven
- Geen zuurstofonttrekking
- Open structuur
- Watervasthoudend
- Homogene samenstelling
- Stabiele fractie

## 4.7 Klimaatadaptieve vochtvoorziening



Afb 4.22 Toepassing van een drainleiding



Afb 4.23 Watergeven is vrijwel niet meer nodig met een goede vochtvoorziening

Door een waterbergende voorziening in de groeiplaats te integreren, wordt een win-win situatie gecreëerd. De stad wordt voorzien van een extra buffer om piekbuien snel af te kunnen voeren en te bergen. Tegelijkertijd wordt de boom voorzien van water, wat door de bergende functie ook in drogere tijden beschikbaar zal blijven. Het water hoeft niet gezuiverd te worden, maar het wordt nuttig gebruikt. Een prima maatregel ten behoeve van klimaatadaptatie van de Nederlandse stad.

Bij bodemdroogte waar steden steeds vaker mee te maken krijgen, worden onder andere bomen vaak aangewezen als mede verantwoordelijke. Met de infiltrerende functie die de groeiplaats zal krijgen, zal dit tot het verleden behoren. Wanneer de boom water ten overvloede beschikbaar heeft, zal het water deels infiltreren om tevens bij te dragen aan de opkomende bodemdroogte in het stedelijk gebied.

Bomen gebruiken water als transportmiddel voor belangrijke stoffen en als onmisbaar ingrediënt bij de fotosynthese. Hieruit blijkt hoe belangrijk de watervoorziening eigenlijk is voor een boom. Bomen in de stad staan er qua watervoorziening echter lang niet altijd even goed voor. De grote verharde oppervlakken zorgen er voor dat het overgrote deel van het regenwater via de verharding zo snel mogelijk wordt afgevoerd via rioolstelsels naar de zuivering. Al dit (schone) water wordt onnodig gezuiverd terwijl sommige bomen het hard nodig hebben. De verdichte bodems in de stad hebben daarnaast een negatief effect op het infiltratie- en het vochtbindend vermogen van de bodem.

Op veel plekken in Nederland staan bomen in een grondwaterprofiel, waardoor zij dus via het grondwater in hun behoeften worden voorzien. Deze bomen zijn niet direct afhankelijk van de hoeveelheid regen die er valt, maar wel afhankelijk van een relatief stabiel grondwaterniveau. Een onverwachte grondwaterpeilstijging kan de boom een zuurstoftekort in het wortelgestel opleveren, terwijl bomen die niet droogteresistent zijn grote problemen hebben wanneer abrupt het grondwaterpeil extreem daalt. Veel bomen kunnen



onherstelbare schade oplopen wanneer zij voor een langere periode blootgesteld worden aan droogte.

Elders staan ook veel bomen in een hangwaterprofiel. Zij zijn voornamelijk afhankelijk van de hoeveelheden regenwater die hun wortels van bovenaf kunnen bereiken. Voor deze bomen zijn de negatieve gevolgen van het conventionele stadsontwerp het grootst. Vrijwel al het regenwater gaat aan de boom voorbij. De vraag naar verhard oppervlak in de hedendaagse (Nederlandse) stad is enorm door de lage beheerkosten en hoog gebruikersgemak waardoor de behoefte van bomen aan water vergeten wordt. Bomen worden in extreem kleine groeiplaatsen met extreem kleine boomspiegels geplant in de veronderstelling dat het wel die mooie grote groene beeldbepalers worden. Er zijn gevallen bekend van bomen die hun water uit lekkende riolering (moeten) halen omdat het regenwater het wortelgestel niet of nauwelijks kan bereiken.

Voor bomen in beide situaties geldt in ieder geval dat er grote problemen kunnen ontstaan wanneer de klimaatveranderingen grip krijgen op de Nederlandse stad. Langere perioden van droogte zullen flinke gevolgen hebben voor de gezondheid van bomen, terwijl de forse piekbuien in combinatie met de grote verharde oppervlakken de bomen de kans niet geven om zich te kunnen herstellen. Alle baten die de bomen ons opleveren komen hierdoor niet optimaal tot hun recht. Alle ingrediënten om vanaf nu een andere weg in te slaan met ons stadsontwerp én de toepassing van bomen zijn aanwezig, alleen moeten we ze nog samenvoegen tot een succesvol concept waarbij beide problemen in één ontwerp te lijf gaan. Een boom heeft water nodig, terwijl de stad zeker in de toekomst, wanneer er niet wordt ingegrepen, momenten zal leren kennen waarbij het overlast van water ondervindt.

Gelukkig is de trend de afgelopen decennia ingezet om niet meer al het regenwater af te voeren via riool naar de zuivering, maar zo veel mogelijk regenwater van “schone” oppervlakken ter plekke te laten infiltreren via infiltratieriolen. Dit heeft positieve effecten

op de grondwaterhuishouding onder het stedelijk oppervlak. Echter hoeft dit nog niet meteen de oplossing voor de bomen met waterschaarste in het stedelijk gebied te betekenen. De bedoeling van de infiltratieriolen is namelijk dat het water zo snel mogelijk in de bodem verdwijnt, waardoor bomen geen tijd krijgen dit op te nemen. De bomen hebben hun eigen waterbuffer nodig waaruit zij hun waterbehoefte kunnen putten, ook in tijden van droogte. Een nevensdoel van de groeiplaats is behalve het creëren van een gezonde, duurzame groeiplaats, ook het bijdragen aan een gezonde grondwaterhuishouding.

Een boom in optimale omstandigheden gedijt in een groeiplaats voorzien van een gemiddeld vochtpercentage van 15%. De boom neemt het water het best en het meest continu op wanneer dit vochtpercentage gedurende het hele groeiseizoen om en nabij dit percentage ligt. Wanneer dit vochtpercentage namelijk abrupt daalt, sluit de boom zijn huidmondjes om verdere verdamping van water zo veel mogelijk te voorkomen. Echter betekent dit ook dat er geen fotosynthese plaatsvindt en dat de boom dus niet aan zijn ontwikkeling werkt.

Wanneer er weer water voor de boom beschikbaar is, heeft de boom tijd nodig om zich te kunnen herstellen en weer water op te kunnen nemen. Het is dus van belang dat de waterhuishouding in de groeiplaats over het gehele groeiseizoen zo stabiel mogelijk blijft. De hoeveelheid water dat de groeiplaats bereikt moet dus goed afgestemd worden op het waterverbruik van de boom. Wanneer er teveel water de groeiplaats bereikt kan het groeimedium verzadigd raken wat een zuurstoftekort bij de wortels zal opleveren.

Het regenwater dient geleidelijk over de groeiplaats verspreid te worden. Hierdoor zal de boom blijven investeren in zijn wortelgestel, wat ten goede komt aan de verankering van de boom en wat ervoor zorgt dat de boom niet afhankelijk is van één bron in de groeiplaats. Een gezonde boom die blijft investeren in de groei van het wortelgestel, zal een gezondere kroon vormen.

De grootste uitdaging zit hem in het controleren van het vochtpercentage in de winters en in de eerste jaren na aanplant. In de winter nemen bomen nou eenmaal weinig tot geen water op uit de bodem, waardoor de functie van de groeiplaats zich enkel nog kan richten op het bergen en infiltreren van regenwater. Wanneer de boom nog jong is zal het ook minder water verbruiken dan een volwassen exemplaar. De eerste jaren na aanplant zal de groeiplaats dus minder rendabel zijn. Dit biedt een extra motief om te investeren in de duurzaamheid van het systeem.

De groeiplaats zal dus voorzien moeten worden van een drainerende laag om in tijden van “neerslagoverschot” (winters en jonge aanplant) de groeiplaats niet te laten verzadigen. Daarnaast zal een overstort naar het openbare riool ingebouwd moeten worden om eventuele onderdimensionering van de constructie te kunnen opvangen. Dit kan zowel infiltratie als een Droog Weer Afvoer (DWA) stelsel zijn. Door de afvoerende oppervlakken goed op de constructie af te stemmen, zou een extern infiltratieriool overbodig moeten zijn, waardoor kosten bespaard kunnen worden. Een aansluiting op het DWA zou een logische optie zijn.

Om de groeiplaats duurzaam en robuust te houden en de boom van een optimale standplaats te voorzien is het allereerst van belang dat er goed nagegaan worden welke afvoerende oppervlakken op de constructie afwateren. Het is namelijk niet wenselijk vervuild water in de groeiplaats te krijgen, waardoor de groeisituatie van de boom uiteindelijk alsnog verslechtert.

Afvoerende oppervlakken welke bijvoorbeeld beter uitgesloten kunnen worden zijn verhardingen waar veel zout gestrooid wordt (Zoutresistentie is sortimentsgebonden, echter is het zaak om verzilting van de bodem in welke situatie dan ook tegen te gaan), dakvlakken met uitlogende bouwmaterialen en ten slotte oppervlakken met een hoog vervuilingsgraad zijn tevens uit den boze. Vervuilingen als motorolie, brandstoffen en rubber zullen naar verloop van tijd een negatief effect hebben

op het rendement van de groeiplaats en de groei van de boom. Afvoerende oppervlakken welke goed op de groeiplaats zouden kunnen afvoeren zijn daken van kantoor- of winkelpanden (zonder uitlogende materialen), verharding van voetgangersgebieden en fietspaden. Bij toepassing van afvoerende oppervlakken, dient de gemeente zich goed bewust te zijn van de materialen die zich op de oppervlak begeven. Het is aannemelijk dat de gemeente regels gaat stellen aan particulieren en bedrijven om te voorkomen dat er alsnog vervuilingen zullen optreden na het in werking stellen van de groeiplaatsen. De gemeente zal dit echter wel moeten toetsen en evalueren.

## Het ontwerp

De ontworpen groeiplaats werkt als volgt. Het regenwater dat op het afvoerend oppervlak valt, zal bovenin de groeiplaats binnen komen. Hierdoor zal een infiltratieleiding bovenop het wortelgestel zich vullen en zal er infiltratie plaats gaan vinden. Deze infiltratie verloopt zeer geleidelijk waardoor het water voor langere tijd beschikbaar blijft voor de boom. Wanneer de infiltratieleiding volledig volgelopen is (ca. 0,5 m<sup>3</sup> berging), zal het water middels een overstort in de kratten terecht komen, welke in de openingen van de betonconstructie geplaatst zijn.

De onderste helft van het krattensysteem kan zich vullen en het water zal naar de binnenkant van de groeiplaats infiltreren om het wortelgestel op deze manier water te voorzien. Het water komt nu dus zowel vanuit de kratten als de bovenin de groeiplaats liggende drainleiding. Ook deze infiltratie verloopt zeer geleidelijk waardoor tijdens een piekbui een aanzienlijke hoeveelheid water opgeslagen kan worden.

Wanneer het waterpeil in de kratten hoger hoger stijgt dan 50% vullingsgraad, doet zich voor het water ook de mogelijkheid voor om aan de buitenkant van de groeiplaats in de bodem te infiltreren. Hier zijn de kratten dus aan beide zijden “open”. Hierdoor wordt de capaciteit van de voorziening vergroot en zal tevens bijgedragen worden aan de bestrijding van de bodemdroogte



in de stad. Het is wenselijk om in dit geval drainzand om de groeiplaats toe te passen wanneer de K-waarde (infiltrerend vermogen van water in de bodem in meters per dag) van het toepassingsgebied niet toereikend is. Mocht het voorkomen dat het bergend- en infiltrerend vermogen ten tijde van een zware piekbuie niet toereikend is, dan kan overtollig regenwater via een ingebouwde overstort afgevoerd worden naar een extern rioolstelsel. Om verzilting en verzadiging van de groeiplaats tegen te gaan is een drainerende laag met drainbuizen onder de groeiplaats aangebracht. Deze buizen voeren het water tevens naar een extern riool.

### Dimensionering

De groeiplaats is gedimensioneerd met een t10 bui (35,7mm regenwater op het afvoerend oppervlak in 1 uur) als uitgangspunt. Bij toepassing van de volgende materialen met bijbehorende afmetingen is een afvoerend oppervlak bereikt van ca. 300 m<sup>2</sup> per groeiplaats:

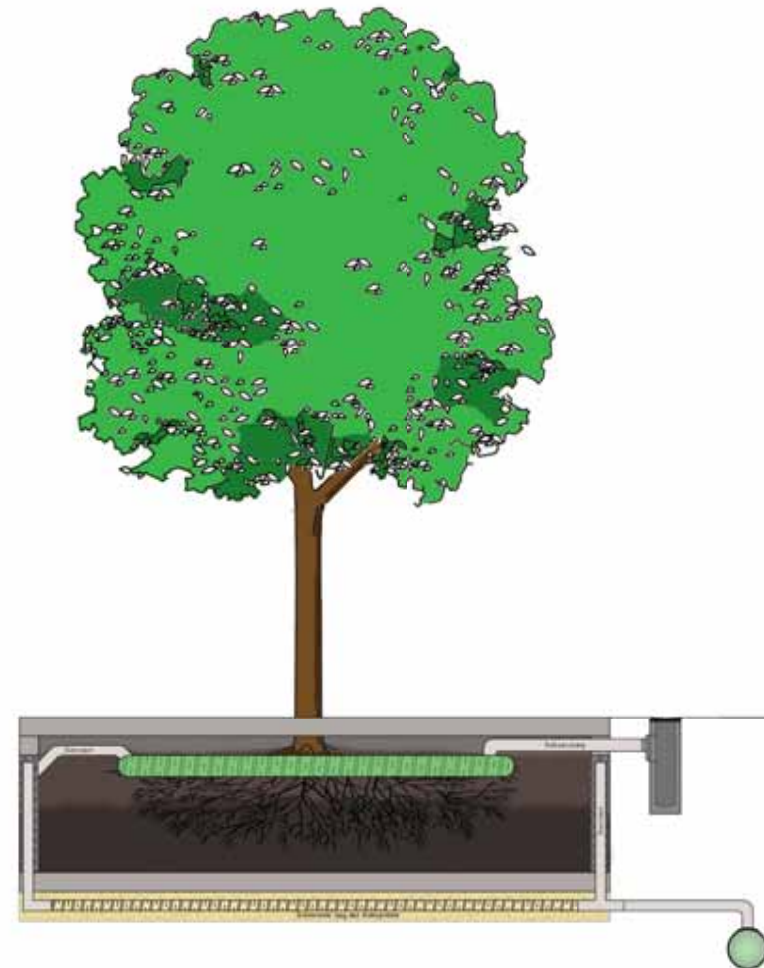
Infiltratieleiding, Ø200mm, 16 meter.

Infiltratiekratten, 8 x (2,6 x 0,2 x 1,0 meter) L x B x H

40m<sup>3</sup> groeimedium met een open structuur en hoog vochtbindend vermogen.

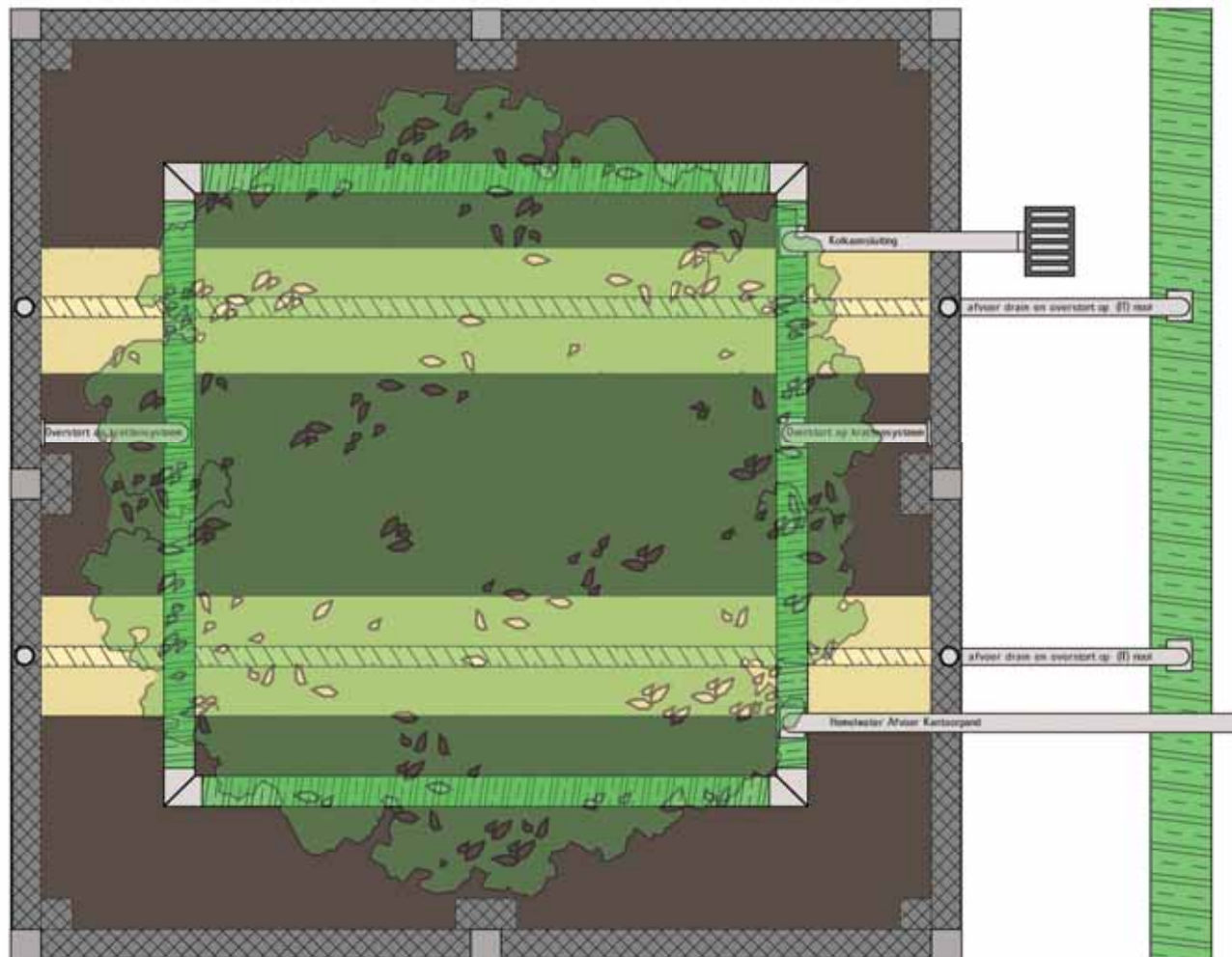
Dit staat gelijk aan 11m<sup>3</sup> waterberging in de voorziening. Het infiltrerend vermogen, dan wel het opnemend vermogen van de boom zijn ter 'veiligheid' van de berekening en dus de constructie niet in de dimensionering opgenomen.

300m<sup>2</sup> afvoerend oppervlak staat in het stadscentrum gelijk aan bijvoorbeeld 5 á 6 doorsnee woningen/winkelpanden, 150 meter fietspad, een flink terras bij een horecagelegenheid of een middelgroot kantoorpand. Voor het schoolgebouw van Hogeschool Van Hall Larenstein zijn ca. 25 groeiplaatsconstructies nodig om het volledige dakoppervlak af te kunnen voeren.



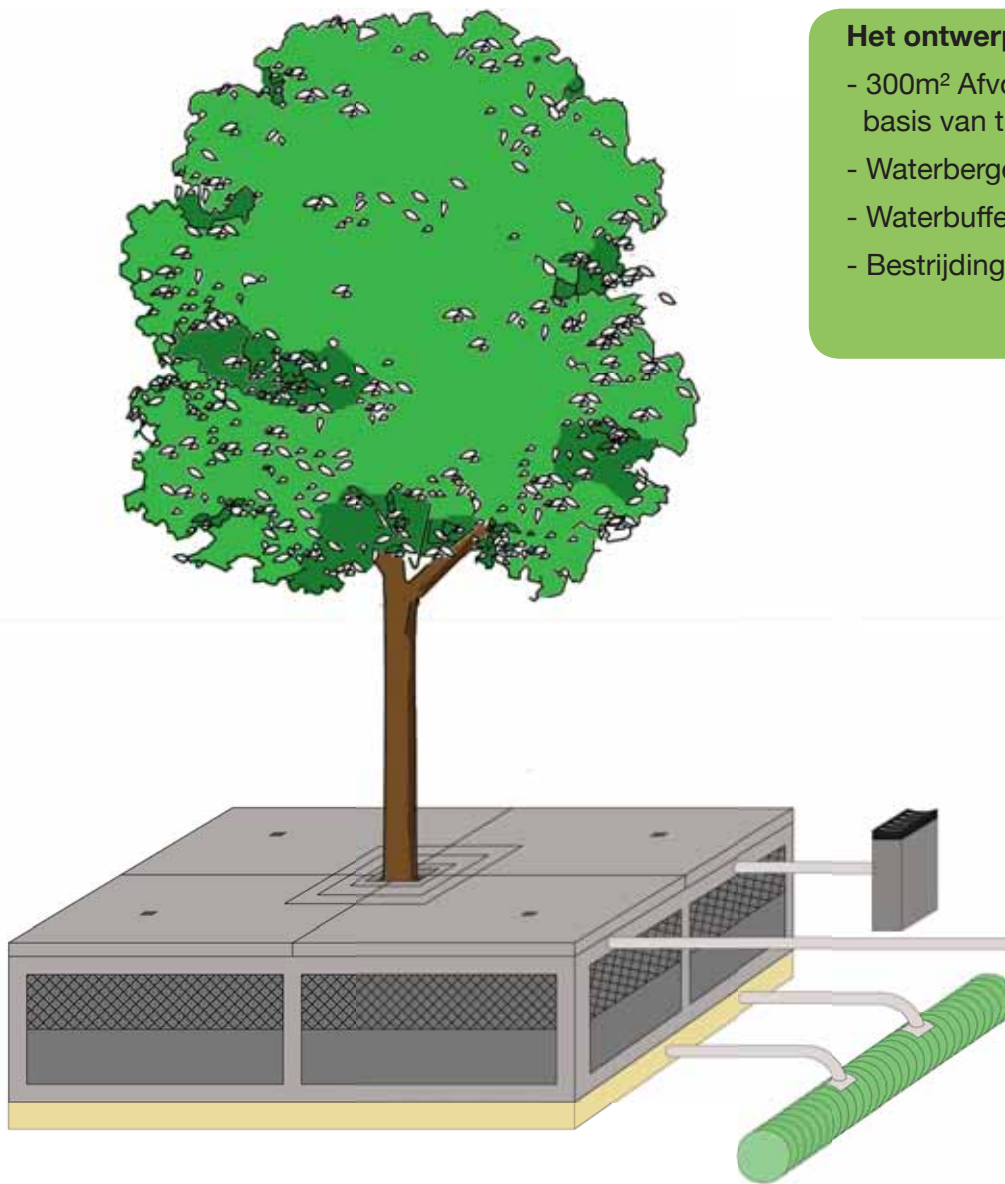
Afb 4.24 Zijaanzicht vochtvoorziening in ontwerpen groeiplaats

# Vocht



Afb 4.25 Bovenaanzicht vochtvoorziening





### Het ontwerp samengevat

- 300m<sup>2</sup> Afvoerend oppervlak per groeiplaats op basis van t10 regenbui
- Waterbergende functie
- Waterbuffer voor bomen
- Bestrijding van bodemverdroging

Afb 4.26 Zijaanzicht, inclusief kratten







# De klimaatadaptieve boom en groeiplaats

# 5



In dit hoofdstuk komt de informatie, de criteria, het sortiment en de groeiplaats bij elkaar in een eindproduct. Door middel van drie verschillende inpassingssituaties worden aangeven hoe het systeem gaat functioneren en vooral wat daadwerkelijk het effect is van de klimaatadaptieve boom en groeiplaats. Kortom, wat het levert het ons echt op?



Afb 5.1 Een investering in wortelruimte komt de groei van de boom ten goede



Afb 5.2 De vocht- en zuurstofvoorzieningen zijn in het stad erg belangrijk

## 5.1 De investering

Een klimaatadaptieve boom en een klimaatadaptieve groeiplaats, twee prachtige “producten” die beide hun nut voor het klimaatadaptief maken van het stadscentrum al in de voorgaande paragrafen hebben bewezen. Echter is de boom niets zonder zijn groeiplaats en de groeiplaats niet meer dan een betonbak zonder de boom. Deze twee zijn daarom onlosmakelijk met elkaar verbonden.

In dit hoofdstuk worden de groeiplaats en de boom bij elkaar gebracht en ingepast in een voorbeeldsituatie. Dit is een principe uitwerking en daarmee slechts een voorbeeld op een bepaalde plek met een bepaalde context. Er zijn buiten dit voorbeeld nog veel meer verschillende situaties denkbaar. Er is voor gekozen om een horecapplein uit te werken. Gemeenten houden op deze locaties doorgaans een hoge kwaliteitsnorm aan waardoor er mogelijkheden zijn tot investeringen. Daarnaast is het aannemelijk dat de bomen op deze locatie in de stad veel baten kan opleveren.

De principe uitwerking maakt duidelijk welke baten deze klimaatadaptieve maatregel precies oplevert en welke baathouders hiermee gebaat zijn. Anders gezegd, in dit hoofdstuk krijgt u antwoord op de vraag: “Wat levert het precies op?”. Om hier een gedegen antwoord op te krijgen, is het noodzakelijk om de kosten van aanschaf en aanleg en onderhoud te berekenen. Met deze gegevens kunnen de baten tegen de kosten worden afgewogen.

### Kosten aanschaf bomen

De kosten voor de boom zijn goed te berekenen. De prijs is afhankelijk van de boomsoort en de kwekerij waar de boom wordt gekocht. Echter is het wel mogelijk om een gemiddelde prijs voor de boom te geven. Uitgaande van het aanplantformaat 25-30 liggen de kosten voor de aanschaf van de boom rond de € 260,00.



### Kosten aanleg groeiplaats

De kosten zijn bepaald op basis van de ontworpen groeiplaats (zoals afgebeeld in paragraaf 4.7) met de afmetingen 5,80x5,80x1,55 meter. Eventuele aanpassingen in het ontwerp hebben gevolgen voor de omvang van de investering.

De constructie is grofweg uit te splitsen in vijf onderdelen, namelijk de betonnen kolommen en liggers, de betonnen afdekplaat, de zuurstofvoorziening, het groeimedium en het infiltratiesysteem. De betonnen kolommen hebben een afmeting van 200x200x1000mm en de betonnen liggers een afmeting van 200x200x2900mm. Op de constructie voldoende draagkracht te geven zijn 8 kolommen en 16 liggers toegepast. De betonnen afdekplaten hebben ieder een afmeting van 2900x2900x150mm. Deze bedekken ieder een kwart van de groeiplaats.

De zuurstofvoorziening bestaat uit drainleidingen, omhuld in geotextiel. Deze vier drainleidingen hebben ieder een lengte van 3 meter, aan elkaar gekoppeld door T hoekstukken. Deze “zuurstofring” is aangesloten op vier zuurstofputjes, onderling verbonden door vier drainleiding met ieder een lengte van 0,80 meter. De complete constructie wordt vervolgens opgevuld met 40m<sup>3</sup> van een groeimedium met een hoog organische stof gehalte.

Als laatste komt de infiltratievoorziening aan bod. Deze belangrijke voorziening bestaat uit infiltratiekragen, een drainleiding en overstortleidingen. De kragen worden tussen de betonnen kolommen en liggers geplaatst. Deze hebben een totaaloppervlak van 42 m<sup>2</sup>. De kragen zijn aangesloten op een drainleiding, welke de groeiplaats aan de bovenzijde van vocht voorziet. Deze drainleiding heeft een diameter van Ø200mm en een lengte van 16 meter.

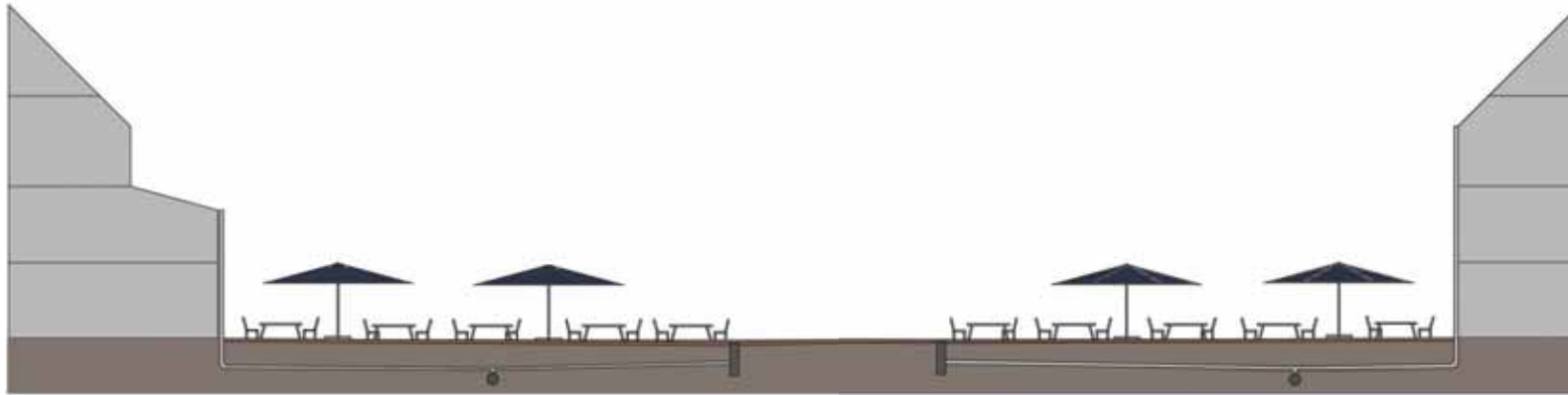
Op alle vier de hoeken zijn bochtstukken van 90° toegepast. Deze drainleiding is met de groeiplaats en de kolk- en huisaansluitingen verbonden door middel van Ø125mm leidingen. Deze hebben een totale lengte van 4,00 meter. Deze leidingen dienen van

de rand van de groeiplaats doorgelegd te worden naar de daadwerkelijke kolk of het aan te sluiten dak van een gebouw. De koppelstukken tussen leidingen en drainleiding zijn vier T stukken. Onderin de groeiplaats liggen twee drainleidingen van ieder 5,80 meter. Ook deze dienen vanaf rand groeiplaats aangesloten te worden op de dichtstbijzijnde infiltratieleiding.

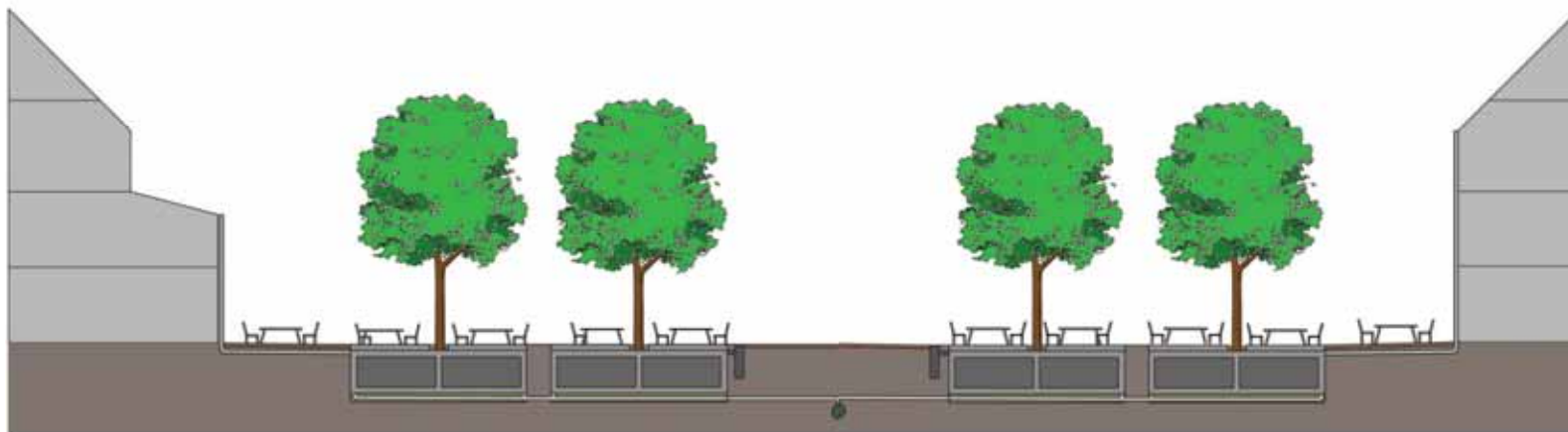
De totale kosten van de aanschaf van bovengenoemde materialen, de kosten van de boom en de aanleg van de constructie worden tussen de € 15.000 en € 20.000 geraamd. Dit lijkt een forse investering, maar zoals al veelvuldig genoemd komen hier erg veel baten voor terug.



Afb 5.3 Terras onder bomen



Afb 5.4 Bestaande situatie gangbaar plein



Afb 5.5 Situatie plein ná toepassing van de klimaatadaptieve boom en groeiplaats



### Situatieschets

Een horecaplein ligt vaak in het hart van de stad en dient in vele gevallen als trekpleister voor dagjesmensen en toeristen. De uitstraling van dit soort pleinen is in de Nederlandse steden van groot belang. De steden profileren zich graag met deze pleinen en de gemeenten zijn voor dit soort pleinen dan ook vaak bereid te investeren in kwaliteit. Daarbij zijn er bij dit soort pleinen in veel gevallen erg veel baathouders betrokken. Er zijn veel mensen die van de klimaatadaptieve maatregel kunnen profiteren.

### Het horecaplein zonder klimaatadaptieve maatregelen

Wanneer de gemeente zich niet zal aanpassen aan de gevolgen van klimaatverandering zal er snel hinder ondervonden worden. Buiten dat de aankleding van het plein te wensen over laat zal de temperatuur op warme zomerdagen te hoog oplopen om de horeca ondernemer nog van het beoogde aantal klanten te kunnen voorzien. Veel mensen zullen er voor kiezen verkoeling te zoeken aan het water.

Wanneer er bij de rioldimensionering geen rekenschap is gehouden met de aankomende klimaatveranderingen bestaat de kans dat de riolering tijdens piekbuien een te kleine capaciteit heeft waardoor water op straat zal komen te staan, met wellicht waterschade aan gebouwen of inventaris als gevolg.

### Het horecaplein met klimaatadaptieve maatregelen

De investering in klimaatadaptieve bomen met de klimaatadaptieve groeiplaats kunnen bij juiste toepassing van grote waarde zijn voor de horeca, de bezoekers en dus indirect ook de gemeente. Het profiel dient er echter wel enigszins voor aangepast te worden. De keuze voor een eventuele herinrichting ligt hierdoor voor de hand.

De groep die profiteert van de baten van de maatregels is behoorlijk groot. Alle bezoekers van de horeca gelegenheden zijn gebaat bij een gezellige zitplaats met op warme dagen een verkoelende plek. Deze doelgroep is natuurlijk al ontzettend groot.

Indirect profiteert de horecaondernemer hier natuurlijk ook van door een hogere omzet en meer klantenwerving. De horecaondernemer hoeft hierdoor ook minder verkoelende maatregelen (airconditioning) in te zetten om zijn klanten tevreden te houden. Hierdoor profiteert indirect het milieu weer. De klimaatadaptieve groeiplaats(en) biedt het plein een aanzienlijke waterbuffer waardoor piekbuien snel afgevoerd en opgeslagen kunnen worden. Hierdoor kan veel materiële schade voorkomen worden.

De gemeente kan hiervan profiteren. Zij zijn in veel gevallen verantwoordelijk voor het rioolbeheer. Wanneer schades ten gevolge van een onderdimensionering in het riool uitblijven, hoeft de gemeente geen schadevergoedingen uit te delen. In de dimensionering van toekomstig te leggen riolen hoeft voortaan geen regenwater meer opgenomen te worden. De zuiveringskosten zullen eveneens dalen omdat het aandeel regenwater in het afvalwater dat bij de zuivering aan komt is afgenomen.



Afb 5.6 Prachtig voorbeeld van baten ten behoeve van de horeca





# Conclusies en aanbevelingen

# 6



Zoals ieder goed onderzoek betaamd, eindigt ook dit onderzoek met conclusies en aanbevelingen. In de paragraaf conclusies wordt antwoord gegeven op de hoofd- en deelvragen. Daarnaast worden de meest opvallende conclusies gecategoriseerd weergegeven. De tweede paragraaf geeft de aanbeveling voor vervolgonderzoek en aanbevelen voor de toepassing van klimaatadaptieve bomen.





Afb 6.1 Bomen zijn beeldbepalend in allerlei verschillende settings



Afb 6.2 Deze laan biedt veel verkoeling maar remt de doorwaaibaarheid

## 6.1 Conclusies

### Hoofdvraag

Zoals in ieder onderzoek vormt het antwoord op de hoofdvraag de belangrijkste conclusie. De hoofdvraag, zoals deze in hoofdstuk 1 van dit rapport is geformuleerd, luidde: **“Met welk sortiment van bomen en optimale vormgeving van de groeiplaats kan een zo groot mogelijke bijdrage worden geleverd aan het klimaat adaptief maken van het stadscentrum?”**. Het antwoord op deze vraag is in hoofdstuk 5 tot uitwerking gekomen.

Kort samengevat komt het er op neer dat het antwoord op deze hoofdvraag niet eenduidig is. Voor zowel het sortiment als de groeiplaats zijn er een aantal mogelijkheden. Iedere situatie vereist andere oplossingen op het gebied van sortiment en vormgeving van de groeiplaats. Door middel van de in dit rapport geboden informatie, selectiecriteria en voorbeelden kan voor iedere hoogstedelijke situatie een klimaatadaptieve oplossing met bomen geboden worden. Deze oplossingen leveren bij juiste toepassing, een integrale aanpak gedurende de ontwerpfase en een correcte uitvoering een aanzienlijke bijdrage aan het klimaatadaptief maken van de stad. Bomen zijn letterlijk en figuurlijk de toekomst voor een leefbare stad.

### Deelvragen

De antwoorden op de deelvragen vormen samen het hierboven geformuleerde antwoord op de hoofdvraag. De eerste deelvraag luidde: **“Waarom klimaatadaptieve bomen?”**. Klimaatadaptieve maatregelen zijn nodig om de stad leefbaar te houden voor nu en de toekomst. Bomen zijn hiervoor een prachtige, natuurlijke, duurzame en niet milieubelastende maatregel. Daarnaast past een onderzoek naar bomen binnen een andere doelstelling van dit rapport, namelijk de stad kwalitatief groener te maken.

De tweede deelvraag luidde: **“Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering voor de stad?”**. Als antwoord op deze vraag komen de twee aspecten hitte-eiland en piekbuien naar voren. Piekbuien veroorzaken wateroverlast en hoge



rioolzuiveringskosten en het hitte-eiland effect zorgt voor een onaangenaam en zelfs ongezond stedelijk leefklimaat. Deze twee thema's vormden de verdere leidraad van dit onderzoek.

De derde deelvraag luidde: **“Wat zijn de klimaatadaptieve baten van stadsbomen?”**. De aspecten hitte-eiland en piekbuien zijn de problemen waarvoor de klimaatadaptieve baten verkoeling door verdamping en verkoeling door schaduw de oplossing voor bieden. Het overschot aan water door de piekbuien wordt door de boom gebruikt voor de verdamping en dit geeft verkoeling, oftewel de oplossing voor het hitte-eiland effect. “Oplossing” blijkt wel een groot woord, een betere omschrijving is “een grote bijdrage leveren aan de oplossing”.

De vierde deelvraag luidde: **“Met welk sortiment profiteert het stadscentrum optimaal van de klimaatadaptieve eigenschappen van bomen?”**. Dit sortiment is te bepalen door bomen te beoordelen met een aantal selectiecriteria. De breedte van de kroon, de transparantie van de kroon en de kleur van het blad zijn hier een aantal voorbeelden van. Echter is dit geen vaststaand sortiment. De bepaling van de te handhaven criteria is afhankelijk van de klimaatadaptieve wensen en de wensen uit de omgeving (zoals lichte schaduw bij een horeca gelegenheid) met betrekking tot de boom.

De vijfde deelvraag luidde: **“Met welke groeiplaatsinrichting profiteert het stadscentrum optimaal van de klimaatadaptieve eigenschappen van bomen?”**. De groeiplaatsinrichting is stap voor stap opgebouwd, waarin criteria als zuurstofvoorziening, vochtvoorziening en draagkracht een aantal voorbeelden van zijn. Uit de stappen blijkt dat er meer nodig is dan alleen een goede boomkeuze. Een boom zal zijn baten niet (optimaal) leveren zonder een goeie ondergrondse voorziening, die bestaat uit een aantal componenten. Daarnaast wordt duidelijk dat groeiplaats ook een klimaatadaptieve functie kan hebben, door er een waterbergings- en infiltratiefunctie aan te koppelen. Multifunctioneel ruimtegebruik dus.

De zesde en laatste deelvraag luidde: **“Hoe groot is de bijdrage van de stadsboom met optimale groeiplaats voor de klimaatadaptatie van het stadscentrum?”**. Met deze vraag komt de uitwerking van het sortiment en de uitwerking van de groeiplaats bij elkaar tot een product. Dit “product” is in een aantal voorbeeldsituaties geplaatst (zie hoofdstuk 5), waaruit blijkt dat de boom en de groeiplaats samen bijdragen aan een klimaatadaptieve stad met vele bijkomende baten.

Buiten deze antwoorden op de deelvragen zijn er een aantal andere conclusies uit dit onderzoek naar voren gekomen. Deze conclusies zijn hieronder per categorie beschreven.

### Conclusies over klimaatverandering

Over de gevolgen van klimaatverandering zal waarschijnlijk eeuwig discussie blijven bestaan. Toch zijn er aantoonbare gevolgen van klimaatverandering voor de stad. Dit zijn de piekbuien en het hitte eiland effect. Bomen kunnen een aanzienlijke bijdrage leveren aan het wegnemen van de gevolgen van deze problemen.

Een andere conclusie heeft te maken met bodemverdroging. Door de groeiplaats van een boom goed in te richten, kan deze groeiplaats als bypass gaan dienen om de piekbuien naar de bodem te krijgen. Dit lukt nu niet door de verharding die optreedt als een vrijwel ondoordringbare laag. Een boom is dus een goed middel om eigenlijk twee problemen, piekbuien en bodemverdroging, met elkaar in contact te laten komen en daarmee lossen ze elkaars probleem op. Weer een prachtige baat van bomen.

### Conclusies over bomen

Bomen kunnen een aanzienlijke bijdrage leveren aan het klimaatadaptief maken van het stadscentrum, door de vele klimaatadaptieve baten van evapotranspiratie en de schaduwwerking. Deze baten lopen uiteen van energiebesparing, een verbeterd stedelijk leefklimaat, lagere gezondheidsrisico's tot financiële voordelen voor een grote groep baathouders.

# Concluderen



Afb 6.3 De schaduw van bomen wordt vaak erg gewaardeerd



Afb 6.4 Bomen toepassing aan de rand van de stad

De criteria om een boom op klimaatadaptieve waarde te beoordelen zijn in veel gevallen niet eenvoudig op te stellen. Vooral het feit dat bomen natuurproducten zijn, geen enkele boom gelijk is en het tekort aan onderzoek op sommige criteria bemoeilijkt het vaststellen van deze waarde. Zoals in paragraaf 3.7 genoemd, zijn een aantal criteria gebaseerd op aannames en/of vakkundig onderbouwde meningen. Om ook deze criteria wetenschappelijk te kunnen onderbouwen is vervolgonderzoek zeer gewenst (zie ook paragraaf 6.2, aanbevelingen).

De veelvoudig genoemde baten van bomen komen alleen volledig tot hun recht met een juiste groeiplaatsinrichting, door te voldoen aan een aantal belangrijke ontwerpaspecten en door het sortiment af te stemmen op klimaatadaptieve wensen in combinatie met wensen uit de omgeving van de (nieuw te planten) boom (bijvoorbeeld van de horeca ondernemers).

## Conclusie over de groeiplaats-toepassing

Wellicht is dit de belangrijkste conclusie uit het onderzoek, betreffende de manier van toepassen van de klimaatadaptieve boom. De klimaatadaptieve baten die de bomen ons kunnen leveren, komen enkel goed tot hun recht wanneer er voldoende aandacht is geschonken aan de sortimentskeuze, de inrichting van de groeiplaats en de context waarin de boom staat. De keuzes die gemaakt dienen te worden om tot een succesvolle klimaatadaptieve maatregel te komen, zijn van veel factoren afhankelijk en beïnvloeden elkaar in vele gevallen direct, dan wel indirect. Deze keuzes dienen daarom goed tegen elkaar afgewogen te worden. Een heldere formulering van de doelstelling is hiervoor van groot belang.

## Conclusie over het inrichtingsproces

Deze conclusie grijpt in meer of mindere mate in op de voorgaande conclusie. Het grootste probleem dat het groeisucces van hedendaagse boomtoepassingen in de meeste gevallen in de



weg staat is het integreren van de boom (incl. groeiplaats) in een ontwerp. In veel projecten geldt het groen als de sluitpost op het budget waardoor geïnvesteerd wordt in allerlei voorzieningen zowel boven- als ondergronds, maar wat ten koste gaat van de mogelijke investering die de bomen tot gezonde volwassen exemplaren maakt. De ontwerpen worden van alle beoogde elementen voorzien, om er in de eindfase achter te komen dat er nog groen (bomen) in moet, terwijl het budget wellicht al bijna op is. De ‘makkelijkste’ oplossing is voor de ontwerper nu om bomen er (deels) uit te laten zodat kosten bespaard kunnen worden. Deze kosten zouden bij een integrale aanpak wellicht ergens anders bespaard kunnen worden?

Dit gebeurt niet enkel op budgetniveau, maar simpel gezegd begint het al op de tekentafel. Een veel genoemde ‘klacht’ uit het bomennetwerk is ‘de finishing touch door de groene bolletjes toe te voegen op de ontwerp-tekening’. Dit gebeurt dan nadat alle andere voorzieningen (wegen, bebording, riolering en verlichting) al zijn ingetekend. Op de tekening zien de ‘groene bolletjes’ die door moeten gaan als bomen er wellicht leuk uit, maar in veel gevallen blijkt er in werkelijkheid helemaal geen (boven- dan wel ondergrondse) ruimte voor. Omdat het ontwerp het oppert, worden de bomen toch maar toegepast, terwijl de bomen in een dergelijke situatie waarschijnlijk geen grote, gezonde exemplaren zullen worden. Deze bomen die er dan vaak zo armetierig bij staan dragen vervolgens bij aan het idee dat de bomen in veel gevallen ‘geldverspilling’ zijn waardoor bomen de sluitpost in het project zullen blijven.

### Conclusie over de groeiplaatsconstructie

Er bestaat geen optimale prefab groeiplaats. De ontworpen groeiplaats uit dit onderzoek biedt echter handvaten voor een goede groeiplaats in welke situatie dan ook. Iedere situatie vraagt om een ander ontwerp, toepassing en materialen. Per situatie dienen de benodigde eigenschappen van de groeiplaats herzien te worden en dient de groeiplaats op de gegeven situatie afgestemd te worden. De sortimentskeuze werpt daarbij ook

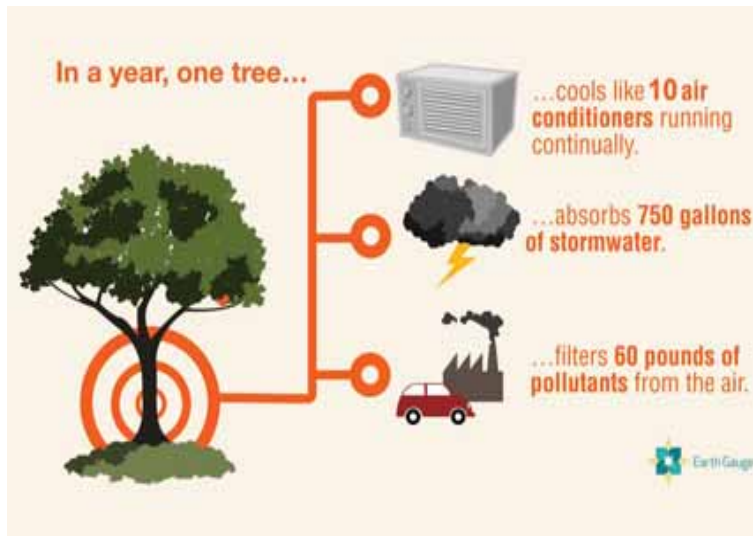
nog verschillende afwegingen op. Alle factoren moeten positief gezind zijn wil de toepassing van de groeiplaats het beoogde rendement behalen. Het is een behoorlijke investering, dus mag men ervan verwachten dat het een hoogwaardig product wordt.

### Conclusies over investeren in de toekomst

Wanneer een gemeente graag bomen wil toepassen met klimaatadaptieve motieven, moet zij beseffen dat een juiste toepassing vraagt om investeringen (in de toekomst). Om de optimale omstandigheden te creëren moet de gemeente geld over hebben voor een duurzame groeiplaats. De baten die het oplevert betalen de investering in de loop van de tijd terug, maar dit zal niet iedereen zich beseffen. De baten zijn nou eenmaal moeilijker in geld uit te drukken dan de (aanleg- en beheer) kosten van de groeiplaats. Daar komt bij dat de baten pas op latere leeftijd van de boom optimaal vrij zullen komen. Het is dus een investering in de toekomst.

De gemeente moet om dezelfde reden zich afvragen in welk tijdsbestek deze investering tot bloei moet komen. Wanneer er op korte termijn een dergelijke voorziening gewenst is, kan sortiment en groeiplaats hierop aangepast te worden. Ziet de gemeente dit als duurzame lange termijn doelstelling, dan kan er bijvoorbeeld een boom gekozen worden die langzamer groeit, maar wellicht ouder zal worden.

## 6.2 Aanbevelingen



Afb 6.5 Verschillende baten van stadsbomen, waaronder CO<sub>2</sub> opname



Afb 6.6 Vervolgonderzoek naar bomen en CO<sub>2</sub>

Het onderzoek naar 'klimaatadaptieve bomen' is een onderwerp gebleken waarin nog weinig stappen zijn gezet binnen het werkveld. Dit resulteerde in een onderzoek welke gaandeweg alsmar deuren heeft geopend, maar waar niet altijd voor gekozen is om deze deuren binnen te gaan. Een onderzoek met dit onderwerp kan nog vele malen verder de breedte in gaan en op sommige detailniveaus is verdere uitwerking aan te raden. De aanbevelingen geven aan op welke gebieden er nog nader onderzoek verricht zou kunnen worden om dit onderwerp verder te ontwikkelen en toe te kunnen passen. Daarnaast worden er uitspraken gedaan, gericht aan het werkveld in de vorm van tips, welke al dan niet gebaseerd zijn op conclusies uit dit onderzoek.

### Bomen toepassen!

Met het lezen van dit rapport is inmiddels wel duidelijk dat toepassen van bomen in de stad een grote bijdrage kan leveren aan het leefbaar maken en houden van het stedelijk gebied. Daarom wordt de belangrijkste aanbeveling gericht aan alle betrokkenen bij de inrichting van de openbare ruimte. Wij, de auteurs van deze rapportage, bevelen al deze partijen aan om de baten van bomen meer te gebruiken bij de inrichting van de openbare ruimte. Zorg dat het de functionaliteit van verhardingsmaterialen niet de kwaliteiten en baten van bomen blijven overstemmen.

Dit rapport heeft duidelijk gemaakt dat bomen kunnen bijdragen aan een leefbare stad, vermindering van gezondheidsklachten en het wegnemen van een groot deel van de wateroverlast tijdens piekbuien. Alleen al de opsomming van deze klimaatadaptieve baten klinkt fantastisch. Met de wetenschap dat dit "slechts" nog maar het begin is van de enorme lijst met baten van bomen, mag de kwaliteit en de toepassing van bomen niet langer meer een restpost zijn bij projecten in de openbare ruimte. Bomen zijn letterlijk de toekomst voor onze leefbare stad.

Naast deze "schreeuw" om aandacht voor de (klimaatadaptieve) baten van bomen zijn er een aantal aanbevelingen voortgekomen uit dit onderzoek. Het gaat hier voornamelijk om aanbevelingen



voor vervolgonderzoek, welke onderzoeksresultaten de kracht en toepasbaarheid van dit onderzoek zullen versterken.

### LAI

Een belangrijk onderwerp voor vervolgonderzoek betreft de LAI (Leaf area index). Uit deze resultaten van dit onderzoek blijkt dat bomen met een grote LAI een grotere bijdrage kunnen geven aan het klimaatadaptief maken van de stad. Er zijn echter nog geen of te weinig concrete gegevens over de LAI op soortniveau. Een onderzoek naar de LAI per boomsoort zal het mogelijk maken om de LAI van bomen te gebruiken als klimaatadaptief criterium.

### Huidmondjes

Naast de LAI is het criterium huidmondjes beschreven als klimaatadaptieve eigenschap van bomen. Een grotere hoeveelheid huidmondjes draagt bij aan een grotere transpiratie. Er zijn echter nog weinig onderzoeken gedaan naar het aantal huidmondjes per boomsoort. Ook voor deze eigenschap geldt dat vervolgonderzoek kan bijdragen om het aantal huidmondjes op te nemen als klimaatadaptief criterium.

### Wegingsfactor criteria

De criteria van bomen, zoals deze zijn beschreven in hoofdstuk 3, kennen geen wegingsfactor bij het vaststellen van klimaatadaptief sortiment. De criteria zijn allemaal gelijk. Naar verwachting is dit niet helemaal het geval. Het is daarom belangrijk om de genoemde eigenschappen verder te onderzoeken en conclusies te trekken over de weging van deze eigenschappen. Het toevoegen van deze eigenschappen maakt dat sommige bomen die nu als gelijk zijn beoordeeld, boven de andere bomen gaan uitsteken. Hierdoor zal het maken van een keuze uit het klimaatadaptief sortiment gemakkelijker worden.

### Randvoorwaarden

In paragraaf 3.6 zijn een aantal ontwerpvoorwaarden genoemd die, bij het niet opvolgen van deze voorwaarden, een negatief effect kunnen hebben op de klimaatadaptieve baten en zelfs de leefbaarheid van de stad. De genoemde voorwaarden zijn echter vrij oppervlakkig geformuleerd. Een vervolgonderzoek naar het effect van het niet opvolgen van deze voorwaarden zal een grote meerwaarde hebben bij het klimaatadaptief maken van de stad. Een goed voorbeeld van dergelijke randvoorwaarden is de doorwaaibaarheid van de stad. Een onderzoek naar de juiste positionering van de boom is daarvoor zeer wenselijk. Daarnaast is het zeker denkbaar dat de genoemde "lijst" met voorwaarden nog niet volledig is. Ook het aanvullen van deze voorwaarden is erg belangrijk voor de toekomst van de klimaatadaptieve boom.

### Groeiplaatsconstructie

De constructie van de groeiplaats vormt een belangrijke rol binnen het klimaatadaptieve eindproduct van dit onderzoek. De constructie is ontwerpmatig en functioneel vormgegeven. Het betekent dat het dragend vermogen van de constructie zelf wel is beschreven, maar nog niet is doorberekend. Het is belangrijk dat dit gebeurt voordat deze constructie toegepast gaat worden.

### Bomen en oorzaken van klimaatverandering

Dit onderzoek is specifiek gericht op de gevolgen van klimaatverandering voor de stad en hoe bomen deze gevolgen kunnen oplossen. Zoals al veel vaker genoemd vervullen bomen niet alleen klimaatadaptieve baten. Het is daarom erg raadzaam om binnen het thema klimaatverandering ook een onderzoek te doen naar de oorzaken hiervan. Er heerst een sterke verwachting dat een boom ook een belangrijke rol kunnen spelen in het verminderen van deze oorzaken.

# Aanbevelen



Afb 6.7 Wederom een goed voorbeeld van de verkoelende baten van bomen



Afb 6.8 Een dergelijke grote boom vereist een juiste groeiplaatsinrichting

## Integratie

Gemeenten zullen moeten beseffen dat integratie van bomen in het ontwerpproces van groot belang is voor de gezondheid van de boom. Een duurzame inrichting van de openbare ruimte bestaat uit elementen welke elkaar niet belemmeren in hun functie. Wanneer de groeiplaats van bomen voldoende aandacht krijgen tijdens het ontwerp, zal het eindproduct vele malen hoogwaardiger worden.

Kansen voor gezonde boomtoepassing door integratie liggen voornamelijk bij projecten in de nieuwbouw en herinrichting. In dit soort projecten wordt er iets volledig nieuws ontworpen óf gaat de indeling volledig op de schop. Zo kan de boom 'meeliften' in projecten die niet per definitie ontstaan zijn vanuit het oogpunt nieuwe bomen toe te passen.

## Sortimentsgebonden groeiplaats

Er zijn in dit onderzoek klimaatadaptieve bomen geselecteerd op basis van biologische en uiterlijke kenmerken. Een optimale groeiplaats moet er voor zorgen dat de baten van deze bomen optimaal tot hun recht komen. Echter is het aannemelijk dat er per sortiment, door een (kleine) aanpassing in de groeiplaats, een veel efficiëntere groeiplaats ontstaat. Hiervoor dient meer bekend te zijn over boomsortimenten afgezonderlijk van elkaar. Voor de klimaatadaptieve baat 'schaduw' is bijvoorbeeld op basis van uiterlijke kenmerken gemakkelijk vast te stellen of een bepaald boomsortiment al dan niet geschikt is.

Voor wateropname is dit lastiger. Uit enkele biologische en uiterlijke eigenschappen blijkt wel of een boom veel water verdampt ja of nee. Maar het blijkt vele malen lastiger te zijn om te bepalen hoeveel water een dergelijke boom in gezonde situatie verbruikt in verhouding tot ander boomsortiment. Wanneer dit bekend zou zijn, kan de groeiplaats vele malen efficiënter ontworpen en gedimensioneerd worden.

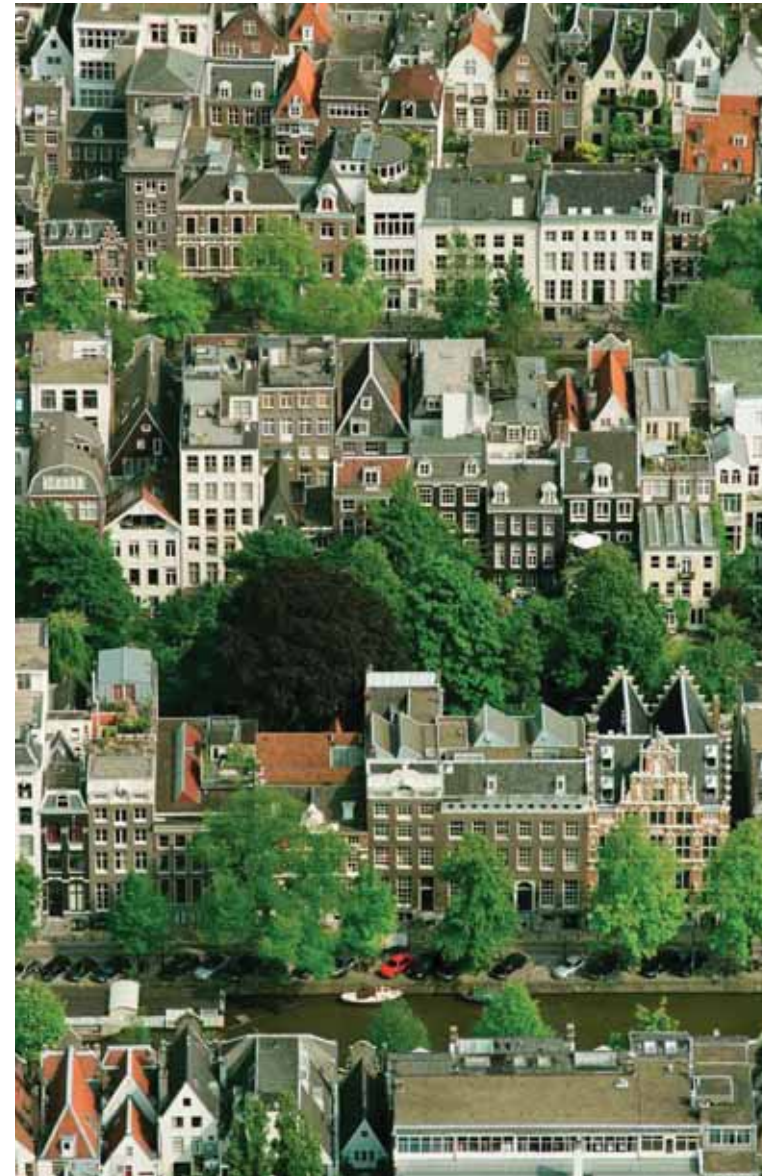


### Materialisatie groeiplaats

Per situatie en sortiment zullen groeiplaatsen er anders uit gaan zien. De ontworpen groeiplaats uit dit rapport biedt handvaten voor de werkelijke materialisatie van een groeiplaats in welke situatie dan ook. Het is echter van belang dat de materialen een even lange levensduur zullen bereiken als de boom in de situatie. De baten van de boom komen pas op latere leeftijd aanzienlijk tot bloei, waardoor het op dat moment van extra groot belang is dat de groeiplaats op latere leeftijd nog steeds voldoet zonder dat het in kwaliteit heeft ingeleverd. De groeiplaats moet een robuuste constructie worden.

### Bodemgerelateerde groeiplaats

De haalbaarheid en het rendement van de klimaatadaptieve groeiplaats in gebieden met een zwakke bouwgrond en/of een hoge grondwaterstand is discutabel. De groeiplaats biedt handvaten voor het ontwerp van een groeiplaats in uiteenlopende situaties, maar kan niet als prefab element beschouwd worden die overal toegepast zou kunnen worden. Een vervolgonderzoek naar de (klimaatadaptieve) mogelijkheden van een groeiplaats per bodemsoort in combinatie met grondwaterpeil zou een zeer logische vervolgstap kunnen zijn op dit onderzoek.



Afb 6.9 Een klimaatadaptieve en esthetisch waardevolle stad met bomen







# Bijlagen

# 7



In dit laatste hoofdstuk zijn de bronvermeldingen voor informatie, bronvermelding voor afbeeldingen en de begrippenlijst weergegeven. Daarnaast wordt een samenvatting gegeven van alle gesprekken die ten behoeve van dit onderzoek met experts zijn gevoerd.

Ten behoeve van dit onderzoek zijn enkele experts uit het werkveld benaderd om hun visie op het onderwerp 'Klimaatadaptatie door toepassing van bomen' toe te lichten en is hen de vrijheid gegeven zelf een visie toe te lichten op het werkveld dat zich op welke manier dan ook met bomen bezig houdt. Daarnaast zijn er verdeeld over het proces verschillende vragen gesteld aan de experts om aan informatie te komen welke niet in literatuur, dan wel op internet te vinden is. Deze bijlage geeft inzicht in de uitspraken die ons tijdens het proces de meeste handvatten hebben geboden en welke ons aan het denken hebben gezet. De uitspraken zijn niet letterlijk verteld zoals hieronder beschreven, maar vormen een samenvatting van het gesprek. Deze bijlage bevat geen standpunten of meningen van de auteurs van deze rapportage.

## Anton Dekker

*Boomspecialist bij Gemeente Apeldoorn  
Mede verantwoordelijk voor de innovatieve groeiplaatsen in onder andere de Stationsstraat te Apeldoorn.*

'De klimaatveranderingen brengen zeker gevolgen mee voor de Nederlandse stad. De leefkwaliteit zal sterk achteruit gaan wanneer er geen aandacht aan geschonken wordt. Hier moeten gemeenten zich zeker bewust van worden en hier op tijd op in spelen. De problematiek biedt kansen voor groen om zich te kunnen excelleren binnen stadsgrenzen. Echter kunnen bomen bij verkeerde toepassing ook averechts werken. Bomen kunnen de 'doorwaaibaarheid' van de stad namelijk negatief beïnvloeden wat tevens voor hitte, maar vooral ook een hogere concentratie fijnstof oplevert. Fijnstof heeft naast klimaatverandering op korte termijn een nog grotere negatieve invloed op de leefkwaliteit van de Nederlandse stad'.

'De correcte toepassing van bomen moeten meeliften met andere disciplines. Wanneer een straat een herinrichting ondergaat, is dit vaak omdat de verhardingen en/of de riolering niet meer van voldoende kwaliteit zijn. De integratie van bomen

## 7.1 De experts aan het woord

in de nieuwe situatie biedt kansen voor bomen in de toekomst. Deze integratie wordt vaak onderschat door een bepaalde visie die ontwikkeld is waarbij men er bij vanuit gaat dat bomen enkel geld kosten. Wanneer men echter energie steekt in de integratie zijn er veel dingen mogelijk. Stel dat we in Nederland op parkeerterreinen in de stad onder elke 4 parkeerplaatsen een gezonde groeiplaats inrichten voor een boom, dan zou de stad er al een stuk groener uit zien. Bij het toepassen van bomen moeten 'tegenstanders' overtuigd worden van de baten die de bomen ons opleveren zoals duurzaamheid (lange levensduur), minder belasting op het riool en een beter welzijn van mensen. De Nederlandse steden zijn bijzonder dynamisch, om de paar decennia gaat het straatprofiel weer op de schop. De investering in een duurzame boomtoepassing betaalt zich over een veel langere periode terug.'

De toepassing van bomen in de stad wordt hoofdzakelijk erg moeilijk gemaakt door de hoge gebruikersdruk op de steden. Daarnaast speelt het maatschappelijk draagvlak een steeds grotere rol om te kunnen investeren in bomen. Burgers hebben steeds meer mogelijkheden om hun (on)genoegen openbaar uit te kunnen spreken tegenover bijvoorbeeld gemeentes. Als gemeente wil je de bewoners niet negeren. Er bestaat in de Nederlandse stad in veel gevallen een tekort aan groen. Doordat de gevolgen van dit tekort vaak niet erkend worden, wordt er te weinig geïnvesteerd om het groengehalte op te vijzelen.'

## Margareth Hop

*Veredelaar/onderzoeker bij Boomkwekerij Boot & co en onderzoeker voor PPO(Praktijkonderzoek Plant & Omgeving) en Wageningen Universiteit  
(Mede-)verantwoordelijk voor vele professionele publicaties*

'Bomen kunnen zeker wat betekenen voor de Nederlandse stad als het gaat om klimaatveranderingen. Het gegeven dat bomen ons belangrijke baten op kunnen leveren wordt echter lang niet



altijd erkend. De uitdrukking van deze baten in kosten zou voor een openbaring kunnen zorgen, maar de vertaling van deze baten naar kosten is een grote uitdaging omdat dit zeer situatie afhankelijk is. Het is echter aannemelijk dat bomen ons veel op aircokosten kunnen doen besparen en dat de belasting op het riool aanzienlijk verkleint wanneer een grote boomkroon een groot deel van het regenwater opvangt.'

'Bij de inzet van bomen om de gevolgen van klimaatverandering te 'verzachten' dient er aandacht geschonken te worden aan de situering van de aan te planten bomen. Een verkeerde situering kan namelijk de doorwaaibaarheid negatief beïnvloeden waardoor warmte zich juist zal ophopen in de stad. Bomen kunnen tevens een positief effect hebben op de reductie van het CO2 gehalte in de atmosfeer. Bomen nemen CO2 op tijdens de ontwikkeling. Deze CO2 komt pas weer vrij bij verbranding of biologische afbraak van het hout. Wanneer bomen in de stad langer zouden kunnen blijven leven, zou het vrij komen van deze CO2 uitgesmeerd kunnen worden over een langere periode.'

### Marc Lansink

*Hoofd Boomtechnisch Advies bij BTL Bomendienst BV  
Heeft verscheidene boomverplantingen begeleidt*

'Door de klimaatveranderingen zullen exoten (Zuid Europa) steeds meer in ons land kunnen gedijen. Mogelijke criteria van het zoeken naar de boom met het grootste klimaatadaptieve vermogen zijn bijvoorbeeld groot bladoppervlak en lang in blad per groeiseizoen (liefst wintergroen). Daarnaast is het aannemelijk dat het type groeimedium een grote rol kan spelen in het bufferen van water. Bomen zullen echter pas baten opleveren wanneer de groeiplaats van voldoende kwaliteit is. De mogelijkheden op dit gebied zijn in sommige gevallen echter gering en van veel factoren afhankelijk. Een goede tool om mensen van de waarde van bomen te overtuigen is de TEEB-tool. Hierin worden de baten van bomen in geld uitgedrukt.'

### Jitze Kopinga

*Onderzoeker bij de Wageningen universiteit*

*Wordt door velen erkend als dé bomenspecialist van Nederland*

'Voorlopig hoeft men zich nog niet zo druk te maken om de gevolgen van klimaatveranderingen. De klimaatveranderingen hebben in vele gevallen ook positieve effecten op ons leefklimaat. De uitspraken over klimaatverandering worden zo overschat, terwijl er gesproken wordt over gemiddeldes van 30 jaar. Het enige waarin de stad zich zou kunnen aanpassen is het verkleinen van het verharde oppervlak. Het managen van regenwater krijgt een steeds grotere invloed op het stadsontwerp.'

Afgezien van de discussie of de opwarming van de stad nu wel of niet plaats zal vinden, zit de grootste verkoelende werking van bomen in het onderscheppen van de zonnestralen. De verdamping heeft een kleiner aandeel in de verkoelende werking van bomen. De verdamping van water door bomen zou zelfs benauwend kunnen werken, wanneer de luchtvochtigheid erg hoog wordt. Een boom kan als klimaatadaptieve maatregel beschouwd worden omdat het de extremen afvlakt: De scherpe zonnestralen worden (deels) onderschept waardoor extreme hitte niet voorkomen zal worden. Daarbij vangen bomen een groot deel van het regenwater op.

Criteria voor klimaatadaptieve bomen zouden schaduwwerking, droogteresistentie en zuinig met water. Daarbij kan de kroonbreedte bijdragen aan de verdamping van bomen. Hoe breder de kroon, hoe meer bladoppervlak zich in de zon zullen bevinden, wat de verdamping bevordert. Een boom verdampt niet meer wanneer er meer water beschikbaar is. Dus de watervoorraad aanpassen aan de urgentie om water is overbodig. Als de watervoorraad geen beperkende factor is, maakt de keuze voor een bepaald sortiment niet veel meer uit. Het groeimedium kan een waterbuffer vormen welke van pas komt om de piekbuien te kunnen verwerken. Een goede leemhoudende grond heeft een vochtbindend vermogen van ca. 180 liter water per kubieke meter grond.

## A

Het begrip **Adaptatie** is erg omvangrijk. Het betekent letterlijk “aanpassen” aan een bepaalde situatie. In het geval van dit onderzoek is betekend het “aanpassen van de stad aan de gevolgen van klimaatverandering om de stad leefbaar te houden

De **Albedo** is het licht reflecterende vermogen van een object. Dit wordt weergegeven in een percentage of een waarde tussen de 1 en 0. Hoe hoger de waarde, hoe hoger het reflecterend vermogen

## B

Een ander woord voor **Baten** is voordelen. Baten zijn dus eigenlijk de voordelen die vaak mensen ondervinden van een bepaalde situatie

**Baathouders** zijn de organismen (in veel gevallen mensen) die voordeel ondervinden van bepaalde baten.

## C

**Capillaire werking** is een verschijnsel waarbij vocht door de poriën van fijn zand omhoog wordt getrokken

## D

Om in een bepaalde setting iets voor elkaar te krijgen moeten meerdere mensen de ideeën daarvoor steunen. Dit noemt men **Draagvlak** creëren.

**Dimensioneren** is het bepalen van de vorm en afmetingen van een bepaald product, gebaseerd op een aantal criteria zoals opneembare gronddruk of te verwerken hoeveelheid water

## E

**Evapotranspiratie** is een proces waarbij waterdamp van een begroeide bodem naar de atmosfeer verdampt

**Evaporatie** vormt een onderdeel van evapotranspiratie. De evaporatie is het proces waarbij vocht vanaf de bladeren, twijgen

## 7.2 Begrippenlijst

of de stad verdampt naar de atmosfeer

De **Endodermis** vormt een cellaag rondom bladeren en wortels. Deze laag verzorgt het selectief opnemen van stoffen

## F

**Fotosynthese** is het biologische proces van planten, waarbij CO<sub>2</sub> en water worden omgezet in suikers

## G

De **Groeiplaatsinrichting** betreft de inrichting van de groeiomstandigheden van planten om zich in te kunnen ontwikkelen. In het geval van dit onderzoek betreft het de groeiomstandigheden voor bomen

## H

**Hittestress** is een verschijnsel tijdens een periode van uitzonderlijk warm weer. Bij overmatige transpiratie of te weinig toediening van vocht zorgt dit mij mensen voor uitdrogingsverschijnselen. Hier is sprake van hittestress

Het **Hitte-eiland effect** is een fenomeen waarbij de temperatuur in een stedelijk gebied gemiddeld hoger is dan in het omliggende landelijk gebied

**Huidmondjes** zijn openingen in de opperhuid van planten, bestaande uit twee sluitcellen rond een regelbare spleet. Via dit mechanisme vindt gaswisseling plaats

**Horizonvervuiling** is het plaatsen van objecten of nemen van maatregelen die het beeld of de esthetische kwaliteiten negatief beïnvloeden.

Wanneer er sprake is van een **Hangwaterprofiel** blijven er vochtdeeltjes boven de grondwaterstand in de bodem hangen. Hier kunnen plantenwortels van profiteren

Een **Homogene samenstelling** is een samenstelling, in dit geval



van de bodem, die bestaat uit één materiaal

## K

Het **Klimaat** betekend letterlijk “het gemiddelde weer”. Dit gemiddelde is samengesteld uit een veelvoud van factoren, gemeten over een periode van tientallen jaren

De **Klimaatverandering** is een proces waarbij het klimaat langzaam maar zeker veranderd. De snelheid waarmee dit gebeurt is afhankelijk van vele factoren. Klimaatverandering heeft zowel natuurlijke als onnatuurlijke oorzaken

## L

**Leefbaar** betekend een prettige omgeving of situatie voor mensen om zich in te begeven.

## M

Als je in je gedrag toont dat je streeft naar behoud van de natuurlijke leefomgeving, mag dit omschreven worden **Milieubewust**

**Mycorrhiza** zijn schimmels die in symbiose leven met boomwortels. Zowel de wortels als de schimmels ondervinden voordelen van deze samenwerking

**MPa** is een afkorting voor MegaPascal. Deze eenheid wordt gebruikt om druk aan te geven

**Minerale grond** is een grond die niet-organisch bodem bestanddelen bevat

## N

**Nutriënten** zijn voedingsstoffen voor planten

## O

**Organische stof** is materiaal waaruit levende en dode organismen zijn opgebouwd en dat door micro-organismen kan worden afgebroken

## P

**Piekbuien** zijn een fenomeen waarbij grote hoeveelheden hemelwater tegelijk naar beneden komen.

Met **Porositeit** wordt mate waarin holtes in een stof voorkomen aangegeven

## R

**Resistentie** betekend het in staat zijn om ergens weerstand tegen te bieden. In het geval van dit rapport betreft het vaak resistentie tegen zoutaantasting en droogte

## S

Onder **Sortiment** wordt een verzameling producten verstaan. In dit geval gaat het om een verzameling bomen

## T

Met het begrip **Turgor** wordt de druk in de cellen van de plant aangegeven

**Transpiratie** is het proces waarbij de boom vocht verliest in de vorm van waterdamp naar de atmosfeer

## U

Met het begrip **uitlogend** wordt langzaam oplossen af afbreken van stoffen door middel van lucht of water bedoeld

## V

Met **Verdroging** wordt het uitdrogen van materiaal bedoeld. In het geval van dit onderzoek betreft het de bodem of boom

**Verziltig** is een toename van het zoutgehalte in de bodem

## W

Het **Waterpotential** is het drukverschil tussen wortels en blad

**Waterstress** is een sterk tekort aan vocht in de boom



Afb 7.1 Bomen en de stad, een prachtige combinatie



Afb 7.2 Genieten onder het bladerdak van bomen

## 7.3 Bronvermelding

### B

<sup>[1]</sup> Berk, Gebr. van den (2004). *Van den Berk over Bomen* (2e druk). Sint-Oedenrode, Boomkwekerij Gebr. Van den Berk B.V.

<sup>[2]</sup> BVB substrates (z.d.). *Optimale basis voor natuurlijk en stedelijk groen*. Geraadpleegd op 14 mei, van <http://www.bvb-substrates.nl/cat/102/landscaping>

### C

<sup>[3]</sup> CROW (2012). *Combineren van onder- en bovengrondse infrastructuur met bomen*. Druk onbekend

<sup>[4]</sup> CROW (2010). *Aanpassen openbare ruimte aan klimaatverandering*. Druk onbekend

### D

<sup>[5]</sup> Döpp, S. (2011, 27 mei). *Kennismontage Hitte en Klimaat in de stad*. Gedownload op 12 april 2014, van [www.knowledgeforclimate.nl/climateproofcities](http://www.knowledgeforclimate.nl/climateproofcities)

### E

<sup>[6]</sup> Ennos, A.R. (2010, 13 oktober). *Trees and climate change*. [PowerPoint]. Geraadpleegd op 10 mei 2014, van <http://www.myerscough.ac.uk/downloads/pdfs/>

<sup>[7]</sup> Ennos, A.R., Gill, S.E., Handley, J.F. & Pauleit, S. (z.d.). *Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure*. *Built environment*, vol 33 (1), 115-133

<sup>[8]</sup> Encyclo (z.d.). *Nederlandse encyclopedie*. Geraadpleegd op 8 juni 2014, van <http://www.encyclo.nl/>

### J

<sup>[9]</sup> Janssen, J.J.C. (2006). *Stadsbomen Vademecum 4: Boomsoorten en gebruikswaarde* (4e druk). Nijmegen, MacDonald/SSN



## K

<sup>[10]</sup> Koninklijk meteorologisch instituut (z.d.). *Klimaatverandering en broeikas-effect*. Geraadpleegd op 17 maart 2014, van [http://www.knmi.nl/klimaatverandering\\_en\\_broeikas-effect/](http://www.knmi.nl/klimaatverandering_en_broeikas-effect/)

## L

<sup>[11]</sup> Loon, A. van (2003). *Ruimte voor de stadsboom*. Wageningen, Blauwdruk

## M

<sup>[12]</sup> Mohren, G.M.J. (1993). Waterrelaties van bomen, en de rol van water bij de groei. *Nederlands bosbouw tijdschrift*. 280-287

## N

<sup>[13]</sup> Nutrinorm (z.d.). *Functies van organische stof in de bodem*. Geraadpleegd op 25 april 2014, van <http://www.nutrinorm.nl/nl-nl/Paginas/Functies-van-organische-stof-in-de-bodem.aspx#.U2I8CcLCSP8>

<sup>[14]</sup> Natuurkalender (z.d.). *Waarnemingen bekijken*. Geraadpleegd op 23 mei 2014, van <http://www.natuurkalender.nl/waarnemingen/>

## P

<sup>[15]</sup> Prooijen, G.J. (1992). *Stadsbomen vademecum: Deel 2, groeiplaats en aanplant*. Arnhem

## R

<sup>[16]</sup> Rijksoverheid (z.d.). *Omgaan met klimaatverandering*. Geraadpleegd op 17 april 2014, van <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/omgaan-met-klimaatverandering>

## S

<sup>[17]</sup> Schuring, W. (1990). *Toelichting op enige aspecten van de verdamping van (stads)bomen*. Wageningen

## U

<sup>[18]</sup> Urban, J. (2008). *Up by roots: Healthy Soils and Trees in the Built Environment*. Wichita (KS), ADR Bookprint

## V

<sup>[19]</sup> Vries, D. van, Hendriks, J. & Milligen, R. van (2014). *Ecosysteemdiensten: De baten van stadsbomen*. Velp, Repro hogeschool Van Hall Larenstein

## W

<sup>[20]</sup> Wikipedia (2014). *Klimaatverandering*. Geraadpleegd op 17 april 2014, van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Klimaatverandering>

<sup>[21]</sup> Wikipedia (2013). *Waterpotentiaal*. Geraadpleegd op 3 april 2014, van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Waterpotentiaal>

<sup>[22]</sup> Wikipedia (2013). *Xyleem*. Geraadpleegd op 3 april 2014, van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Xyleem>

<sup>[23]</sup> Wikipedia (2013). *Epidermis*. Geraadpleegd op 3 april 2014, van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Epidermis>

<sup>[24]</sup> Wikipedia (2013). *Turgordruk*. Geraadpleegd op 3 april 2014, van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Turgordruk>

## 7.4 Bronvermelding afbeeldingen

Voorblad	<a href="http://admiraalsweblog.blogspot.com">http://admiraalsweblog.blogspot.com</a>	Afb. 3.10	Eigen illustratie
Voorwoord	<a href="http://www.autechheads.com">www.autechheads.com</a>	Afb. 3.11	<a href="http://www.zoom.nl">www.zoom.nl</a>
Inhoudsopgave	<a href="http://www.goodfon.su">www.goodfon.su</a>	Afb. 3.12	<a href="http://www.iranwebgard.ir">www.iranwebgard.ir</a>
Titelpagina H1	<a href="http://www.norcapweb.no">www.norcapweb.no</a>	Afb. 3.13	<a href="http://www.ede.nl">www.ede.nl</a>
Afb. 1.1	<a href="http://www.motor-forum.nl">www.motor-forum.nl</a>	Afb. 3.14	<a href="http://www.biodiversiteitactieplan.nl">www.biodiversiteitactieplan.nl</a>
Afb. 1.2	<a href="http://www.helpdeskwater.nl">www.helpdeskwater.nl</a>	Afb. 3.15	<a href="http://www.euronet.nl">www.euronet.nl</a>
Afb. 1.3	<a href="http://www.schooltv.nl">www.schooltv.nl</a>	Afb. 3.16	<a href="http://www.vdberk.nl">www.vdberk.nl</a>
Afb. 1.4	<a href="http://www.stadslevenamsterdam.nl">www.stadslevenamsterdam.nl</a>	Afb. 3.17	<a href="http://www.amersfoort.nl">www.amersfoort.nl</a>
Afb. 1.5	<a href="http://www.nationalebomenbank.nl">www.nationalebomenbank.nl</a>	Afb. 3.18	<a href="https://wilmaverburg.wordpress.com">https://wilmaverburg.wordpress.com</a>
Afb. 1.6	<a href="http://www.bezienswaardighedentips.nl">www.bezienswaardighedentips.nl</a>	Afb. 3.19	<a href="http://www.onlineambition.nl">www.onlineambition.nl</a>
Afb. 1.7	<a href="http://www.natureview.nl">www.natureview.nl</a>	Afb. 3.20	<a href="http://www.boombakkenvoorsteden.nl">www.boombakkenvoorsteden.nl</a>
Afb. 1.8	<a href="http://www.cubra.nl">www.cubra.nl</a>	Afb. 3.21	<a href="http://www.monumentaltrees.com">www.monumentaltrees.com</a>
Afb. 1.9	<a href="http://schoonheidemmen.blogspot.com">http://schoonheidemmen.blogspot.com</a>	Afb. 3.22	<a href="http://www.treebrowser.org">www.treebrowser.org</a>
Titelpagina H2	<a href="http://www.nufoto.nl">www.nufoto.nl</a>	Afb. 3.23	<a href="http://www.monumentaltrees.com">www.monumentaltrees.com</a>
Afb. 2.1	<a href="http://www.knmi.nl">www.knmi.nl</a>	Afb. 3.24	<a href="http://www.tuinbazaar.nl">www.tuinbazaar.nl</a>
Afb. 2.2	<a href="http://www.ad.nl">www.ad.nl</a>	Afb. 3.25	<a href="http://www.monumentaltrees.com">www.monumentaltrees.com</a>
Afb. 2.3	<a href="http://www.duurzaam-actueel.nl">www.duurzaam-actueel.nl</a>	Afb. 3.26	<a href="http://www.vanpelt.nl">www.vanpelt.nl</a>
Afb. 2.4	<a href="http://www.huizenzoeker.nl">www.huizenzoeker.nl</a>	Afb. 3.27	<a href="http://www.junglekey.fr">www.junglekey.fr</a>
Afb. 2.5	<a href="http://www.nufoto.nl">www.nufoto.nl</a>	Afb. 3.28	<a href="http://www.es.wikipedia.org">www.es.wikipedia.org</a>
Afb. 2.6	<a href="http://www.gommersgrondwerken.nl">www.gommersgrondwerken.nl</a>	Afb. 3.29	<a href="http://localecologist.blogspot.com">http://localecologist.blogspot.com</a>
Afb. 2.7	<a href="http://www.geonet.nl">www.geonet.nl</a>	Afb. 3.30	<a href="http://www.schmap.com">www.schmap.com</a>
Afb. 2.8	<a href="http://www.ecoedges.com">www.ecoedges.com</a>	Afb. 3.31	<a href="http://www.500px.com">www.500px.com</a>
Afb. 2.9	<a href="http://www.refdag.nl">www.refdag.nl</a>	Afb. 3.32	<a href="http://www.pinterest.com">www.pinterest.com</a>
Titelpagina H3	<a href="http://www.plazilla.com">www.plazilla.com</a>	Afb. 3.33	<a href="http://www.mijnwoordenboek.nl">www.mijnwoordenboek.nl</a>
Afb. 3.1	<a href="http://www.bloemendaal.nl">www.bloemendaal.nl</a>	Afb. 3.34	<a href="http://admiraalsweblog.blogspot.com">http://admiraalsweblog.blogspot.com</a>
Afb. 3.2	<a href="http://www.denieuwesingel.nl">www.denieuwesingel.nl</a>	Afb. 3.35	<a href="http://brugmanpraat.typepad.com">http://brugmanpraat.typepad.com</a>
Afb. 3.3	<a href="http://www.ontwerpopenbaargroen.nl">www.ontwerpopenbaargroen.nl</a>	Afb. 3.36	<a href="http://chrisglass.com">http://chrisglass.com</a>
Afb. 3.4	Eigen illustratie	Titelpagina H4	<a href="http://www.thebigvoyage.com">www.thebigvoyage.com</a>
Afb. 3.5	Eigen illustratie	Afb. 4.1	<a href="http://www.vartago.be">www.vartago.be</a>
Afb. 3.6	<a href="http://www.mijnkeuze.nl">www.mijnkeuze.nl</a>	Afb. 4.2	<a href="http://www.haarlemmermeer.nl">www.haarlemmermeer.nl</a>
Afb. 3.7	Eigen illustratie	Afb. 4.3	Eigen illustratie
Afb. 3.8	Eigen illustratie	Afb. 4.4	<a href="http://www.nationalebomenbank.nl">www.nationalebomenbank.nl</a>
Afb. 3.9	Eigen illustratie	Afb. 4.5	<a href="http://www.simonstuinenboomzorg.nl">www.simonstuinenboomzorg.nl</a>
		Afb. 4.6	<a href="http://www.nationalebomenbank.nl">www.nationalebomenbank.nl</a>
		Afb. 4.7	<a href="http://www.levende-stad.nl">www.levende-stad.nl</a>
		Afb. 4.8	Eigen illustratie
		Afb. 4.9	Eigen illustratie



Afb. 4.10	<a href="http://www.stedelijkgroen.com">www.stedelijkgroen.com</a>	Titelpagina H7	<a href="http://wallpaperscraft.com">http://wallpaperscraft.com</a>
Afb. 4.11	<a href="http://www.tgs.nl">www.tgs.nl</a>	Afb. 7.1	<a href="http://www.nucia.eu">www.nucia.eu</a>
Afb. 4.12	<a href="http://nickykouwenberg.blogspot.com">http://nickykouwenberg.blogspot.com</a>	Afb. 7.2	<a href="http://www.pinterest.com">www.pinterest.com</a>
Afb. 4.13	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a>	Achterpagina	<a href="http://www.assoonasbloggable.com">www.assoonasbloggable.com</a>
Afb. 4.14	<a href="http://www.cityroofs.nl">www.cityroofs.nl</a>		
Afb. 4.15	Eigen illustratie		
Afb. 4.16	<a href="http://www.volkstuindoesburg.nl">www.volkstuindoesburg.nl</a>		
Afb. 4.17	<a href="http://www.vartago.be">www.vartago.be</a>		
Afb. 4.18	Eigen illustratie		
Afb. 4.19	Eigen illustratie		
Afb. 4.20	<a href="http://www.verenigingmaarlandbewoners.nl">www.verenigingmaarlandbewoners.nl</a>		
Afb. 4.21	Eigen illustratie		
Afb. 4.22	<a href="http://evodammer.blogspot.com">http://evodammer.blogspot.com</a>		
Afb. 4.23	<a href="http://www.nieuwbalinge.eu">www.nieuwbalinge.eu</a>		
Afb. 4.24	Eigen illustratie		
Afb. 4.25	Eigen illustratie		
Afb. 4.26	Eigen illustratie		
Titelpagina H5	<a href="http://www.zumamobile.mx">www.zumamobile.mx</a>		
Afb. 5.1	<a href="http://www.newworldencyclopedia.org">www.newworldencyclopedia.org</a>		
Afb. 5.2	<a href="http://www.boomzorg.nl">www.boomzorg.nl</a>		
Afb. 5.3	<a href="http://josepasschier.blogspot.com">http://josepasschier.blogspot.com</a>		
Afb. 5.4	Eigen illustratie		
Afb. 5.5	Eigen illustratie		
Afb. 5.6	<a href="http://www.hnu.nu">www.hnu.nu</a>		
Titelpagina H6	<a href="http://www.asla.org">www.asla.org</a>		
Afb. 6.1	<a href="http://www.austintexas.gov">www.austintexas.gov</a>		
Afb. 6.2	<a href="http://the-travel-guru.com">http://the-travel-guru.com</a>		
Afb. 6.3	<a href="http://www.mass.gov">www.mass.gov</a>		
Afb. 6.4	<a href="http://theeaglesnestza.com">http://theeaglesnestza.com</a>		
Afb. 6.5	<a href="http://www.cztadvies.nl">www.cztadvies.nl</a>		
Afb. 6.6	<a href="http://www.climategate.nl">www.climategate.nl</a>		
Afb. 6.7	<a href="http://www.astrofx.com">www.astrofx.com</a>		
Afb. 6.8	<a href="http://www.happy-art.ch">www.happy-art.ch</a>		
Afb. 6.9	<a href="http://www.od205sl.nl">www.od205sl.nl</a>		

Met natuurlijke of onnatuurlijke oorzaken, het blijft een feit dat het klimaat verandert. De gevolgen van deze klimaatverandering voor de stad worden steeds duidelijker. Piekbuien veroorzaken steeds vaker wateroverlast en hoge temperaturen veroorzaken in combinatie met het hitte eiland effect een zeer onaangename temperatuur in de stad. Men verwacht dat deze gevolgen van klimaatverandering alleen maar zullen intensiveren. Daarom moet de stad zich gaan aanpassen aan de klimaatverandering, ook wel adaptatie genoemd. Deze adaptatie moet de negatieve gevolgen van klimaatverandering voor de stad verzachten.

Bomen kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het wegnemen van deze overlast en ongemakken. Bomen leveren enorm veel baten. Hier is menig mens zich nog niet bewust van. Op het gebied van de klimaatproblematiek bieden bomen verkoeling en nemen bomen water op. De verkoeling verzorgt de boom door evapotranspiratie en schaduwwerking. Evapotranspiratie is kort gezegd het verdampen van vocht. Bij dit proces ontstaat een hogere luchtvochtigheid, die tot op zekere hoogte zorgt voor een koelere omgevingstemperatuur. De regen van de piekbuien is dus nodig om het andere probleem van hitte op te lossen. Twee vliegen in één klap dus. Door middel van selectiecriteria is een goed klimaatadaptief sortiment samen te stellen.

Naast het bomensortiment is de groeiplaats erg belangrijk. De groeiplaats is belangrijk om de boom te voorzien in zijn behoeften, zoals wortelruimte, zuurstof en vocht. Een boom kan nog zoveel baten bieden, in een slechte groeiplaats komt hier niets van terecht. Daarnaast kan de groeiplaats sterk bijdragen aan het klimaatadaptief maken van de stad, door middel van een waterbergende functie. Het water dat tijdens een piekbui valt wordt opgeslagen in de wateropslag van de groeiplaats. Door de grote opslagcapaciteit blijft het water ook beschikbaar voor de boom in drogere perioden, zodat het evapotranspiratieproces zich ten aller tijden kan voortzetten.

Een combinatie van klimaatadaptief bomensortiment en een klimaatadaptieve groeiplaatsinrichting draagt sterk bij aan het klimaatadaptief maken van onze steden. Naast de klimaatadaptieve baten leveren de bomen nog veel meer. Riolwaterzuiveringskosten kunnen sterk gereduceerd worden door bomen, horeca eigenaren kunnen profiteren van de schaduw en esthetische waarde van de boom en de boom is zelfs in staat om het aantal gezondheidsklachten te reduceren. Genoeg reden dus om vandaag nog te beginnen met het correct toepassen van klimaatadaptieve bomenoplossingen en onze steden leefbaar te houden voor nu en de toekomst!

