



Studiegebied Biotechniek  
Opleiding Agro- en biotechnologie  
Campus Sint-Niklaas

# Droogtestress

Bij bomen in de stad

Bachelorproef voorgelegd tot het behalen  
van het diploma van  
Bachelor in de Agro- en biotechnologie  
Afstudeerrichting Groenmanagement

Door:  
Seppe Bresseleers

Promotor:  
Wim Peeters

Co-promotor:  
Jos Schenk

Academiejaar 2019-2020

## **VOORWOORD**

Deze bachelorproef werd geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Agro-en biotechnologie, afstudeerrichting Groenmanagement.

Tijdens mijn opleiding is mijn interesse voor bomen meer en meer gegroeid. Het gaat om een fascinerende wereld van eeuwenoude organismen die op een ander tempo dan het onze leven. Geen verrassing dus dat deze bachelorproef uiteindelijk over dit onderwerp bleek te gaan.

Eerst en vooral wil ik Christian Ysenbaardt, Jos Schenk, Stijn Cuypers en iedereen van de Groendienst van de Stad Antwerpen waar ik mee in contact ben gekomen bedanken om mij te begeleiden tijdens een zeer interessante en leerrijke stage. Het is tenslotte uit die stage dat deze bachelorproef is voortgekomen.

Daarnaast wil ik graag mijn promotor Wim Peeters bedanken voor zijn hulp in de vorm van feedback en het aanraden van zeer interessante literatuur en ook mevrouw Heidi Arnouts voor de hulp bij het verwerken en interpreteren van de data uit het kleinschalige onderzoek dat ik uitvoerde.

Als laatste kan ik uiteraard mijn ouders niet vergeten. Zij hebben telkens de hersenspinsels die ik luidop kwijt moest met veel geduld aangehoord en mij steeds met goede raad bijgestaan.

## SAMENVATTING

Vanwege de toenemende klimaatverandering verwacht men drogere zomers met lange periodes van droogte, maar grote neerslagpieken. Deze tendens werd in de zomers van 2017, 2018 en 2019 al waargenomen en zal zich vermoedelijk in de toekomst herhalen. Deze droogte vormt een uitdaging voor het groenbeheer. Vooral in stedelijke omgeving, waar de omstandigheden minder dan optimaal zijn voor de bomen die worden aangeplant. Droogte heeft ernstige gevolgen voor bomen aangezien zij voor heel wat processen afhankelijk zijn van water. Langdurige droogte wordt vooral pas aangeplante bomen vaak fataal.

Dit probleem vraagt dus om een oplossing. Doorheen de verschillende groeifasen van een boom zijn hier verschillende oplossingen voor te vinden. Deze gaan van soortkeuze tot uitgebreide groeiplaatsconstructies om een boom in staat te stellen zijn volwaardige grootte te bereiken zonder droogtestress te ondervinden. Een belangrijk focuspunt van dit rapport is het uitvoeren van bodemverbetering bij de aanplant van een boom. Er wordt beschreven hoe dit wel degelijk een positief effect kan hebben op het water dat vastgehouden wordt door de bodem, maar ook waarom men hier toch voorzichtig mee moet omspringen.

# INHOUDSTAFEL

INLEIDING .....	5
<b>1 DOELSTELLINGEN.....</b>	<b>6</b>
<b>2 LITERATUURSTUDIE.....</b>	<b>7</b>
2.1 WAT IS 'DE STAD' .....	7
2.2 TOENEMENDE DROOGTE .....	7
2.3 AANPASSINGEN VAN BOMEN .....	8
2.4 EFFECT VAN DROOGTE.....	9
2.4.1 <i>Fotosynthese</i> .....	9
2.4.2 <i>Senescentie bladeren</i> .....	9
2.4.3 <i>Cavitatie en hydraulische efficiëntie</i> .....	10
2.4.4 <i>Kwetsbaar voor ziekten en plagen</i> .....	11
2.5 WATERBESCHIKBAARHEID .....	12
2.5.1 <i>Waterretentiecurve</i> .....	12
2.6 OMSTANDIGHEDEN IN DE STAD .....	13
2.6.1 <i>Temperatuur</i> .....	13
2.6.2 <i>Verharding en doorwortelbaar volume</i> .....	14
2.6.3 <i>Afname bodemstructuur</i> .....	15
2.7 OPLOSSINGEN .....	15
2.7.1 <i>Planten droogteresistente soorten</i> .....	16
2.7.2 <i>Watergift</i> .....	17
2.7.3 <i>Bodemverbetering</i> .....	20
2.7.4 <i>Mulchlaag</i> .....	22
2.7.5 <i>Groeiplaatsconstructies</i> .....	23
<b>3 MATERIAAL EN METHODEN PRAKTISCH ONDERZOEK.....</b>	<b>27</b>
3.1 PROEF 1.....	27
3.2 PROEF 2.....	28
<b>4 RESULTATEN.....</b>	<b>29</b>
4.1 PROEF 1.....	29
4.1.1 <i>Evolutie hoeveelheid water vastgehouden</i> .....	29
4.1.2 <i>Effect hoeveelheid water per mengsel</i> .....	31
4.1.3 <i>Water opgevangen</i> .....	33
4.2 PROEF 2.....	34
4.2.1 <i>Statistische analyse</i> .....	34
<b>5 DISCUSSIE.....</b>	<b>36</b>
5.1 PROEF 1.....	36
5.2 PROEF 2.....	36
5.3 TEKORTKOMINGEN .....	37
<b>BESLUIT.....</b>	<b>38</b>
<b>LIJST VAN TABELLEN EN FIGUREN .....</b>	<b>39</b>
<b>BRONNENLIJST.....</b>	<b>40</b>
<b>LIJST VAN BIJLAGEN .....</b>	<b>45</b>
BIJLAGE 1: TABEL DROOGTERESISTENTE SOORTEN.....	45

## INLEIDING

Deze bachelorproef is tot stand gekomen naar aanleiding van mijn eindstage bij de Groendienst van de Stad Antwerpen. Als groendienst in een stedelijke omgeving wordt deze sterk geconfronteerd met de droogtestress die bomen voornamelijk in de zomer ondervinden. Dit was de afgelopen jaren sterk voelbaar en zal in de toekomst vermoedelijk nog verder toenemen.

Deze scriptie is opgebouwd uit twee delen, namelijk: een literatuurstudie gevolgd door een praktisch onderzoek. In de literatuurstudie wordt beschreven welk effect droogte heeft op bomen en welke symptomen zij vertonen wanneer ze hieraan worden blootgesteld. Vervolgens wordt beschreven waarom bomen in een stedelijke omgeving juist zo vatbaar zijn voor droogtestress. Tenslotte worden een aantal mogelijke oplossingen besproken die de effecten van deze droogte kunnen verhelpen of voorkomen.

In het praktisch onderzoek van dit werk werd aan de hand van een gecontroleerde proefopstelling één van de mogelijke oplossingen verder uitgediept. Op basis van deze resultaten wordt een vergelijking gemaakt tussen een aantal commerciële bodemverbeteringsmiddelen die het vermogen van de bodem om water vast te houden zouden bevorderen.

# 1 DOELSTELLINGEN

Het doel van deze bachelorproef is om het onderwerp 'droogtestress bij bomen in de stad' uit te diepen zodat de Groendienst van de stad Antwerpen op een onderbouwde manier op deze problematiek kan reageren en hier beslissingen rond kan nemen. Er wordt besproken waarom droogtestress bij bomen in de stad een probleem vormt en welke oplossingen er mogelijk zijn voor dit probleem.

In het bijzonder worden de mogelijke oplossingen die bodemverbeteringsmiddelen kunnen bieden onderzocht. Naast de eerder genoemde zaken is een belangrijke doelstelling dan ook het evalueren van de bodemverbeteringsmiddelen die momenteel door de Groendienst van de stad Antwerpen worden toegepast. Hierbij wordt onderzocht wat het effect van deze middelen is op de totale hoeveelheid water die door de bodem wordt vastgehouden en het plantbeschikbaar water in de bodem.

## 2 LITERATUURSTUDIE

### 2.1 WAT IS 'DE STAD'

Als het gaat over droogtestress bij bomen in de stad is het belangrijk om af te bakenen wat 'de stad' juist inhoudt. Helaas valt het begrip stad de dag van vandaag zeer moeilijk strak te omlijnen. De duidelijk afgebakende Middeleeuwse stad die zich binnen de stadsmuren bevond is niet meer van toepassing. Door een opkomst van allerlei communicatie- en vervoersmogelijkheden is deze stad alsmear meer diffuus geworden. Het duidelijke centrum van de stad in de vorm van een plein, kerk of kasteel lijkt verloren en het begrip stad is misschien wel meer een proces van verstedelijking geworden (Bruggeman, de Kool, van Meeteren, & Sansen, 2016). Als het in dit werk gaat om 'de stad' zal het dan ook eerder gaan om een stedelijke omgeving waar een aantal eigenschappen aan gekoppeld worden. De mate waarin deze eigenschappen van toepassing zijn bepalen dan de 'stedelijkheid' van de omgeving.

Een eerste eigenschap is dat het groen in de stad een sterk kunstmatig karakter heeft. Dit in tegenstelling tot een meer natuurlijk landschap. Natuur wordt door landschapsecoloog Verscheeuw namelijk gedefinieerd als: "alles wat zichzelf ordent en handhaaft, al dan niet in aansluiting op menselijk handelen, maar niet volgens menselijke doelstellingen" (Schroevers, 1982). Vaak gaat dit kunstmatig karakter gepaard met intensief onderhoud. Een tweede eigenschap is dat de abiotische condities in de stad –meestal bewust- zeer sterk door de mens zijn beïnvloed. Bijvoorbeeld door de aanvoer van gebiedsvreemde materialen, de aanleg van straten en gebouwen enzovoort (Canters, Kalkhoven, Laan, & Van Dorp, 1999). Een laatste eigenschap is dat de openbare ruimte in de stad heel wat verschillende functies voor de mens vervult en vaak intensief wordt betreden (Mak, 2007).

### 2.2 TOENEMENDE DROOGTE

In 1976, 2011, 2017, 2018 en 2019 kenden we in Vlaanderen extreme droogte (AgriPress, 2019). Deze droogte is te wijden aan de lage waterbeschikbaarheid per inwoner in Vlaanderen en de toenemende klimaatverandering (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019). In vergelijking met de rest van Europa legt Vlaanderen een grote druk op zijn waterreserves. Door onze grote bevolkingsdichtheid en relatief beperkte hoeveelheid oppervlakte -en grondwater ligt de waterbeschikbaarheid per inwoner vrij laag. Zo bedroeg in 2007 het langjarig jaargemiddelde van de waterbeschikbaarheid slechts 834 m<sup>3</sup>/inw./jaar, terwijl men de term waterschaarste gebruikt vanaf een waterbeschikbaarheid die onder 1.000 m<sup>3</sup>/inw./jaar ligt. Dit betekent dus dat Vlaanderen en Brussel internationaal worden beschouwd als een regio met ernstig watertekort (Vlaamse Milieumaatschappij, 2008).

Deze lage waterbeschikbaarheid in combinatie met de toenemende klimaatverandering die wordt voorspeld (en op het vlak van toenemende temperatuur en verdamping reeds waarneembaar is) zorgt er voor dat onze waterreserves het zwaar te verduren krijgen. Omwille van deze klimaatverandering zal de temperatuur in de zomer toenemen. Deze toename in temperatuur zorgt voor meer verdamping. Daarnaast zal de hoeveelheid neerslag in de zomer afnemen. De hevige zomer-onweders zullen extremer worden, maar er zullen minder kleine regenbuien voorkomen. Tijdens deze onweders zal de kans op overstromingen toenemen, maar er zal een daling zijn in de totale neerslaghoeveelheden. Dit zorgt er bijvoorbeeld voor dat tijdens droge zomers onze laagste rivierdebieten met meer dan 50% zullen dalen. Een dergelijke daling in laagwaterafvoeren zal de kans op watertekorten sterk doen toenemen. Dit kan op zijn beurt nadelige gevolgen hebben voor de landbouw, het industrieel en huishoudelijk watergebruik, de diepgang voor de scheepvaart

enzovoort (Willems, 2019). Maar uiteraard ook op het bomenbestand in de stad, waar het in dit werk over gaat.

## 2.3 AANPASSINGEN VAN BOMEN

Water is essentieel voor de groei en het overleven van bomen. Alle biochemische processen die zich namelijk afspelen in de boom zijn afhankelijk van water (Mohren, 1993). Dit vinden we de dag van vandaag terug in het weefselvocht dat aanwezig is in de levende cellen. Alle landplanten, waaronder bomen, groeien in een relatief droog milieu in vergelijking met hun voorouders. Doorheen de geschiedenis hebben planten een hele evolutie doorlopen om zich aan te passen aan dit droge milieu en op deze manier het vasteland te koloniseren (Bruens, 2007). Bomen zoals wij ze kennen vormen weliswaar het summum van deze evolutie. Ze hebben dan ook een heleboel aanpassingen om waterverlies zo veel mogelijk te beperken en water efficiënt te verplaatsen.

De bladeren van bomen beschikken over een weinig doorlatend oppervlak dat de cuticula wordt genoemd. De functie van deze cuticula is om verdamping van water zo veel mogelijk te beperken. In het bladoppervlak bevinden zich stomata of huidmondjes. Deze stomata kunnen worden geopend of gesloten om het vochtverlies te reguleren (Mohren, 1993).

Bomen zijn ook in staat om in zekere mate de grootte en dikte van de bladeren te reguleren. Zo zijn schaduwbladeren doorgaans groter van oppervlakte en dunner dan bladeren die zijn blootgesteld aan de zon (Carpenter & Smith, 1981). Doordat bladeren die vaak blootgesteld worden aan de zon dikker zijn (een dikkere cuticula hebben) en een kleinere oppervlakte hebben, wordt wederom verdamping beperkt. Dit is eveneens een aanpassing van bomen om zo veel mogelijk water te behouden. Grotere en dunnere bladeren zijn interessant in beschaduwde koelere plaatsen omdat dit de fotosynthese maximaliseert. Kleinere dikkere bladeren zijn dan weer interessant in warme droge omstandigheden omdat deze makkelijker warmte verliezen en dus minder verdampen (Kleiman & Aarssen, 2007).

Dit fenomeen zien we duidelijk weerspiegeld in de kruin van een boom. De bladeren aan de buitenkant van de kruin zullen kleiner zijn en voorzien van een dikkere cuticula. De stomata van deze buitenste bladeren zullen bij heet en droog weer ook sneller worden gesloten om verdamping zo veel mogelijk te beperken. Wanneer de stomata worden gesloten zal ook de fotosynthese echter gestopt worden aangezien gasuitwisseling noodzakelijk is om aan fotosynthese te doen. De reden hiervoor komt in dit werk nog verder aan bod. Gelukkig zal de fotosynthese lager in de kruin, hoewel beperkt, wel nog kunnen doorgaan vanwege de schaduwbladeren die in de koelere schaduw van de bovenste bladeren dankzij hun aangepaste morfologische eigenschappen nog zo veel mogelijk zonlicht kunnen opvangen (Vogel, 2012).

Verder hebben bomen in vergelijking met de meeste andere landplanten een enorm uitgebreid wortelstelsel. En ook op vlak van dit wortelstelsel kunnen zij heel wat aanpassingen en strategieën vertonen om de opname van water (maar ook nutriënten) te maximaliseren. Zo kunnen zij in periodes van droogte toch nog zo veel mogelijk water opnemen. Bomen zullen voornamelijk hun haarwortelmasse vergroten om meer water en nutriënten te kunnen opnemen. Daarnaast zal een boom in een droge omgeving dikkere wortels produceren omdat deze minder gevoelig zijn voor droogte (Weemstra, Mommer, Goudzwaard, Mohren, & Sterck, 2018).



## 2.4 EFFECT VAN DROOGTE

### 2.4.1 Fotosynthese

Uit verschillende studies blijkt dat wanneer C3 -planten -de groep waar de meeste bomen toe behoren- droogtestress ondervinden de fotosynthese in de plant zal afnemen. Dit betekent voor de plant dat er minder biomassa geproduceerd kan worden en bijgevolg dat de groei zal afnemen. De afname in fotosynthese is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat er minder CO<sub>2</sub> wordt opgenomen. De plant zal bij droogte namelijk de luchtuitwisseling door de stomata in de bladeren beperken om minder water te verdampen. Wanneer deze stomata door de plant worden gesloten zal er minder CO<sub>2</sub> diffunderen naar de carboxylatiesites. CO<sub>2</sub> is echter een essentieel element dat tijdens de fotosynthese wordt omgezet in suikers. De carboxylatie van CO<sub>2</sub> vormt het begin van de Calvin cyclus, dit is het proces dat tijdens de fotosynthese suikers produceert. Zonder CO<sub>2</sub> kan deze cyclus niet plaatsvinden en worden er geen suikers door de plant geproduceerd (Ainsworth & Rogers, 2007).

Naast het feit dat fotosynthese zal afnemen door een gelimiteerde CO<sub>2</sub> concentratie zal ook het gebruik van elektronen voor de assimilatie van CO<sub>2</sub> tijdens de Calvin cyclus afnemen. Dit kan leiden tot een teveel aan elektronen wat resulteert in de binding van deze elektronen aan zuurstofmoleculen. Dit proces produceert reactieve zuurstofcomponenten zoals bijvoorbeeld het superoxide ion (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), waterstofperoxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en het hydroxideradicaal (OH<sup>·</sup>). Deze reactieve zuurstofcomponenten kunnen oxidatieve schade berokkenen aan organellen in de plantencel en zelfs leiden tot versnelde senescentie van de cel of necrose (het afsterven van de cel).

CO<sub>2</sub> limitatie wordt door veel auteurs gezien als de belangrijkste reden voor deze afname aan fotosynthese wanneer een plant droogtestress ondervindt. Verschillende auteurs suggereren echter dat er nog een andere reden is die misschien wel sterker bijdraagt aan dit fenomeen. Zij stellen dat metabolische achteruitgang dankzij een lagere bladwaterinhoud en een toegenomen concentratie aan ionen een grotere limiterende factor vormen dan het sluiten van de stomata (Flexas, Gallé, Galmés, Ribas-Carbo, & Medrano, 2012).

### 2.4.2 Senescentie bladeren

Bomen zullen bij extreme droogte senescentie van de bladeren vertonen. Hierbij zal de boom bepaalde nutriënten zoals N, P, K en Ca absorberen uit de bladeren. Senescentie van de bladeren is een gradueel proces waarbij aanvankelijk de turgordruk in het blad zal afnemen. Het blad gaat slap hangen. Vervolgens zal het blad verkleuren dankzij de degradatie van het chlorofyl. Hierna zal de bladrand verdrogen en als laatste laat de boom zijn bladeren, waaruit nutriënten terug werden geabsorbeerd, vallen (abscissie). Op deze manier zullen bomen verdere verdamping en verlies van water beperken. Daarnaast voorkomen ze nutriëntenverlies. Senescentie is op bijna dezelfde manier ook de oorzaak voor de karakteristieke verkleuring van de bladeren in de herfst (Munné-Bosch & Alegre, 2004).

Een studie naar de efficiëntie van deze strategie bij verschillende boomsoorten toonde aan dat, hoewel bij senescentie van de bladeren dankzij droogtestress een aanzienlijk deel van de nutriënten wordt geabsorbeerd dit proces minder effectief is dan wanneer het zich in de herfst voordoet. Men toonde aan dat afgevalen bladeren in de zomer in vergelijking met afgevalen bladeren in de herfst een hogere concentratie stikstof (0,68 vs 0,49%) en kalium (0,72 vs 0,40%) bevatten. Dit verschil werd niet waargenomen voor fosfor en calcium, maar toont dus wel aan dat de herabsorbtie van stikstof en kalium uit het blad in de zomer minder efficiënt verloopt. Een boom ondervindt dus wel degelijk een verlies wanneer de bladeren in de zomer worden afgeworpen (Marchin, Zeng, & Hoffmann, 2010).

Naast een verlies aan nutriënten veroorzaakt senescentie dankzij droogte ook een verlies aan groei. Het verlies van de bladeren betekent voor de boom namelijk dat hij minder aan fotosynthese kan doen. Dit zorgt voor een aanzienlijke afname in groei tijdens het groeiseizoen en kan op termijn een effect hebben op de vitaliteit (Chen, Wang, Xiong, Cao, & Deng, 2015).

### 2.4.3 Cavitatie en hydraulische efficiëntie

Een ander gevolg van droogte is het ontstaan van cavitatie in het xyleem. Cavitatie is het fenomeen waarbij de druk in een bewegende vloeistof onder de dampdruk van deze vloeistof zakt. Aangezien de druk onder de dampdruk van de vloeistof komt zal deze verdampen en een gasbel in de vloeistof vormen (Young, 1999).

Als er weinig water in de bodem beschikbaar is, maar een boom blijft verdampen zal de druk in de xyleemvaten zodanig zakken dat er cavitatie kan optreden. De opgeloste lucht in het sap zal dan verdampen en er ontstaan luchtbellens in het xyleemvat. Zo'n luchtbel vormt een onderbreking van de waterkolom. Er ontstaat feitelijk een embolie in het xyleem. Aangezien het transport van water doorheen de xyleemvaten in de boom afhankelijk is van cohesie tussen de watermoleculen zorgt een embolie er voor dat een transportvat niet meer functioneel is. De waterkolom is gebroken en er is dus geen cohesie meer tussen watermoleculen. Dit kan uiteindelijk leiden tot het afsterven van bladeren of takken en in extreme mate zelfs tot afsterven van de boom (A. A. Vilagrosa et al., 2012).

De ernstige gevolgen die cavitatie kan veroorzaken voor bomen tonen het belang van het transport van water doorheen de boom en de hydraulische efficiëntie hiervan. Veranderingen in de hydraulische architectuur kan ernstige gevolgen hebben voor alle noodzakelijke processen in een boom. In het algemeen ziet men dat planten die leven in omstandigheden waarbij water beperkt toegankelijk is aanpassingen vertonen op het vlak van deze hydraulische architectuur. Zij vertonen een grotere hydraulische geleiding zodat water gemakkelijker terecht kan komen bij de bladeren.

De aanvoer van water is, zoals al eerder duidelijk werd, essentieel voor de fixatie van CO<sub>2</sub> en de gasuitwisseling. Men ziet dan ook indicatie voor een verband tussen de hydraulische geleiding van water doorheen het xyleem en de maximale stomatale geleidbaarheid. Waarbij soorten met een lagere hydraulische geleiding ook een lagere stomatale luchtuitwisseling vertonen (A. Vilagrosa et al., 2012).

Een zeer belangrijk aspect van deze hydraulische geleiding is uiteraard het wortelgestel. De wortels van een boom maken namelijk ook deel uit van dit hydraulische netwerk waarlangs water van de bodem naar de bladeren wordt verplaatst. Een studie toonde aan dat zaailingen die een sterke, naar beneden groeiende penwortel vormden hiermee al snel diepere bodemhorizonten konden bereiken en een betere hydraulische efficiëntie vertoonden. Deze morfologische eigenschappen droegen bij aan een betere conditie van de zaailingen in omstandigheden waarin water beperkt is en dus ook een grotere stomatale gasuitwisseling (meer fotosynthese) (Chirino, Vilagrosa, Hernández, Matos, & Vallejo, 2008; A. Vilagrosa et al., 2012). Spijtig genoeg worden bomen op de boomkwekerij regelmatig ondersneden waarbij zij dus hun penwortel verliezen. Het plantgoed dat in stedelijke omgeving wordt aangeplant heeft dus meestal (bijna) geen penwortel (Spriensma & Ravesloot, 1999). Dit heeft een effect op de hydraulische geleiding van water in een boom en maakt het voor aangeplante bomen extra moeilijk in droge periodes. Het ondersnijden verstoort namelijk de apicale dominantie van de wortels en heeft een negatief effect op hun ontwikkelingspotentieel en op de onderlinge differentiatie van functionele en morfologische eigenschappen. De natuurlijke architectuur van het wortelgestel wordt verstoord waardoor de verschillende wortels hun taak minder goed kunnen volbrengen. Er zijn bijvoorbeeld flexibele 'zoekwortels' of stevige gestelwortels die verschillende kenmerken vertonen en elk hun eigen functie hebben (Atger, 2011).

#### 2.4.4 Kwetsbaar voor ziekten en plagen

Wanneer bomen droogtestress ondervinden worden ze kwetsbaar en een makkelijker doelwit voor de zogenaamde secundaire plaaginsecten. Deze secundaire plaaginsecten leven -in tegenstelling tot primaire plaaginsecten- op verzwakte bomen. De zwakteparasieten hebben vaak ernstige gevolgen voor de boom. Het gaat om inborende soorten zoals prachtkevers, bastkevers en boktorren die directe boomsterfte kunnen veroorzaken. In tegenstelling tot gezonde bomen zijn verzwakte bomen niet in staat om zich met harsdruk of callusvorming te verweren en vormen ze dus een makkelijk slachtoffer (Moraal, 2009).

Indien een groot aanbod aan verzwakte bomen van eenzelfde soort (en dus een groot aanbod aan geschikt broedhout) aanwezig is, kan de populatie van secundaire plaaginsecten zo oplopen dat niet alleen de zwakke, maar ook vitale bomen worden aangetast. Op deze manier kunnen soorten zoals de beruchte letterzetter (*Ips typographus*) hevig huishouden. Dit is een bastkever die broedgangen maakt in de bast van verzwakte of gevelde fijnsparren (Moraal, 1996). Om te voorkomen dat ziekten en aantastingen een te groot effect hebben loont het om bij nieuwe beplantingen te streven naar diversiteit. Een bomenbestand dat grotendeels bestaat uit eenzelfde boomsoort vormt een risico voor het optreden van grootschalige boomsterfte door ziekten of plagen (Hiemstra & van der Sluis, 2009).

Een voorbeeld van een boomziekte die zich voordoet bij droogte en niet alleen een probleem kan vormen voor bomen, maar ook voor de volksgezondheid is de zogenaamde roetschorsziekte (*Cryptostroma corticale*). Deze schimmel die bijna altijd latent aanwezig is bij verschillende esdoornsoorten vormt doorgaans geen probleem. Door een combinatie van hitte en droogte kan de schimmel echter agressief worden wanneer de boom verzwakt is. Dit is voor de boom zeer schadelijk en zal uiteindelijk vaak leiden tot zijn dood. De schimmel zal uiteindelijk zwartgrijze sporen vormen onder de schors van de boom die na verloop van tijd ook zichtbaar worden aan de buitenkant van de bast. Het zijn deze sporen waar de ziekte zijn naam aan heeft te danken en het zijn ook deze sporen die een gevaar kunnen vormen voor de gezondheid van de mens (de Goederen, 2014).

Wanneer de sporen van *Cryptostroma corticale* door de mens worden ingeademd kunnen zij een extrinsieke allergische alveolitis (EAA) veroorzaken. Dit is een ontsteking van de longblaasjes die veroorzaakt wordt door een allergische reactie. De ziekte doet zich voor na herhaaldelijke inademing van de sporen en veroorzaakt klachten van de luchtwegen, koorts en griepachtige verschijnselen in de acute vorm. Deze acute aantasting geneest meestal volledig na beëindiging van de blootstellingen. Wanneer men over een lange tijd in contact is gekomen met de sporen (maanden tot jaren) kan een chronische vorm optreden waarbij littekenvorming op het longweefsel ontstaat. Dit resulteert dan in een verminderde longfunctie.

Roetschorsziekte begint pas de laatste jaren de kop op te steken in België en Nederland, vermoedelijk door de toegenomen droge en hete zomers van de laatste jaren (Verkooijen & Willems, 2016). Volgens het antwoord op een schriftelijke vraag aan het Vlaams parlement ontving het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) de eerste melding van roetschorsziekte in 2016. In 2018 en 2019 volgden in totaal nog 16 waarnemingen in Vlaanderen (Demir, 2019).

## 2.5 WATERBESCHIKBAARHEID

De beschikbaarheid van water voor bomen in de bodem wordt sterk bepaald door het beschikbare poriënvolume en door de grootte van de poriën in de bodem. Men maakt binnen deze poriën onderscheid tussen drie groottecategorieën:

- Grote poriën (macroporiën), diameter:  $> 10 \mu$ ;
- Matige poriën, diameter:  $0,2-10 \mu$ ;
- Kleine poriën, diameter:  $< 0,2 \mu$ .

Bij een verzadigde bodem zullen al deze beschikbare poriën gevuld zijn met water. Doorgaans zijn de macroporiën echter grotendeels gevuld met lucht aangezien zij het water moeilijk kunnen ophouden. De matige en kleine poriën houden dan weer wel gemakkelijk water op en zullen alleen lucht bevatten als de grond grotendeels is uitgedroogd.

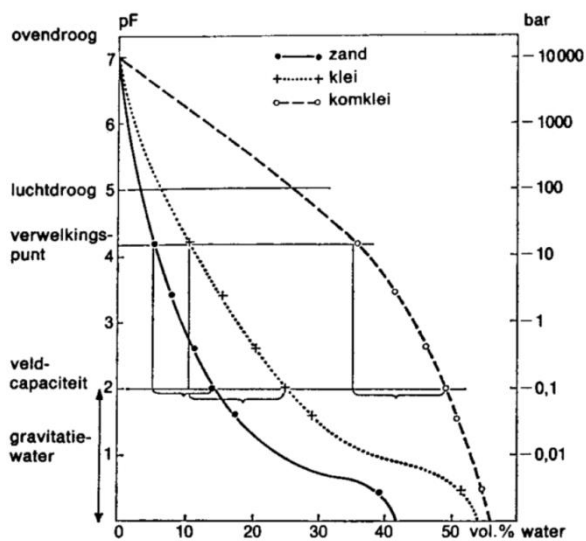
Wanneer onder invloed van de zwaartekracht water uit een grondlaag sijpelt wordt na verloop van tijd een evenwicht bereikt. Dit evenwicht ontstaat wanneer de zuigkracht voor het water van de matige en kleine poriën groter is dan de zwaartekracht. Bij dit evenwicht zullen de grote poriën gevuld zijn met lucht, maar de matige en kleine poriën zijn gevuld met water. Deze evenwichtstoestand noemt men de veldcapaciteit.

Niet al het water dat in de bodem zit is echter beschikbaar voor planten. Een plant moet namelijk een zekere zuigkracht uitoefenen om water op te nemen. Als het water in de kleinste poriën zo sterk gebonden is dat de plant niet in staat is om met zijn zuigkracht water op te nemen is het uiteraard niet meer beschikbaar voor de plant. Er wordt algemeen aangenomen dat de maximale zuigkracht van de meeste planten nagenoeg 16 bar bedraagt. Water dat dus zodanig sterk gebonden is dat het niet meer met een zuigkracht van deze 16 bar kan worden opgezogen is niet beschikbaar voor de plant. Dit is het zogenaamde 'dode' water. Wanneer de bodem enkel nog dood water bevat spreekt men van het verwelkingspunt. Planten zullen namelijk verwelken bij gebrek aan beschikbaar water (Heremans, 2019).

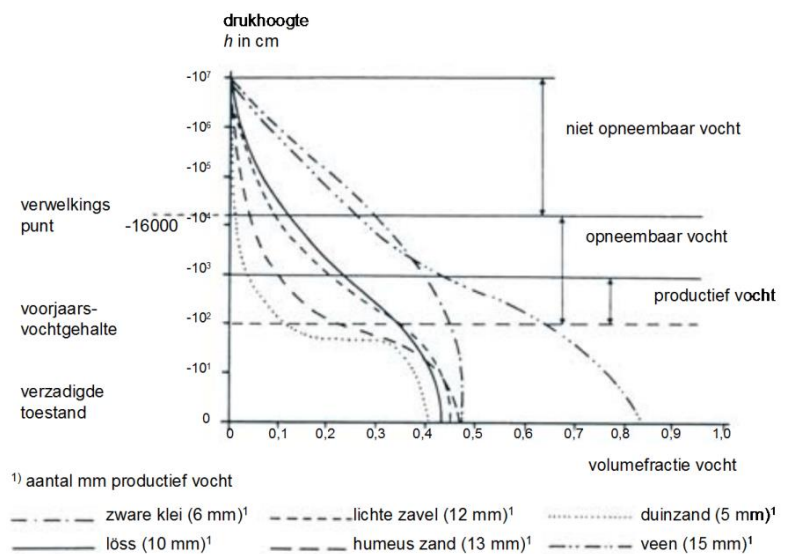
### 2.5.1 Waterretentiecurve

De energietoestand van het bodemvocht bepaalt uiteindelijk hoe sterk het water zal gebonden zijn in de poriën. Deze energietoestand wordt uitgedrukt in drukhoogte  $h$  (in  $\text{cm H}_2\text{O}$ ) of in de logaritmische eenheid  $pF$  (een drukhoogte van  $h = -10^7 \text{ cm}$  komt overeen met  $pF = 7$ ). Deze eenheid wordt in de bodemkunde en de biologie vaak gebruikt om de zuigspanning van de bodem uit te drukken omdat de drukhoogte in  $h$  zeer hoog kan oplopen. Op den duur is het dan niet altijd praktisch om met dergelijke hoge waarden te werken. Het eerder genoemde verwelkingspunt ligt op  $4,2 pF$ .

Wanneer men het verband tussen de zuigspanning en het vochtpercentage in de grond weergeeft bekomen we de zogenaamde waterretentie – of  $pF$ -curve. Op deze curve kan men duidelijk het beschikbare water voor de plant af lezen door het verschil te nemen tussen de waterinhoud bij veldcapaciteit en de waterinhoud bij het verwelkingspunt. In de twee onderstaande figuren wordt een voorbeeld van een waterretentiecurve weergegeven. Eén waarbij de zuigspanning wordt uitgedrukt in  $pF$  en één waarbij de zuigspanning wordt uitgedrukt in drukhoogte in  $\text{cm}$  (Heremans, 2019; Rummelink et al., 2019)



Figuur 1: Waterretentiecurve, zuigspanning uitgedrukt in pF (Heremans, 2019)



Figuur 2: Waterretentiecurve, zuigspanning uitgedrukt in drukhoogte (cm) (Remmelink, van Middelkoop, Ouweltjes, & Wemmenhove, 2019)

## 2.6 OMSTANDIGHEDEN IN DE STAD

In een stedelijke omgeving zijn de groeiomstandigheden voor bomen helemaal anders dan op het platteland of in een natuurlijke omgeving. De temperatuur ligt niet alleen hoger dankzij het zogenaamde "Urban Heat-Island Effect". De luchtvochtigheid ligt lager en vooral de bodem is droger omdat regen niet kan infiltreren dankzij de hoge verhardingsgraad. In dit deel wordt dieper ingegaan op alle factoren die het voor bomen in de stad nog moeilijker maken om met droogte om te gaan (Hoffman, 2011).

### 2.6.1 Temperatuur

De temperatuur in de stad zal hoger liggen dan in het omliggende landelijk gebied dankzij het stedelijk hitte-eilandeffect (urban heat island). Dit verschijnsel is het grootst bij grote steden met veel verharding, maar is ook al waargenomen in kleinere steden en dorpen. Het temperatuurverschil tussen de stad en het landelijk gebied bedraagt doorgaans een paar graden, met uitschieters tot wel 8 of zelfs 12 °C. Er zijn verschillende oorzaken voor dit effect. Ten eerste weerkaatst het versteende oppervlak van wegen, gebouwen enzovoort relatief weinig zonlicht. Daardoor zal dit oppervlak meer straling absorberen die dan vervolgens weer wordt afgegeven in de vorm van warmte. Daarnaast is er in de stad minder vegetatie aanwezig die de omgeving zal afkoelen doormiddel van schaduw en verdamping. Verder draagt alle menselijke activiteit zoals industrie, verkeer en huishoudens die energie gebruiken en op deze manier warmte produceren ook bij aan het stedelijk hitte-eilandeffect (Boezeman, Donkers, & Vijfeijken, 2018).

Doordat de temperatuur in de stad hoger ligt dan in het omliggende gebied zal ook de verzadigingsluchtvochtigheid hoger liggen. De lucht in de stad zal dus meer waterdamp kunnen bevatten. Deze waterdamp wordt aangevuld door verdamping vanuit de bodem of van de vegetatie. Doordat er in de stad dus een hogere temperatuur heerst wordt droogte verder in de hand gewerkt (Heremans, 2016).

Verder zullen bomen tijdens een periode van droogte proberen de verdamping te beperken. Dit gebeurt op verschillende manieren die eerder in dit werk al werden aangehaald. Een zeer belangrijke manier is het sluiten van de stomata. Hierdoor zal echter ook het vermogen van de boom om de bladeren af te koelen doormiddel van verdamping afnemen. Dit kan leiden tot een verhoogde bladtemperatuur, vooral als de omgevingstemperatuur hoog ligt. Een bladtemperatuur van meer dan 40 °C kan, afhankelijk van de plantensoort, permanente schade veroorzaken aan de organellen die instaan voor de fotosynthese (Gallé & Feller, 2007).

### 2.6.2 Verharding en doorwortelbaar volume

In Vlaanderen is naar schatting op basis van gegevens uit 2015 maar liefst 16% van het totale oppervlak verhard. Deze verharding bestaat voornamelijk uit gebouwen, wegen en parkeerterreinen. Deze verhardingsgraad ligt nog eens een stuk hoger in en rond de grootsteden. In Antwerpen bedraagt deze zelfs 44%. Dankzij deze zeer grote verhardingsgraad is de bodem niet meer in staat om zijn functies te vervullen. De infiltratiecapaciteit neemt af waardoor de bodem minder goed water kan opnemen en de grondwatervoorraden niet worden aangevuld (Agentschap Informatie Vlaanderen, 2015).

Mede vanwege deze hoge verhardingsgraad en de vele functies die de ruimte in de stad moet vervullen zijn bomen meestal de dupe. Ze worden in kleine plantvakken gepropt vaak omringd door kabels en leidingen. Allemaal zaken die ervoor zorgen dat er slechts een beperkt doorwortelbaar bodemvolume beschikbaar is (Verbart, 2004; Voeten & Van Etten, 2014)

Dit doorwortelbaar bodemvolume is echter van zeer groot belang als het gaat om de vochtvoorziening van de boom. Op veel plaatsen in de stad komt tijdens de groei na verloop van tijd de watervoorziening van een boom in het gedrang doordat hij niet beschikt over voldoende doorwortelbaar bodemvolume. Dit zal dan de vitaliteit van de boom en de boomgroei beperken.

Deze vochtvoorziening is van zo'n groot belang dat de meest bepalende factor voor het bepalen van het benodigd doorwortelbaar bodemvolume van een boom de beschikbaarheid van water is. Hiervoor zijn twee mogelijke situaties.

- Grondwaterprofiel: Wanneer men spreekt van een grondwaterprofiel is de grondwatertafel bereikbaar en beschikbaar voor de boom tijdens het groeiseizoen. Bij een grondwaterprofiel wordt het water dat door de boom wordt opgenomen telkens aangevuld door capillaire opstijging vanuit het grondwater de grootte van deze capillaire opstijging is afhankelijk van de grondsoort. De gemiddelde laagste grondwaterstand zal in deze situatie maximaal tussen 1 en 1,3 meter onder het maaiveld liggen.
- Hangwaterprofiel: Bij een hangwaterprofiel heeft de grondwatertafel geen effect op de vochtvoorziening van de boom. De boom is dan aangewezen op de beschikbare watervoorraad in de bodem en het neerslagwater dat infiltreert. In een verstedelijkte omgeving is er vaak sprake van een hangwaterprofiel omwille van de lage grondwaterstand die later in dit werk nog besproken zal worden.
- Contactprofiel: Men spreekt van een contactprofiel indien de grondwatertafel gedurende een deel van het groeiseizoen wel beschikbaar is voor de boom, maar in een droge periode ter laag wegzakt. Wanneer ze lager gelegen is, is ze niet meer beschikbaar voor de boom. De situatie is in deze droge periode dan vergelijkbaar met die van een hangwaterprofiel.

Het vereiste bodemvolume zal voor een boom op een hangwaterprofiel veel groter zijn dan voor een boom op een grondwaterprofiel. Het feit dat bomen in stedelijke omgeving vaak op een

hangwaterprofiel staan en dat zij vaak slechts beschikken over een klein doorwortelbaar bodemvolume is dus problematisch. Voornamelijk voor de vitaliteit van de bomen, hun vermogen om droogte te verdragen en uit te groeien tot hun volwassen grootte.

Waar mogelijk kan men proberen om de grondwatertafel bereikbaar te maken door ondoordringbare lagen te doorbreken en verticale kokers in te brengen waar boomwortels wel doorheen kunnen groeien. Het doorbreken van een ondoordringbare laag zal enkel effect hebben wanneer er sprake is van een grondwaterprofiel. Wanneer dit niet het geval is zal namelijk ook na het doorbreken van een ondoordringbare laag de grondwatertafel niet beschikbaar worden (Joye et al., 2008).

### **2.6.3 Afname bodemstructuur**

#### **a Verdichting van de bodem**

Door verkeersdruk en betreding raakt de bodem in de stad als maar meer verdicht (Kaljee, 2015). Deze bodemverdichting in de boven- en ondergrond reduceert het volume van de macroporiën en de verbondenheid tussen de poriën. Dit zorgt voor een daling van de infiltratiecapaciteit. Deze infiltratiecapaciteit wordt namelijk bepaald door de doorlatendheid van de bovengrond en de lagen die zich in de ondergrond bevinden. Een lagere infiltratiecapaciteit doet de kans op verdroging toenemen aangezien er minder water zal doordringen in de bodem. Daarnaast zal bij hevige regen meer water stagneren en afstromen. Dit kan erosie veroorzaken (van der Bolt et al., 2016).

Naast een lagere infiltratiecapaciteit zorgt bodemverdichting er ook voor dat het water minder beschikbaar wordt voor de bomen. Het zijn namelijk, zoals al eerder vermeld werd, de grote en matige capillaire poriën in de bodem die het plantbeschikbaar water vasthouden. Een verdichte bodem heeft minder van deze waterbergingsporiën en meer microporiën die niet-plantbeschikbaar water bevatten. Het water dat de bodem nog zal bevatten is dus niet meer beschikbaar voor de bomen. Op deze manier daalt de waterbergingscapaciteit van de bodem en worden bomen meer neerslagafhankelijk en gevoelig voor droogte (De Vos, 2005).

Verder zal door verdichting van de bodem de mechanische indringingsweerstand of penetratieweerstand toenemen. Dit is de benaming voor de weerstand die wortels moeten overwinnen om te kunnen groeien doorheen de bodem. Een hoge penetratieweerstand heeft een negatief effect op de wortels van de boom en zal leiden tot een oppervlakkig wortelstelsel. Dit oppervlakkige wortelstel zorgt op zijn beurt weer voor een verminderde opname van water en voedingsstoffen wat de boom kwetsbaarder maakt voor droogte (Shah et al., 2017; van der Bolt et al., 2016).

#### **b Vermenging van de bodem**

Een andere oorzaak voor de verstoorde bodemstructuur die vaak voorkomt in de stad is het vermengen of verplaatsen van de bodem. Door intensieve graafactiviteiten wordt de originele gelaagdheid van de bodem gewijzigd. Bodempartikels worden herverdeeld en kleinere partikels kunnen verplaatsen. Deze kleinere partikels vullen dan de ruimte tussen grotere partikels waardoor het poriënvolume kleiner wordt (Hawver & Bassuk, 2007).

## **2.7 OPLOSSINGEN**

In dit hoofdstuk worden een aantal mogelijke oplossingen besproken die kunnen toegepast worden om droogtestress bij bomen zo veel mogelijk te beperken. Op deze manier kunnen de negatieve

effecten van droogte op de conditie van stadsbomen vermeden worden. De conditie van bomen is uiteraard zeer belangrijk voor het voeren van een duurzaam boombeheer.

Als het gaat over oplossingen voor droogtestress moet er echter een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen droogtestress bij nieuw aangeplante bomen en droogtestress bij gevestigde bomen. Nieuw aangeplante bomen ondervinden een plantschok aangezien zij tijdens het verplanten een groot deel van hun wortelgestel verliezen. In extreme gevallen houden zij zelfs slechts 10% van hun wortelgestel over (Schuring & Das, 1998). De aangeplante bomen zullen zeer snel droogtestress vertonen en hebben dus een bepaalde nazorg nodig om een goede aanslag te verzekeren (Norminstituut Bomen, 2018). Bij gevestigde bomen zou er in een ideale situatie geen droogtestress mogen plaatsvinden. Zij zouden moeten beschikken over een uitgebreid gevestigd wortelgestel waarmee ze water kunnen opnemen. Droogtestress is in deze situatie doorgaans te wijten aan de groeiplaats of een extreem klimaat. De mogelijke oplossingen worden hieronder besproken in de volgorde waarop ze doorheen de groei van een boom toegepast zouden worden.

### 2.7.1 Planten droogteresistente soorten

Om droogtestress tegen te gaan kan eerst en vooral stilgestaan worden bij de soortkeuze. Als het gaat om boombeheer is duurzaamheid een zeer belangrijke factor. Een duurzaam boombeheer is gericht op het in stand houden van de gewenste bomen op een zo hoog mogelijk kwaliteitsniveau. Deze doelstelling is enkel mogelijk als men bij de soortkeuze van deze gewenste boom rekening houdt met de groeiplaatskwaliteit en groeiplaatsgeschiktheid. Duurzaam boombeheer is dus een kwestie van de juiste boom op de juiste plaats zetten (Joye et al., 2008).

Bomen vervullen in de stad verschillende functies. Ze vangen fijn stof, spelen een rol bij een betere waterberging van de stad, hebben een verkoelende werking in de zomer, ze geven de stad een groen karakter, esthetisch uitzicht en nog heel wat andere zaken. Bomen hebben uiteraard ook een ecologische functie. Ze vormen een schuilplaats en habitat voor heel wat vogels, insecten en andere organismen. Om deze ecologische functie te maximaliseren zijn inheemse boomsoorten het meest geschikt. Heel wat zeldzame, inheemse fauna is exclusief afhankelijk van de aanwezigheid van inheemse bomen.

Spijtig genoeg zijn de omstandigheden in de stad vaak niet meer geschikt voor deze inheemse soorten. Deze omstandigheden in stedelijke omgeving werden al eerder in dit werk aangehaald. Door de verhoogde temperatuur, aanwezigheid van verharding, de op veel plaatsen verdichte bodem en de droogte, die door al deze factoren nog eens verder in de hand wordt gewerkt, gaat het om groeiplaatsomstandigheden die sterk verschillen van de ecologische omstandigheden zoals ze in België in de natuur voorkomen. Vanuit het opzicht van een duurzaam boombeheer moet dan gekozen worden voor boomsoorten die wel geschikt zijn en kunnen gedijen onder deze stedelijke omstandigheden. Het zal in dit geval vaak gaan om uitheemse soorten die bijvoorbeeld beter zijn aangepast aan droogte dan onze inheemse boomsoorten. Deze uitheemse soorten vervullen een aantal van de eerder genoemde functies die bomen in de stad moeten vervullen even goed als onze uitheemse soorten. Waar mogelijk kan men uiteraard nog de voorkeur geven aan inheemse soorten zodat ook de ecologische functie in de stad wordt vervuld. Maar uitheemse soorten zijn nu eenmaal niet weg te denken als men in de stad een bomenbestand wilt krijgen dat opgewassen is tegen de droogte die zich deze dagen voordoet en vermoedelijk in de toekomst nog verder zal toenemen (Hoffman, 2011).

Naar aanleiding van de veranderende klimaatsituatie werd door prof. Andreas Roloff van het 'Institute of Forest Botany and Forest Zoology' van de Universiteit van Dresden een inschatting gemaakt of zij bruikbaar zijn als stads- en parkboom. Dit gebeurde op basis van de droogteresistentie en winterhardheid voor verschillende boomsoorten aan de hand van de zogenaamde



klimaatsoortenmatrix (KLAM). De inschatting geeft een beeld van de bruikbaarheid onder de verwachte veranderde klimaatomstandigheden.

Voor de inschatting werd elke categorie in 4 klassen opgedeeld. Dit resulteerde uiteindelijk in 16 mogelijke klassen van 1.1 tot 4.4. De bomen in 1.1 zijn het meest winterhard en droogteresistent, die uit 4.4 het minste. Een opmerking hierbij is wel dat deze matrix werd opgesteld voor Duitsland. De winterhardheid verschilt dus van die in België en Nederland. België en Nederland hebben in de winter een minimumtemperatuur tussen -12 °C en -7 °C, terwijl Duitsland voor het grootste deel een minimumtemperatuur van -23 °C tot -18 °C heeft. Bepaalde delen van Duitsland zijn iets warmer en hebben een minimumtemperatuur tussen -18 °C tot -12 °C.

winterhardheid →	.1	.2	.3	.4
droogteresistentie				
1.	1.1	1.2	1.3	1.4
2.	2.1	2.2	2.3	2.4
3.	3.1	3.2	3.3	3.4
4.	4.1	4.2	4.3	4.4

**Figuur 3: Klimaatsoortenmatrix opgesteld door Roloff (Roloff, Bonn, & Gillner, 2008)**

Op basis van deze matrix werden vervolgens 230 soorten geëvalueerd en heeft men een volledige lijst samengesteld met soorten die toegepast kunnen worden als straatboom in Duitsland onder veranderende klimaatomstandigheden. Enkele interessante soorten die hier bijvoorbeeld uit voortkwamen zijn uitheems zoals *Celtis*, *Zelkova*, *Eucommia*, *Ostrya*, *Morus* en *Broussonetia*. Maar er komen ook inheemse soorten in voor zoals bijvoorbeeld *Acer campestre*, *Fraxinus excelsior* en *Carpinus betulus* (Hiemstra & van der Sluis, 2009). De toepasbare soorten in Duitsland zullen vermoedelijk ook interessant zijn om toe te passen in bijvoorbeeld België en Nederland.

Het planten van zogenaamde 'klimaatbomen' blijft echter een omstreden kwestie. Zo schreef Jitze Kopinga, bomenspecialist en onderzoeker van de Wageningen Universiteit, in 2018 nog dat de bomen uit warmere gebieden die als klimaatboom worden aangeplant vaak juist droogtetolerant zijn op de plaatsen waar zij voorkomen dankzij hun uitgebreid wortelgestel in verhouding tot hun verdampende bladmassa. Dergelijke soorten zijn dus niet aangewezen in een stedelijke omgeving waar de ruimte voor wortels beperkt is. Kopinga maant dus aan om voorzichtig om te gaan met het op grote schaal aanplanten van nieuwe of onbekende soorten en bijvoorbeeld te kiezen voor genotypen van bekende inheemse soorten die voorkomen in warmere gebieden zoals de zomereik, beuk en winterlinde (Kopinga, 2018).

### 2.7.2 Watergift

Water geven is een essentieel onderdeel van de nazorg bij aangeplante of verplante bomen. Dit onderdeel wordt alleen maar belangrijker dankzij de toenemende droogte (Norminstituut Bomen,

2018). Er zijn verschillende methodes van watergeven die kunnen worden toegepast door groenbeheerders in de stad. Elke methode heeft zo zijn voor- en nadelen. Een opmerking die kan gemaakt worden bij onderstaande voorbeelden is dat het vaak gaat om praktische, commerciële producten waar meestal weinig onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek voor is uitgevoerd.

### a Drainagebuizen

Een drainagebuis wordt rond de bovenste helft van de kluit geplaatst. Ze wordt gebruikt om water rond de stamvoet te verspreiden door rechtstreeks in de buis water te geven. Drainagebuizen zijn onopvallend en zorgen voor een gelijkmatige verdeling van water rondom de stamvoet. De hoeveelheid water die kan worden gegeven is echter beperkt. Indien de buis volledig gevuld is loopt het water boven aan de buis weg. Deze capaciteit is volledig afhankelijk van de lengte en diameter van de gebruikte buis (Brouwers, 2020). Nog een nadeel van drainagebuizen is dat ze makkelijk verstopt raken door bijvoorbeeld bladeren, grond of afval. Om dit te voorkomen kan men een deksel op het uiteinde plaatsen. Het verwijderen hiervan vormt echter een extra handeling tijdens het water geven. Het is bij het plaatsen van een drainagebuis zeer belangrijk dat de buis wel degelijk rond de bovenste helft van de kluit wordt geplaatst en niet onder de kluit komt te liggen. Wanneer de buis namelijk onder de kluit komt liggen zal het water te diep worden toegediend terwijl de kluit niet voldoende water krijgt (Joye et al., 2008).



Figuur 4: Afbeelding van drainagebuis (Brouwers, 2020)

### b Grondwalletjes en gietranden

Om meer water vast te houden kan men zogenaamde grondwalletjes maken rond de stamvoet van nieuw aangeplante bomen. De bedoeling is om met deze grondwalletjes als het ware een reservoir te vormen aan de stamvoet dat gevuld kan worden met water. Het water zal dan geleidelijk aan infiltreren in de bodem. Omdat dergelijke grondwalletjes echter gevoelig zijn voor erosie en maaierwerkzaamheden zijn ze eerder kwetsbaar. Om deze reden kiest men vaak voor kunststof gietranden. Dergelijke gietranden bestaan als het ware uit een soort kunststof ringen die rond de stamvoet worden aangebracht.



Figuur 5: Afbeelding van kunststof gietrand (Brouwers, 2020)

Vervolgens werken zij volgens hetzelfde concept als de grondwalletjes. Er wordt een reservoir gecreëerd waarin men water kan gieten. Dit water wordt dan tijdelijk vastgehouden en infiltreert geleidelijk aan ter hoogte van de stamvoet. Op deze manier wordt water voorzien aan de kluit waar het tenslotte noodzakelijk is. Er kan zo een grote hoeveelheid water toegediend worden. Daarnaast bieden gietranden ook enige bescherming tegen maaischade en strooizout in de winter. Ook hier is het echter belangrijk dat het hulpmiddel correct wordt geplaatst. De randen moeten diep genoeg worden geduwd (minstens 10 cm) zodat water niet onder de rand door zal ontsnappen (Brouwers, 2020).

### c Druppelzakken

Nog een andere manier om water te voorzien rechtstreeks aan de stamvoet is het werken met druppelzakken. Hierbij wordt een soort zak rond de stam van een jong aangeplante boom aangebracht door die bovenaan vast te ritsen. De zak kan vervolgens met water gevuld worden. Dit water zal dan druppelsgewijs afgegeven worden aan de bodem. Dergelijke zakken zijn onder verschillende commerciële namen te verkrijgen zoals bijvoorbeeld de Treegator of AquaBag. Volgens informatie van verdelers van het product zouden de zakken één à twee keer per week gevuld moeten worden met water om zowel boom als heester van voldoende water te voorzien (Boomzorg, 2020; Greenmax, 2020a).



Figuur 6: Afbeelding van druppelzak (Greenmax, 2020a)

Een aandachtspunt bij deze manier van irrigeren is de mogelijkheid tot vandalisme. Dit is eveneens van toepassing voor gietranden, maar dergelijke waterzakken trekken snel het oog. Vandalisme is al jaar en dag een veel voorkomend probleem binnen groenbeheer in een stedelijke omgeving. Om herstellkosten te beperken is dit een factor waar rekening mee moet gehouden worden (Tritsmans, 2016).

### d Irrigatiemat

Een irrigatiemat bestaat uit een water absorberend materiaal dat water lang zou vasthouden. Het product wordt in de Verenigde Staten verkocht onder de gepatenteerde naam TreeDiaper®. Dit product van het bedrijf Zynnovation LLC wist verschillende prijzen te winnen zoals de 'Cool Products award 2019' op een landschapsshow in Florida en de 'Best new product award 2018' onder de categorie Specialiteit Landschap van de Amerikaanse Irrigatie Associatie. De mat die gevuld is met een zeer sterk absorberend polymeer is beschikbaar in verschillende afmetingen waarbij de grootste afmeting (diameter 91,44 cm) volgens productspecificaties tot wel 56, 78 liter water kan bevatten (Earthmark, 2020).

De mat wordt bevestigd aan de stamvoet van een aangeplante boom en kan eventueel bedekt worden met een mulchlaag om vandalisme te ontmoedigen. De mat zal zowel water opnemen wanneer water wordt gegeven als tijdens een regenbui. Volgens enkele case studies zou de Treediaper® de vochtigheidsgraad van de onderliggende bodem aanzienlijk verhogen, inboet van bomen beperken in vergelijking met druppelzakken en de bodemtemperatuur in de winter hoger houden en in de zomer juist lager (Ecoturf, 2017).



Figuur 7: Afbeelding van TreeDiaper® (Earthmark, 2020)

Bij een case study die werd uitgevoerd in Richmond, Virginia stelde men vast dat het sterftcijfer bij bomen die voorzien werden van een druppelzak die op regelmatige basis werd bijgevuld hoger lag dan bij bomen die voorzien werden van een Treediaper® waaraan geen water werd gegeven gedurende de studieperiode. Dit suggereert dat de Treediaper® in staat is om de nood aan het geven

van water sterk te reduceren of zelfs te elimineren (Urban Forestry Department Richmond Virginia, 2016).

### **e Reactie van de boom**

Water geven wordt algemeen geaccepteerd als een essentieel onderdeel van de nazorg bij nieuwe aanplant. Dit kan, zoals bij de voorgaande voorbeelden duidelijk werd, op verschillende manieren gebeuren. Maar hoe reageren bomen nu na deze watergift?

Zeer belangrijk bij de efficiëntie van het watergeven is tot in hoeverre de boom al droogtestress heeft ondervonden. De schade voor de boom die werd veroorzaakt door droogtestress is namelijk niet ogenblikkelijk opgelost wanneer men water geeft. In het algemeen zullen planten die werden blootgesteld aan ernstige droogtestress de dag nadat zij water werden gegeven slechts 40-60% van de hun maximale fotosynthesesnelheid herstellen. In de loop van de volgende dagen zal dit aandeel verder stijgen, maar in sommige gevallen wordt de oorspronkelijke fotosynthesesnelheid van voor de droogte nooit meer bereikt (Ainsworth & Rogers, 2007).

Het vermogen tot een volledig herstel na droogte is vermoedelijk soortafhankelijk, maar ook afhankelijk van de intensiteit en termijn van de droogte (Gallé, Haldimann, & Feller, 2007).

Een andere situatie waar bomen ernstige droogtestress ondervinden is tijdens stockage en transport alvorens ze verplant worden. Hier is het zeer belangrijk om te controleren of de kluit niet sterk is uitgedroogd (Norminstituut Bomen, 2018). Bomen die tijdens dit proces ernstige droogtestress hebben ondervonden zullen hier slechts traag van herstellen. Vermoedelijk zullen ze ook in deze situatie niet altijd de oorspronkelijke fotosynthesesnelheid bereiken.

## **2.7.3 Bodemverbetering**

De bodem is essentieel als het gaat om groenbeheer in de stad. Naar schatting is tot wel 80% van alle problemen omtrent vegetatie in stedelijke omgeving te wijten aan de bodemomstandigheden (Patterson, Murray, & Short, 1980). In het onderdeel 0 Waterbeschikbaarheid van dit werk werd duidelijk dat de bodem een enorme invloed heeft op de beschikbaarheid van water voor bomen. De bodem is tenslotte de plaats waar water door bomen wordt opgenomen. Er zijn verschillende manieren die het watervasthoudend vermogen van de bodem kunnen bevorderen. Commerciële bedrijven spelen hierop in. Er zijn dan ook verschillende bodemverbeteringsmiddelen verkrijgbaar die het watervasthoudend vermogen van de bodem zouden verbeteren. Hier worden de bodemverbeteringsmiddelen besproken die door de stad Antwerpen bij nieuwe aanplant worden toegepast.

### **a Organische stof**

Organische stof wordt ook humus genoemd en is grotendeels afkomstig van plantenresten. Organische stof in de bodem verbetert de bodemstructuur en stimuleert het bodemleven. Deze zaken zullen er voor zorgen dat bodemdeeltjes samenklitten tot aggregaten. Op deze manier ontstaat een kruimelstructuur waardoor het risico op verdichting afneemt. Daarnaast zal organische stof water vasthouden in de bodem. Dit is bijvoorbeeld zeer nuttig op zandgronden waar waterbeschikbaarheid snel een probleem kan vormen. Verder zal de verbeterde bodemstructuur er voor zorgen dat bij overdadige neerslag water beter de bodem kan indringen in plaats van bovengronds weg te stromen (Schils, 2012).

Men kan het organische stofgehalte bijvoorbeeld verhogen door compost in te werken in de bodem. In de landbouw worden ook verschillende praktijken toegepast om het organische stofgehalte te doen toenemen. Dit gebeurt bijvoorbeeld door het onderwerken van een groenbemester,

graanstoppels of stalmest (Groenendijk, 2015). In een bosomgeving, waar bomen de natuurlijke climaxvegetatie vormen, wordt organische stof niet van buitenaf aangevoerd. Er is een natuurlijke kringloop waarbij de organische stof in de bodem wordt opgebouwd door de strooiselaanvoer en –afbraak die ontstaat doordat onder andere de gevallen bladeren van de bomen blijven liggen. Door biologische activiteit komt de humus die tijdens dit proces ontstaat in de ondergrond terecht (Kemmers & Mekink, 2001). In de openbare ruimte kan er echter vaak geen strooisellaag worden opgebouwd omdat het blad geruimd wordt om bijvoorbeeld het verstopping van rioolputten te voorkomen (Leijten, Rietdijk, & De Haan, 2017). Dit kan dan weer opgelost worden met een aangepast infrastructuur door bijvoorbeeld met verhoogde borderranden of lage omheiningen te werken.

## **b Karisol**

Karisol is een commercieel verkrijgbare organische bodemverbeteraar die bestaat uit oliekoeken van de boternoot (60%), cacaodoppen (20%) en Vlaco-gecertificeerde groencompost (20%) en zou een positief effect hebben op het bodemleven (Intergrow, 2020; Van den Bergh, 2020). Er werd nog niet veel wetenschappelijk onderzoek uitgevoerd waarin specifiek dit product onderzocht werd. De positieve effecten van het toevoegen van organische stof aan de bodem werden hiervoor al wel beschreven.

## **c Bentoniet**

Bentoniet is een bodemverbeteraar die door verschillende handelaars wordt aangeboden als een middel om voornamelijk zandgrond te verbeteren vanwege zijn vermogen om water vast te houden. Volgens deze commerciële handelaars zou bentoniet de bodemstructuur verbeteren, het bodemleven activeren en uitspoeling van voedingsstoffen voorkomen (DCM, 2020; Ecostyle plantprofessional, 2020).

Bentoniet is een kleimateriaal dat een groot zwellingsvermogen heeft en in staat is om een zeer grote hoeveelheid water op te nemen. Bentoniet wordt voornamelijk gewonnen uit vulkanische assen en bestaat grotendeels uit het mineraal montmorilloniet (Mishra, Kumar, & Vadlamudi, 2017; Mitchell & Soga, 2005).

Een veldexperiment gedurende vijf jaar in het dorp Yijianfang, gelegen in een semi-aride regio van China, toonde veelbelovende resultaten. Er werden verschillende hoeveelheden bentoniet op een aantal proefvelden aangebracht. De hoeveelheden waren 0, 6, 12, 18, 24 en 30 Mg/ha. Alle hoeveelheden veroorzaakten een significante toename in bodemvocht en wateropslag in de bodem in de bovenste 0- 60 cm. Ook heeft men een significante toename in bovengrondse biomassa en graanoogst waargenomen. Deze toename in graanoogst varieerde van 3 tot 20%. Het gemiddelde effect gedurende de vijf jaar was het grootste voor 24 Mg/ha. Alleen in het vijfde jaar was het effect voor 30 Mg/ha het grootst (Mi et al., 2017).

Een studie uitgevoerd in Saudi-arabië toonde aan dat de toevoeging van bentoniet de pH van de bodem lichtjes verhoogde. Bij deze studie werd de toepassing van compost, bentoniet en biochar (houtschool) als bodemverbeteringsmiddel vergeleken. De resultaten van deze studie waren dat elk van deze middelen een positief effect had op het vermogen van de bodem om water vast te houden. Het meeste water werd vastgehouden door een mengsel van zowel compost als bentoniet vervolgens door alleen compost en daarna door een mengsel van compost, bentoniet en biochar. Deze mengsels hielden respectievelijk 35.4%, 24.4%, 13.3% meer water vast dan de controlegroep. Voor de verschillende bodemmengsels bleek dat het plantbeschikbaar water (het verschil tussen de hoeveelheid water in de bodem bij veldcapaciteit en bij het verwelkingspunt) voor alle mengsels verhoogd was ten opzichte van de controlegroep. Voor compost bleek deze verhoging het grootst en voor biochar het kleinst (Alghamdi et al., 2018).

$\Psi$ (bar)	Soil water content (cm cm <sup>-3</sup> )							
	Control	Bio	Ben	Com	Bio/Ben	Com/Ben	Com/Bio	Com/Bio/Ben
- 0.1 (FC)	0.18	0.23	0.26	0.31	0.26	0.29	0.27	0.25
- 15 (PWP)	0.02	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04
AWC	0.16	0.19	0.22	0.26	0.22	0.25	0.23	0.21
Sorptivity <sup>a</sup> (cm min <sup>-0.5</sup> )	3.051a	1.178e	0.896j	2.696b	1.100f	1.661c	1.519d	0.975j

FC field capacity, PWP permanent wilting point, AWC available water content (AWC = PWP-FC)

<sup>a</sup>Sorptivity was calculated by fitting a second-order polynomial to the plot of cumulative infiltration versus the square root of time (Fig. 4b)

**Figuur 8: Plantbeschikbaar water per bodemmengsel (Alghamdi, Aly, Al-Omran, & Alkhasha, 2018)**

Een interessante bevinding van deze studie is wel dat men een daling heeft waargenomen in infiltratiesnelheid bij zowel de behandeling met alleen bentoniet als het mengsel met bentoniet, compost en biochar (Alghamdi et al., 2018). Dit negatieve effect van bentoniet op de infiltratiesnelheid werd eerder ook al waargenomen in een studie uit 1975 die werd gepubliceerd door de Soil Science Society of America. Waarbij de infiltratiesnelheid werd gereduceerd van 18,0 mm/uur naar 1,5 mm/uur (Das & Dakshinamurti, 1975).

#### **d Agrosil LR**

Agrosil LR is een synthetisch bodemverbeterend middel dat fosforzuuranhydride (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), kiezelzuur (SiO<sub>2</sub>) en Natrium bevat. Volgens de producent Compo Expert zou Agrosil LR de fysische structuur van de bodem verbeteren, de beschikbaarheid van voedingsstoffen en water in de bodem verbeteren, wortelontwikkeling stimuleren, droogtestress bij gazons verminderen en het percentage van aanslaan bij houtachtige beplanting verhogen (Compo Expert, 2020).

Een studie die verscheen in het wetenschappelijk tijdschrift van de 'Soil Science Society of America' toonde aan dat Agrosil LR wel degelijk de hoeveelheid plantbeschikbaar water in de bodem verhoogt. Wel had het een negatief effect op verzadigde hydraulische geleidbaarheid. Agrosil LR verlaagde dus de doorlaatbaarheid van de bodem (Nimah, Ryan, & Chaudhry, 1983). Daarnaast toonde een studie uit Tsjechië aan dat proefvelden met Agrosil LR een positieve impact had op de fysiologische en morfologische parameters van zaailingen van zomereik (*Quercus robur*) en gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus*). De zaailingen hadden een gezond wortelgestel en de proefvelden met bodemverbeteraars ondervonden minder impact van abiotsche stressoren (waaronder droogte) (Sloup & Salaš, 2009).

### **2.7.4 Mulchlaag**

Het aanbrengen van een bedekkingslaag of mulchlaag op de bodem kan zowel toegepast worden bij een nieuw/recent aangeplante boom als bij een oudere boom. Het kan met heel wat materialen gebeuren. Men kan werken met een organische mulchlaag zoals bijvoorbeeld houtsnippers, houtkrullen, zaagsel, boomschors, dennennaalden enzovoort (van der Maas, 2008). Maar men kan ook werken met een anorganische mulchlaag in de vorm van bijvoorbeeld een polyethyleen zeil. Dit wordt eerder toegepast in de landbouw (Decoteau, Kasperbauer, & Hunt, 1989).

Een organische mulchlaag zal op termijn verteren en zo bijdragen aan het organisch stofgehalte van de bodem. Om de blijvende voordelen van de mulchlaag te behouden zal men deze wel periodiek opnieuw moeten aanbrengen.

Het aanbrengen van een mulchlaag heeft heel wat voordelen. De laag beperkt de verdamping en zal daardoor vocht vasthouden in de toplaag. Een mulchlaag biedt ook enigszins een beperking tegen erosie en voorkomt onkruidgroei (van der Maas, 2008). Verder zal een mulchlaag ook helpen bij het

voorkomen van bodemverdichting. De bedekkende laag zal namelijk deels de druk van voetgangers of ander verkeer verdelen (Hawver & Bassuk, 2007). Een mulchlaag kan dus een belangrijk hulpmiddel zijn om droogtestress te voorkomen.

Een bijkomend effect van een mulchlaag is dat onkruidgroei wordt voorkomen. Zo kan de groeiplaats van een boom onkruidvrij en onderhoudsvriendelijk gehouden worden zonder er bijvoorbeeld gazon aan te leggen. Ook dit is voor de boom een voordeel. Gras staat in een sterke concurrentie om vocht en voedingsstoffen met de boom. Tijdens een studie naar de toepassing van grasstroken bij laanbomen werd over twee groeiseizoenen waarbij vochtconcurrentie sterk van toepassing was een groeireductie van wel 12% waargenomen tussen de teelt met en zonder gras. Over drie groeiseizoenen waarbij vochtconcurrentie minder aanwezig was werd een groeireductie van 6% aangetoond. De aanwezigheid van gras onder bomen kan dus, met name in droge periodes waarin vochtconcurrentie een aanzienlijke rol speelt, een negatief effect hebben op de conditie en groei van de boom (van der Sluis, 2014).

Om de gewenste effecten van een organische mulchlaag te bekomen moet de mulchlaag minimaal 5 cm zijn. Het is aan te bevelen om soorteigen materiaal te gebruiken. Dit zal namelijk het soorteigen ecosysteem bevorderen. Wat een mulchlaag in principe doet is de natuurlijke bodemopbouw nabootsen (Brunia et al., 2006). In een natuurlijke bosomgeving is er dus een 'mulchlaag' aanwezig in de vorm van de natuurlijke strooisellaag. De ecto- en endomycorrhizasymbionten die voorkomen in een gezond boomsoort eigen ecosysteem zullen de boom eveneens beschermen tegen uitdroging aangezien zij mee bijdragen aan de watervoorziening van de boom (Keizer, 2019). Het valt echter niet binnen het bereik van dit werk om hier uitgebreid op in te gaan.

De positieve effecten van een mulchlaag zijn nog een bijkomend argument om ook in de openbare ruimte, waar mogelijk, de opbouw van een strooisellaag toe te laten en dus niet telkens het afgefallen blad te ruimen. Om deze principes te benutten is uiteraard een open groeiplaats nodig. Zoals eerder vermeld werd is verharding een ernstig probleem voor bomen. Men kan zich daarom de vraag stellen of de verharding wel noodzakelijk is in de buurt van de groeiplaats. Een open groeiplaats is goedkoper dan bijvoorbeeld de groeiplaatsconstructies die hier verder besproken worden en bieden doorgaans nog steeds de beste groeiplaatsomstandigheden. Deze afweging tussen het belang van verharding en de voordelen van een open groeiplaats is uiteraard voor elke situatie verschillend, maar moet zeker gemaakt worden als men aan duurzaam boombeheer wil doen.

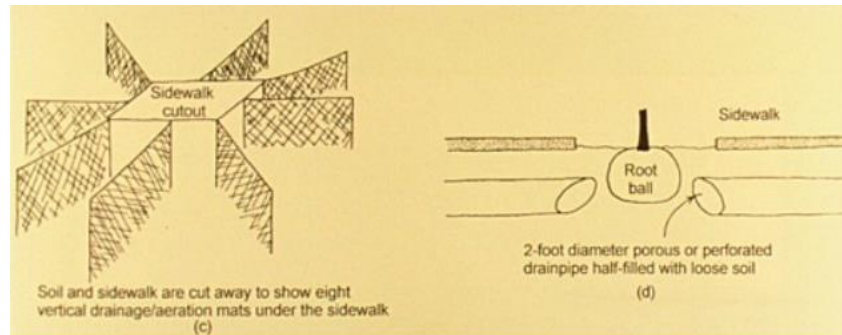
### 2.7.5 Groeiplaatsconstructies

Hoewel een groeiplaatsconstructie voor de aanplant van een boom gerealiseerd moet worden heeft een boom hier vaak dus pas op latere leeftijd nood aan, aangezien hij dan een groter volume zal benutten met zijn wortelgestel. Zoals in het onderdeel '2.6 Omstandigheden in de stad' duidelijk werd is droogtestress in de stad voornamelijk te wijten aan de groeiplaats. Het is niet evident om bomen in stedelijke omgeving de groeiplaats te geven die ze nodig hebben met voldoende doorwortelbaar volume. Er zijn echter verschillende manieren om het doorwortelbaar bodemvolume te vergroten in combinatie met verharding. Hieronder worden kort een aantal mogelijkheden besproken.

#### a Laterale wortelkanalen

In het 10<sup>de</sup> Nationale Symposium voor straatbomen van 2009, georganiseerd door de overheid van Zuid-Australië werden verschillende mogelijkheden tot het vergroten van het doorwortelbaar volume aangehaald. Eén van deze mogelijkheden is het werken met laterale wortelkanalen. Op deze manier kan de doorworteling van de bodem bevorderd worden. Wortels worden gestimuleerd om uit

de plantput te groeien of kunnen bijvoorbeeld geleid worden naar plaatsen met gunstigere bodemomstandigheden (May, 2009).



Op de bovenstaande illustraties wordt voorgesteld hoe deze wortelkanalen aangepakt kunnen worden. Op de linkerhelft wordt gewerkt met drainage/aëratie matten die de doorwortelbaarheid van de bodem verbeteren en de wortels aanmoedigen om verder buiten de plantput te groeien. Op de rechterhelft wordt gewerkt met een geperforeerde buis die gevuld is met een eerder losse bodem in tegenstelling tot de omliggende bodem die in een situatie onder verharding doorgaans sterk verdicht is (Gilman, 2020).

## **b Gespecialiseerde groeimedia**

Een andere manier om het doorwortelbaar volume onder verharding te vergroten is werken met gespecialiseerde groeimedia. Het gaat dan om een medium dat tot op een zekere mate verdicht kan worden zonder dat de macroporiën volledig verdwijnen. Voorbeelden hiervan zijn bomenzand en bomengranulaat.

Bomenzand bestaat uit gezeefd zand waardoor de korrels min of meer even groot en hoekig zijn (tussen de 250 tot 1000  $\mu\text{m}$ ). De hoekige korrels van dit zand haken in elkaar en zorgen voor een stevig en dragend skelet waardoor het verdicht kan worden zonder de macroporiën te verliezen. Bomenzand bevat een organisch stofgehalte afkomstig van uitgecomposteerde (hout)compost en kan gebruikt worden als fundering voor verhardingen die niet te zwaar belast worden zoals voet- en fietspaden enzovoort. In praktijk merkt men vaak toch enige verzakking. Om deze reden wordt bomenzand het best toegepast in combinatie met een sandwichconstructie, die verder in dit werk wordt besproken.

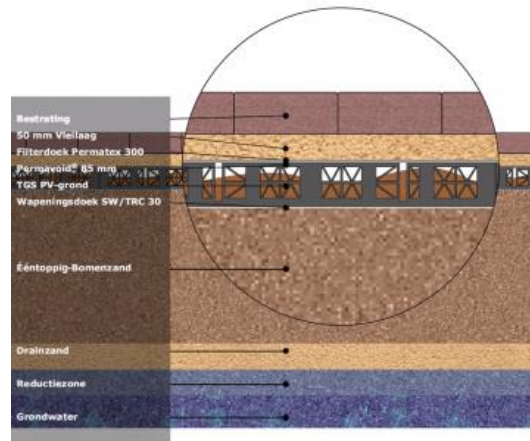
Bomengranulaat is een grover medium bestaande uit natuurlijk, hard gesteente met een grootte van 16-40 mm. Dit gesteente zorgt er voor dat na verdichting nog voldoende macroporiën overblijven waar bomen in kunnen wortelen. Naast gesteente bevat bomengranulaat ook organische stof en klei. De effectieve doorwortelbare ruimte van bomengranulaat bedraagt slechts 1/3 van het effectieve aangebrachte volume. De grote draagkracht van het materiaal zorgt er wel voor dat het toepasbaar is op plaatsen waar een hogere belasting verwacht wordt dan bij bomenzand (Brunia et al., 2006). Hier is dan geen drukverdelende laag voor nodig.

## **c Druk verdelen**

Wanneer men verdichting van de bodem onder verharding wil voorkomen is het essentieel dat de druk die op deze verharding wordt uitgevoerd verdeeld wordt. Dit kan men op twee manieren realiseren namelijk met behulp van een drukverdelende laag in de vorm van een zogenaamde sandwichconstructie of met een volledig dragende structuur in de vorm van een boombunker (May, 2009).



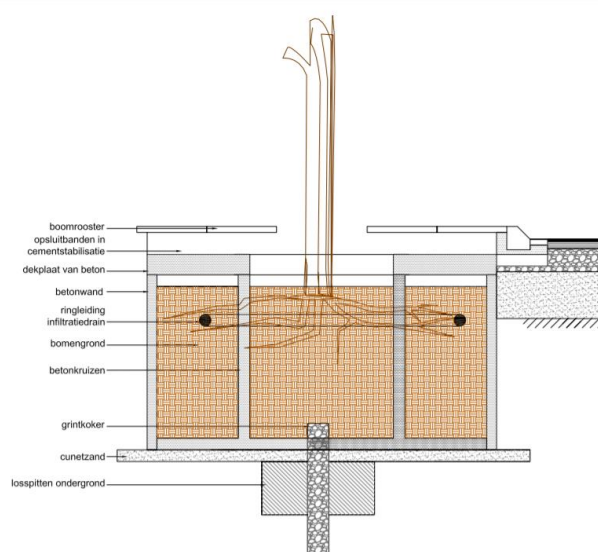
Een sandwichconstructie is een drukverdelende laag die bestaat uit panelen uit kunststof. Deze laag dient ter vervanging van de funderingslaag en creëert dankzij de open structuur een tweede maaiveld (Greenmax, 2020b). Er zijn verschillende variaties in opbouw van deze constructie.



**Figuur 9: illustratie sandwichconstructie (Heicom, 2020)**

Doorgaans wordt deze constructie toegepast in combinatie met bomenzand en kan deze zowel bij een nieuwe plantlocatie of als uitbreiding van een bestaande plantlocatie worden toegepast. Een sandwichconstructie heeft niet alleen een positieve invloed op de doorwortelbare ruimte, maar zal ook de kans op wortelopdruk doen afnemen. Deze wortelopdruk wordt voorkomen dankzij de luchtlaag in de kunststof panelen. De grens tussen deze luchtlaag en de bodem noemt men het tweede maaiveld (Brunia et al., 2006).

In tegenstelling tot de sandwichconstructie waarbij het doel van de constructie is om de druk te verdelen zal deze druk bij een boombunker door de constructie gedragen worden. De boombunker bestaat uit een betonnen of kunststof constructie die de belasting verplaatst naar de diepe ondergrond. Hierdoor ontstaat in de boombunker een ruimte die kan worden opgevuld met een hoogwaardig substraat zoals bomengrond. Zo'n hoogwaardig substraat verdraagt namelijk geen



**Figuur 10: illustratie boombunker (Brunia et al., 2006)**

verdichting. Tussen de afdekplaat en de bomengrond in de boombunker bevindt zich doorgaans een ruimte van 10 cm waardoor een tweede maaiveld gecreëerd wordt. Ook bij deze constructie zijn er verschillende variaties mogelijk (Norminstituut Bomen, 2018).

#### **d Watervoorziening**

Indien een boom over voldoende doorwortelbaar volume in de bodem beschikt moet de bodem nog steeds voorzien worden van voldoende water. Vooral als er geen sprake is van een grondwaterprofiel.

Er zijn verschillende mogelijkheden binnen een groeiplaatsconstructie die de aanvoer en opslag van water mogelijk maken, gaande van het plaatsen van een geperforeerde drainagebuis tot ondergrondse systemen die water kunnen bufferen en via capillaire werking voorzien aan het groeimedium (Sneep, 2017). Ook kan men bijvoorbeeld werken met een waterdoorlatende verharding. De mogelijkheden zijn op dit vlak echter zo uiteenlopend dat ze niet tot in het detail besproken kunnen worden in dit werk.

Een ander interessant punt omtrent watervoorziening dat deels van toepassing is op de eerder besproken bodemverbeteringsmiddelen is het belang van de zogenaamde 'trunk flow'. Deze wateraanvoer werd aangehaald door Peter May van de Universiteit van Melbourne. Een studie uit Sacramento toonde namelijk aan dat het bladerdek van het stedelijk bomenbestand daar tot wel 79,5% van het hemelwater tijdens een zomerstorm opvangt (Xiao & McPherson, 2002). Een deel van dit water zal vervolgens naar beneden druppelen of verdampen, maar een aanzienlijk aandeel stroomt via de takken en stam van de boom naar beneden en vormt dus vermoedelijk een belangrijke bron van water voor bomen in een verharde omgeving. Op basis van dit gegeven benadrukt May het belang van de bodemomstandigheden vlak rond de stam. Hij stelt dat op deze plaats een goede doorlaatbaarheid van de bodem zeer belangrijk is (May, 2009). Iets waar rekening mee kan gehouden worden bij de keuze van bodemverbeteringsmiddelen die toegepast worden tijdens de aanplant. Deze zullen namelijk de omstandigheden rond de stam beïnvloeden. De verschillende bodemverbeteringsmiddelen worden in het tweede onderdeel van deze bachelorproef, namelijk het praktisch onderzoek, onderzocht.

### 3 MATERIAAL EN METHODEN PRAKTISCH ONDERZOEK

#### 3.1 PROEF 1

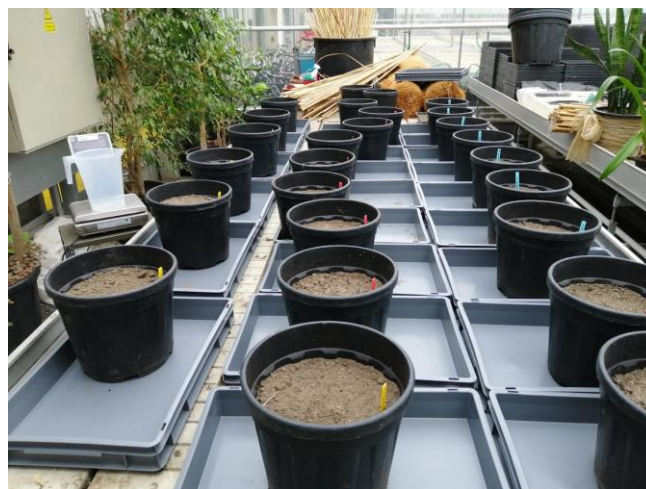
De Groendienst van de stad Antwerpen maakt gebruik van een aantal bodemverbeteringsmiddelen die zij onderwerkt bij de aanplant van een nieuwe boom. Sommige van deze middelen zijn bedoeld om de waterretentie van de bodem te verbeteren en droogtestress bij de jonge aanplant te voorkomen. In deze proef werden drie bodemverbeteringsmiddelen getest, namelijk bentoniet, groencompost en Karisol.

Het effect van de verschillende bodemverbeteraars op de totale hoeveelheid bodemvocht die de bodem kan vasthouden werd getest. Er werden verschillende bodemsamenstelling gemaakt en deze werden in kweekpotten met een volume van 15 liter geplaatst. De samenstellingen werden gemaakt op basis van het volumepercentage en alle kweekpotten werden tot op eenzelfde hoogte gevuld.

Vervolgens werd in elke pot een bepaalde hoeveelheid water gegoten. Het water dat aan de onderkant uit de pot sijpelde werd opgevangen en gemeten. Op deze manier werd gemeten hoeveel water de bodem vasthield en hoeveel water doorsijpelde. Daarnaast werd de massa van elke pot gewogen nadat deze was uitgelekt. Door dit gewicht te vergelijken met het oorspronkelijke droge gewicht van het mengsel werd bepaald hoeveel water het bodemmengsel vasthield. Op deze manier werd het vermogen om water vast te houden vergeleken tussen de verschillende bodemsamenstellingen.

Bodemsamenstellingen:

- **Samenstelling 1:** enkel teelaarde (controlegroep);
- **Samenstelling 2:** teelaarde en 5% Karisol;
- **Samenstelling 3:** teelaarde en 10% Karisol;
- **Samenstelling 4:** teelaarde en 5% bentoniet;
- **Samenstelling 5:** teelaarde en 10% bentoniet;
- **Samenstelling 6:** teelaarde en 10% groencompost;
- **Samenstelling 7:** teelaarde en 25% groencompost;
- **Samenstelling 8 (mengsel stad Antwerpen):** teelaarde, 25% groencompost, 5% Karisol en 5% bentoniet.



Figuur 11: Foto van proefopstelling voor proef 1

Voor elke bodemsamenstelling werden drie potten gevuld. Zo ontstonden er drie reeksen bodemsamenstellingen. Elke reeks werd met een verschillende hoeveelheid water begoten. Over een periode van 7 dagen werd dan gemonitord hoe de waterinhoud van de bodemsamenstelling evolueert door de massa te meten, na 7 dagen werd vervolgens nog eens water gegeven en werd het proces herhaald. De potten werden dus dagelijks gewogen tussen 2 en 13 maart met uitzondering van 7 en 8 maart aangezien het serrecomplex waar de potten stonden in het weekend niet toegankelijk was. Bij één reeks werd 5 liter gegeven. Bij de tweede reeks werd 4 liter water gegeven. Bij de derde reeks werd 3 liter water gegeven. Deze hoeveelheid water werd gekozen op basis van een verkennende test waarbij werd waargenomen dat na toediening van 5 liter water het bodemmengsel verzadigd was. Tijdens de proef werd gekeken of dit bij 4 en 3 liter ook het geval was. De potten stonden in een serrecomplex. Ze werden dus niet blootgesteld aan regen of grondwater en ondervinden allemaal dezelfde omstandigheden. De teelaarde en compost werden gedurende 12 weken uitgespreid in de serre zodat deze bij de aanvang van deze proef droog was.

## 3.2 PROEF 2

Aangezien proef 1 een beeld geeft van de totale hoeveelheid bodemvocht, maar niet het plantbeschikbaar water in de bodem werd een tweede proef uitgevoerd.

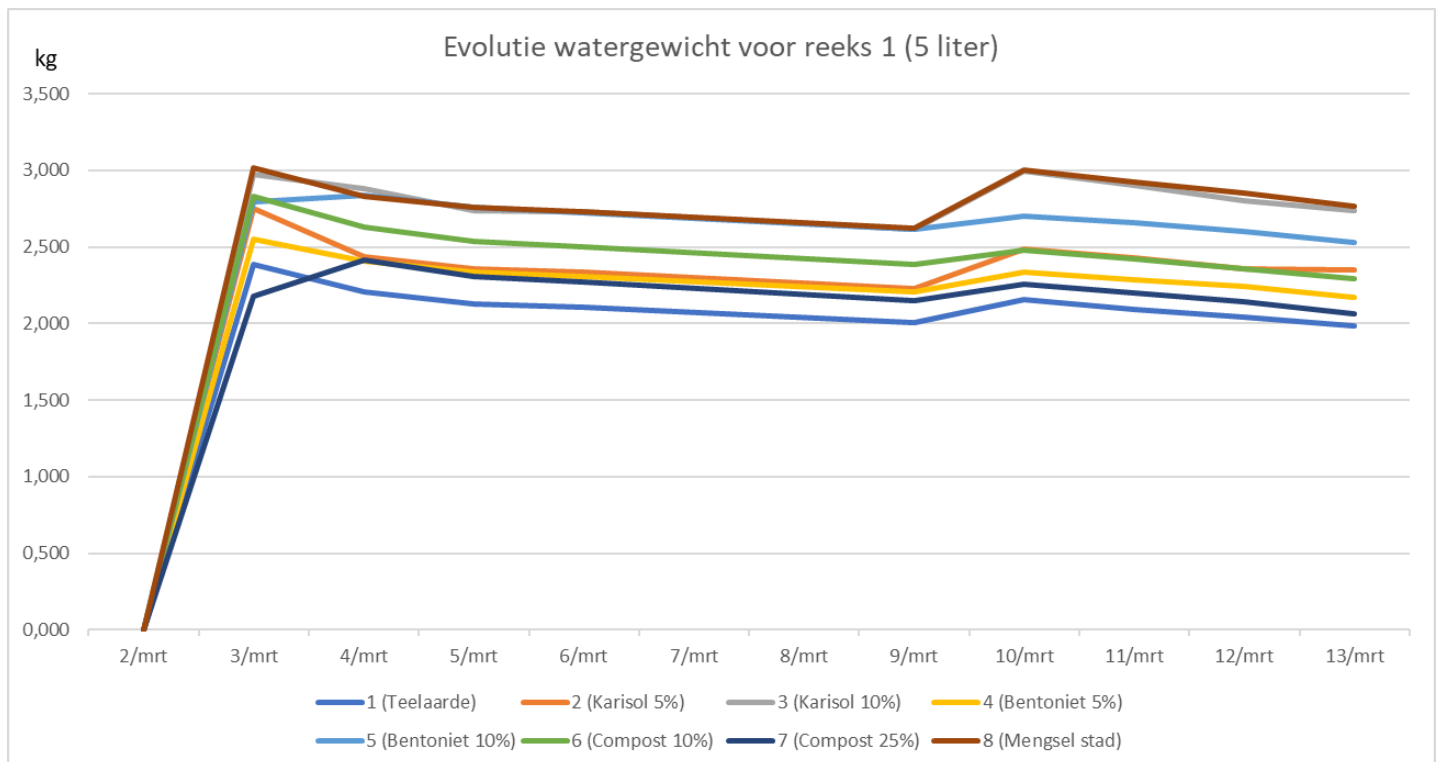
Ditmaal werden de verschillende bodemsamenstellingen in kleinere plantpotten geplaatst. Met elke samenstellingen werden drie potten gevuld. In deze potten werd vervolgens tuinkers (*Lepidium sativum*) gezaaid. Alle potten kregen voor het zaaien eenzelfde hoeveelheid water, hierna werd geen water meer gegeven. De potten bevonden zich allemaal onder dezelfde omstandigheden. Er werd geobserveerd in welke bodemsamenstellingen de zaailingen als eerste symptomen van droogtestress vertoonden en hoe lang het per bodemsamenstelling duurde voordat de zaailingen volledig uitgedroogd zijn. Onder volledig uitgedroogd werd hier verstaan dat alle zaailingen volledig slap hangen en dat de blaadjes van de zaailingen hun vorm verloren dankzij het verlies van de turgordruk in de cellen.

## 4 RESULTATEN

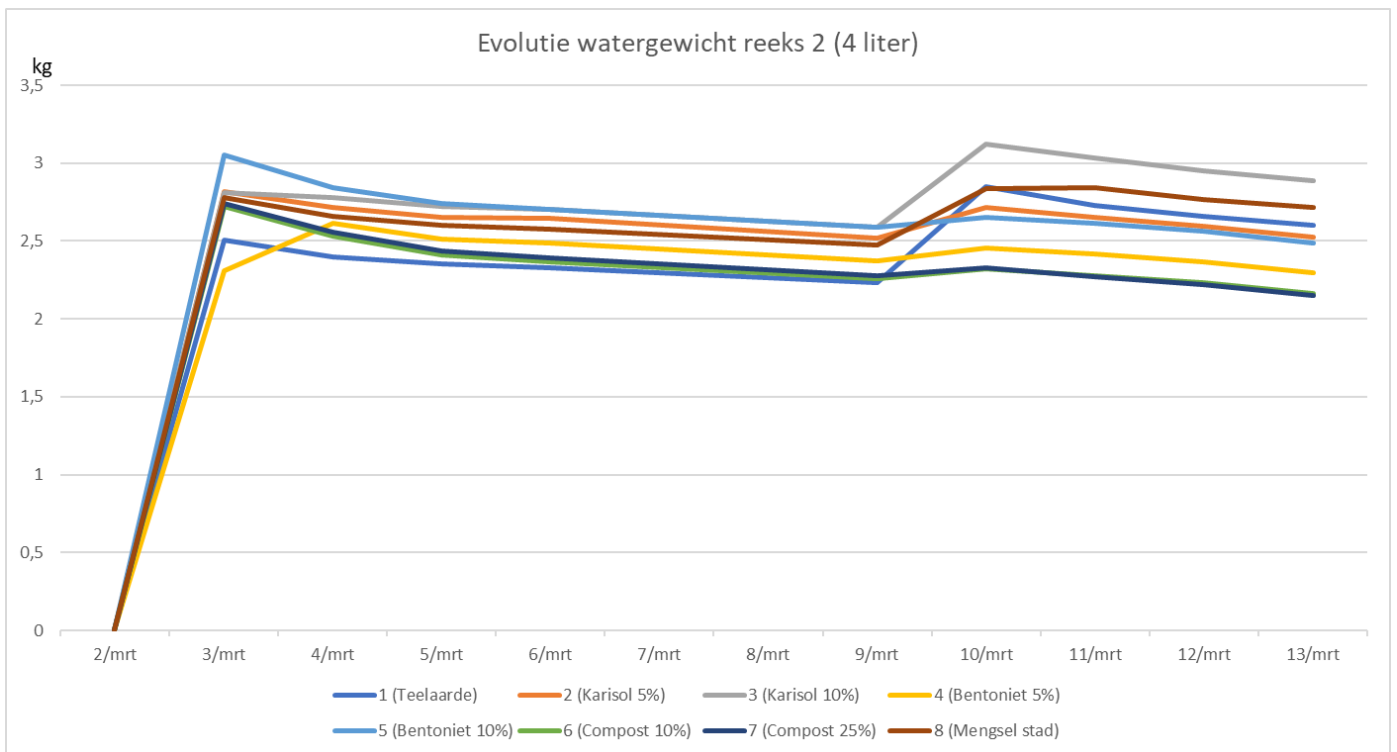
### 4.1 PROEF 1

#### 4.1.1 Evolutie hoeveelheid water vastgehouden

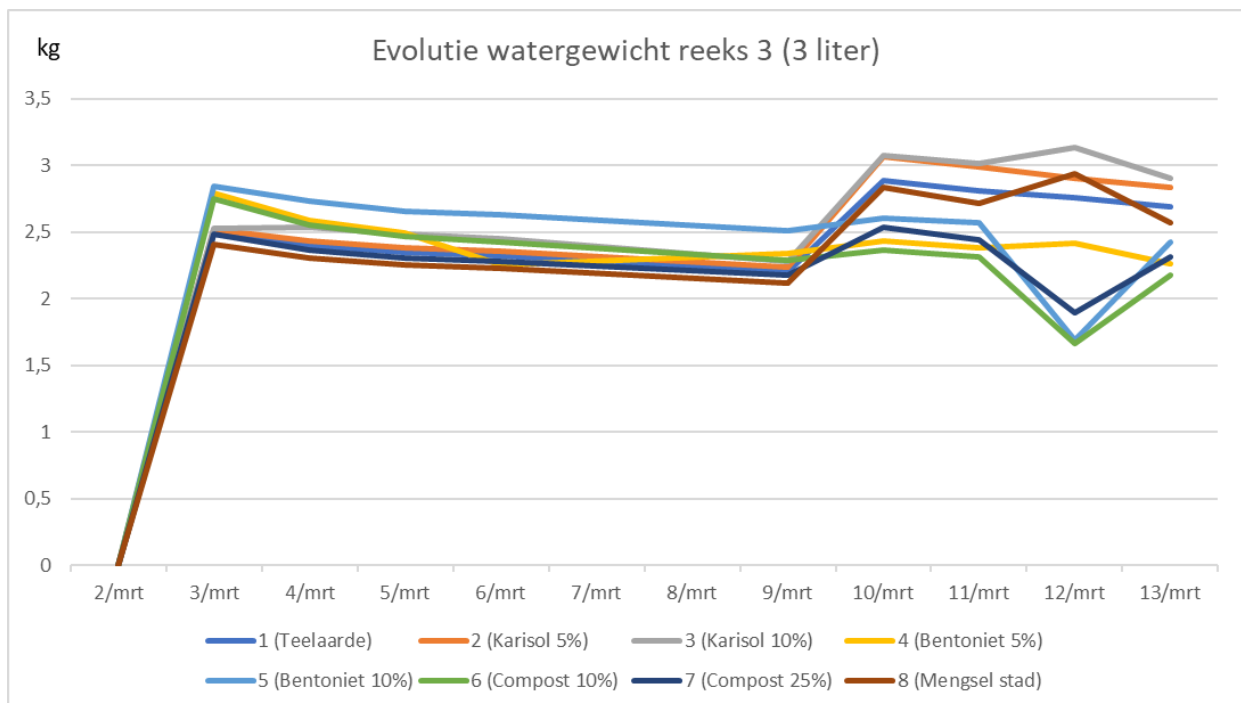
Om een beeld te krijgen van hoe de hoeveelheid water die de bodemmengsels vasthouden evolueerde doorheen de tijd werd de massa van de droge potten -die werd gemeten voordat water aan de potten werd toegediend- afgetrokken van de totale gemeten massa voor elke dag. Op deze manier wordt enkel de massa van het water in elke pot weergegeven. Deze massa wordt weergegeven in kilogram, maar aangezien het soortelijk gewicht van water zeer dicht 1000 kg/m<sup>3</sup> benaderd zouden deze cijfers bijna dezelfde zijn indien dit in liter zou uitgedrukt worden. De cijfers worden per reeks apart weergegeven waarin, zoals in het onderdeel 'Materiaal en methoden' werd beschreven, reeks 1 vijf liter water, reeks 2 vier liter water en reeks 3 drie liter water kreeg toegediend.



Figuur 12: Grafiek evolutie watergewicht reeks 1



Figuur 13: Grafiek evolutie watergewicht reeks 2



Figuur 14: Grafiek evolutie watergewicht reeks 3

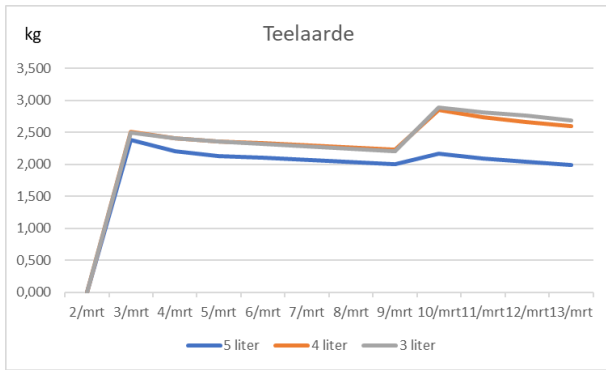
Op deze grafieken is te zien dat zowel in reeks 1 als in reeks 2 bijna alle mengsels het beter lijken te doen dan alleen teelaarde. Vooral bij de eerste toediening van het water, wanneer er dus wordt vertrokken van een redelijk uitgedroogde toestand. Ook in reeks 3 hangt teelaarde na de eerste toediening ergens onderaan. Bij deze reeks liggen de waarden voor 25% compost en voor het Mengsel Stad echter nog lager. Dit terwijl Mengsel Stad in reeks 1 en 2 juist eerder bovenaan staat.

Voor reeks 1 staan zowel na de eerste toediening van water en na de tweede de mengsels Karisol 10%, Mengsel Stad en Bentoniet 10% bovenaan. Voor reeks 2 staat na de eerste toediening van het water Bentoniet 10%, Karisol 10% en Karisol 5% bovenaan en na de tweede toediening staan voor reeks 2 Karisol 10%, het Mengsel Stad en compost 25% bovenaan. Voor reeks 3 staat na de eerste toediening van het water Bentoniet 10%, Compost 10% en bentoniet 5% bovenaan en na de tweede toediening staan Karisol 10%, Karisol 5% en Teelaarde bovenaan.

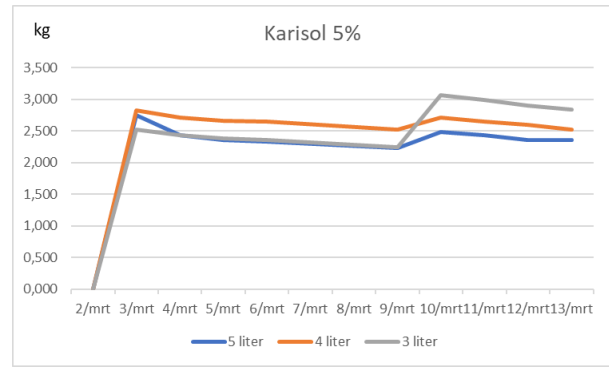
In de grafiek van reeks 3 zien we een aantal uitschietende metingen op 12 maart. Deze uitschieters zijn vermoedelijk te wijten aan een meetfout door een foute plaatsing van de weegschaal waardoor de potten deels tegen een ander object leunden. Dit werd pas duidelijk na het verwerken van de gegevens waardoor de meting niet opnieuw kon worden uitgevoerd.

#### **4.1.2 Effect hoeveelheid water per mengsel**

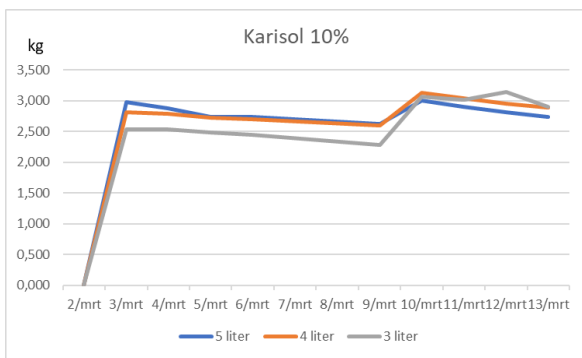
Om een eventueel effect te zien van de hoeveelheid water die werd toegediend, werd voor elk bodemmengsel een grafiek opgesteld met de curves van elke reeks voor dat bodemmengsel. Op onderstaande grafieken is dus een vergelijking te zien tussen de drie reeksen voor elk bodemmengsel.



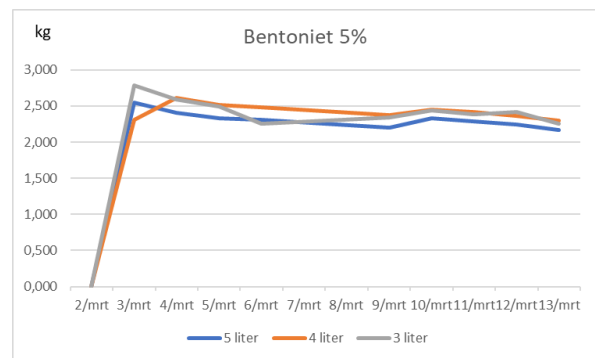
**Figuur 15: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Teelaarde**



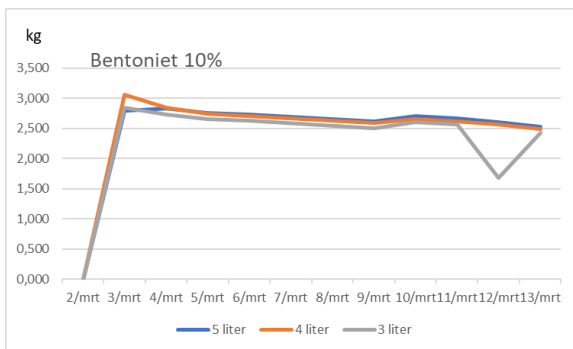
**Figuur 16: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Karisol 5%**



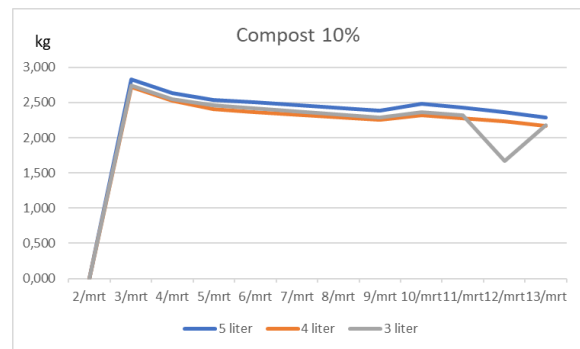
**Figuur 17: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Karisol 10%**



**Figuur 18: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Bentoniet 5%**

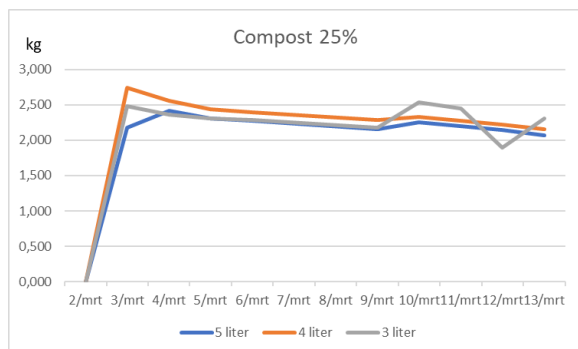


**Figuur 19: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Bentoniet 10%**

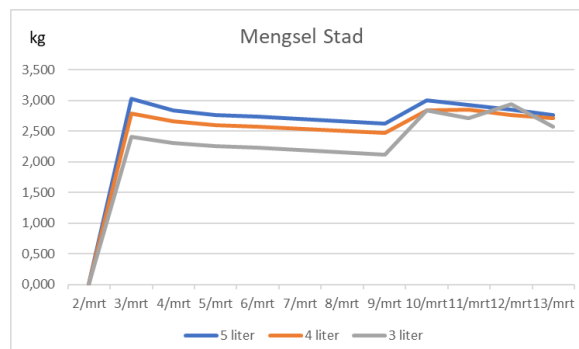


**Figuur 20: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Compost 10%**





**Figuur 21: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Compost 25%**



**Figuur 22: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Mengsel Stad**

### 4.1.3 Water opgevangen

Het water dat door de bodemmengsels sijpelde werd opgevangen en in onderstaande tabellen weergegeven. In Figuur 23 is af te lezen hoeveel water werd opgevangen de eerste dag nadat het water werd toegediend. In de Figuur 24 is af te lezen hoeveel water er nog werd gemeten de tweede dag nadat het water werd toegediend. reeks 1 werd begoten met vijf liter water, reeks 2 met vier liter en reeks 3 met drie liter.

Mengsel:	Reeks 1 (Liter)	Reeks 2 (Liter)	Reeks 3 (Liter)
1 (Teelaarde)	2,6	1,5	0,4
2 (Karasil 5%)	2,1	1,1	0,4
3 (Karasil 10%)	1,6	1,0	0,3
4 (Bentoniet 5%)	2,3	1,1	0,1
5 (Bentoniet 10%)	1,9	1,0	0,0
6 (Compost 10%)	2,0	1,2	0,2
7 (Compost 25%)	2,1	1,1	0,4
8 (Mengsel stad)	1,9	1,1	0,6

**Figuur 24: Tabel opgevangen water eerste dag na toediening**

Mengsel:	Reeks 1 (Liter)	Reeks 2 (Liter)	Reeks 3 (Liter)
1 (Teelaarde)	0	0	0
2 (Karasil 5%)	0,2	0	0
3 (Karasil 10%)	0,4	0	0
4 (Bentoniet 5%)	0	0	0
5 (Bentoniet 10%)	0	0	0
6 (Compost 10%)	0	0	0
7 (Compost 25%)	0	0,2	0
8 (Mengsel stad)	0,1	0	0

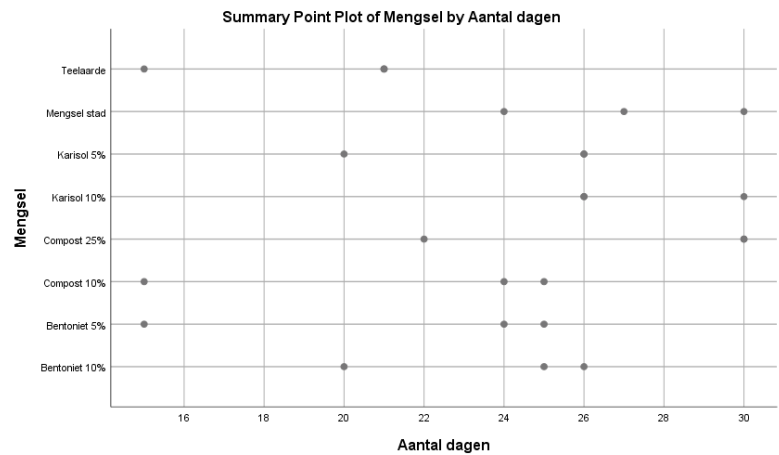
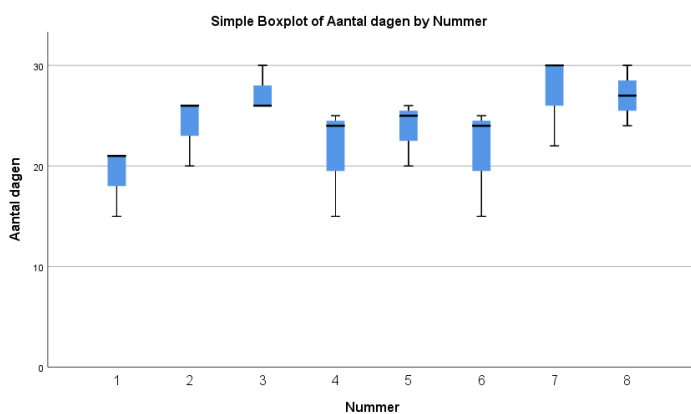
**Figuur 23: Tabel opgevangen water tweede dag na toediening**

## 4.2 PROEF 2

De volledige evolutie van deze proef werd gefotografeerd en is te zien onder **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

### 4.2.1 Statistische analyse

Het aantal dagen voordat de zaailingen in een bepaald bodemmengsel volledig uitgedroogd waren wordt weergegeven in onderstaande boxplot en dotplot per groep. Waarbij de nummering wordt gehanteerd zoals beschreven in Materiaal en methoden (Teelaarde = 1, Karisol 5% = 2, Karisol 10%= 3, Bentoniet 5% = 4, Bentoniet 10% = 5, Compost 10% = 6, Compost 25% = 7, Mengsel Stad = 8).



**Figuur 26: Boxplot per groep, aantal dagen voordat zaailingen volledig uitgedroogd zijn per bodemsamenstelling.**

**Figuur 25: Dotplot per groep, aantal dagen voordat zaailingen volledig uitgedroogd zijn per bodemsamenstelling.**

Deze grafische weergaven suggereren dat bodemmengsels 3, 7 en 8 beter presteerden in het voorkomen van uitdroging en dus vermoedelijk meer vocht vasthielden.

Het statistisch verband tussen het aantal dagen voor uitdroging en het bodemmengsel werd getest met de Kruskal-Wallis hypothesetest aangezien de grootte van de steekproef per bodemmengsel klein is ( $n=3$ ).

Waarbij de nulhypothese ( $H_0$ ) = Er is geen verband tussen het aantal dagen tot volledige uitdroging en de bodemsamenstelling.

De alternatieve hypothese ( $H_A$ ) = Er is wel een verband tussen het aantal dagen tot volledige uitdroging en de bodemsamenstelling.

Volgens het resultaat van de hypothesetest is  $p > 0,05$ . De nulhypothese moet dus behouden blijven. Op basis van de steekproef kan geen significant verband tussen het aantal dagen tot volledige uitdroging en de bodemsamenstelling worden aangetoond. Dit is vermoedelijk te wijten aan de kleine steekproefgrootte.

**Hypothesis Test Summary**

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The distribution of Aantal dagen is the same across categories of Nummer.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,128	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is ,05.

**Figuur 27: Resultaat Kruskal-Wallis hypothesetest**

## 5 DISCUSSIE

### 5.1 PROEF 1

De resultaten uit proef 1 suggereren dat alle geteste bodemverbeteringsmiddelen wel degelijk een positief effect hebben op de totale hoeveelheid water die werd vastgehouden in de bodemmengsels. Hier lijken vooral 10% Karisol en 10% Bentoniet het grootste effect te hebben. Voor Bentoniet was dit op basis van de literatuur zeker te verwachten. Compost doet het op dit vlak echter minder goed dan verwacht. De totale hoeveelheid water in de bodemmengsels zegt echter niet per definitie iets over het plantbeschikbaar water.

Verder zien we dat er relatief weinig verschil is tussen de verschillende reeksen per bodemmengsel. De curves voor elke reeks vertonen per bodemmengsel een gelijkaardig verloop. Dit is vermoedelijk te wijten aan het feit dat de verschillende hoeveelheden water (5 liter, 4 liter en 3 liter) voldoende zijn om het gebruikte volume van de bodemmengsels te verzadigen. Het overtollige water sijpelt dan gewoon door en heeft geen effect op de meting. Het grootste verschil tussen de reeksen zien we bij het Mengsel Stad. Dit is op zich geen verrassing aangezien dit mengsel verschillende bestanddelen bevat waardoor er meer kans op variatie was.

In proef 1 was ook te zien hoe alleen bij de bodemmengsels die Karisol bevatten (zowel bij Karisol 5% als bij Karisol 10% en Mengsel Stad) in reeks 1 na twee dagen nog water werd opgevangen. Dit doet vermoeden dat Karisol een negatief effect heeft op de doorlaatbaarheid of infiltratiesnelheid van de bodem. Het is echter niet mogelijk om hier een definitieve conclusie uit te trekken vanwege de kleine steekproefgrootte. Dit negatieve effect op de doorlaatbaarheid is echter ook een eigenschap die uit de literatuur naar voren kwam bij bentoniet en Agrosil LR.

Hoewel het niet mogelijk is om op basis van deze gegevens met zekerheid iets te zeggen over de optimale hoeveelheid water die in praktijk moet toegediend worden, wijzen de gegevens wel in een bepaalde richting. Wanneer men bijvoorbeeld in een praktijksituatie werkt met een gietrand met een diameter van 67 cm die 60 liter water kan bevatten, boven een kluitdiepte van ongeveer 40 cm wordt er ongeveer 1 liter water gegeven voor elke 2 liter bodem die men van water wilt voorzien. Op basis van de resultaten uit proef 1 zal een groot aandeel van dit water vermoedelijk verder doorsijpelen aangezien overtollig water in proef 1 reeds doorsijpelde na het toedienen van 3 liter water op (minder dan) 15 liter bodem. Er is echter meer praktijkonderzoek nodig om hier met zekerheid conclusies uit te trekken of de optimale hoeveelheid water te bepalen.

### 5.2 PROEF 2

De grafische voorstelling van de resultaten van proef 2 doen vermoeden dat er wel degelijk een verband is tussen het aantal dagen tot uitdroging en de bodemmengsels. Dit kon echter niet statistisch aangetoond worden, waarschijnlijk vanwege de kleine steekproefgrootte.

In deze steekproef hadden de bodemmengsels Karisol 10%, Compost 25% en het Mengsel Stad de beste resultaten. Dit komt voor compost overeen met bevindingen uit de literatuur aangezien (Alghamdi et al., 2018) hebben vastgesteld dat compost het grootste positieve effect had op het plantbeschikbaar water.

Het feit dat de zaailingen in de bodemmengsels met bentoniet sneller uitdrogen dan die in de bodemmengsels met 25% compost en 10% Karisol impliceert dat deze bodemmengsels minder plantbeschikbaar water bevatten. Dit ondanks het feit dat proef 1 lijkt aan te tonen dat deze

mengsels een grote totale hoeveelheid water vasthielden. Wel presteren ook in proef 2 alle mengsels met bodemverbeteringsmiddelen beter dan de controlegroep met alleen teelaarde.

### **5.3 TEKORTKOMINGEN**

Bij beide proeven was de steekproefgrootte klein waardoor geen statistisch verband voor de volledige populatie kon aangetoond worden. Indien een grotere steekproefgrootte zou worden toegepast is dit misschien wel mogelijk en kan men met een grotere zekerheid conclusies trekken.

Om met zekerheid iets te kunnen zeggen over het plantbeschikbaar water per bodemmengsel zou er voor elk bodemmengsel een pF-curve opgesteld moeten worden. Zo kan het verschil tussen het vochtpercentage bij het verwelkingspunt (zuigspanning 4,2 pF) en de veldcapaciteit van de bodem berekend worden en dit geeft dan de hoeveelheid plantbeschikbaar water. Hier is echter gespecialiseerde meetapparatuur voor nodig die voor het uitvoeren van deze bachelorproef niet beschikbaar was.

## BESLUIT

Er zijn verschillende oplossingen mogelijk om droogtestress zo veel mogelijk tegen te gaan. De geschiktheid van elke mogelijkheid hangt veelal af van de plaatselijke situatie. Zo is bijvoorbeeld het aanbrengen van een (organische) mulchlaag in een druk betreden straat niet altijd mogelijk aangezien dit kan leiden tot verstoppingen in goten en dergelijke.

Wat het belangrijkste aandachtspunt van dit werk betreft, namelijk bodemverbetering, zijn de resultaten toch vrij positief. Tijdens het onderzoek leken namelijk, op basis van de steekproef, alle geteste bodemverbeteringsmiddelen die momenteel door de Groendienst worden toegepast een positief effect te hebben op zowel de totale hoeveelheid water die werd vastgehouden als het plantbeschikbaar water.

Er kwam wel één verontrustend aspect van bodemverbeteringsmiddelen naar voren tijdens dit onderzoek. Voor zowel Agrosil LR en bentoniet werd tijdens de literatuurstudie namelijk gevonden dat deze producten een negatief effect hebben op de doorlaatbaarheid van de bodem. Voor Karisol werd dit gegeven niet vastgesteld in de literatuur - vermoedelijk omdat er slechts zeer weinig literatuur te vinden is over dit product - maar leverde proef 1 wel resultaten op die in deze richting zouden kunnen wijzen. Dit negatieve effect op de doorlaatbaarheid kan met name in de stad een probleem vormen aangezien de infiltratiecapaciteit hier reeds laag is dankzij de hoge verhardingsgraad.

Om deze reden is enige voorzichtigheid aangewezen bij het toepassen van deze producten vooral op plaatsen waar reeds een 'zware' bodem aanwezig is. Van de in dit onderzoek geteste producten met een eventuele negatieve impact op de doorlaatbaarheid heeft bentoniet dan ook nog eens het minst positieve effect op het plantbeschikbaar water. Dit zou dus een reden kunnen zijn om dit product niet toe te passen wanneer doorlaatbaarheid een bezorgdheid is.

## LIJST VAN TABELLEN EN FIGUREN

Figuur 1: Waterretentiecurve, zuigspanning uitgedrukt in pF (Heremans, 2019) .....	13
Figuur 2: Waterretentiecurve, zuigspanning uitgedrukt in drukhoogte (cm) (Remmelink, van Middelkoop, Ouweltjes, & Wemmenhove, 2019) .....	13
Figuur 3: Klimaatsoortenmatrix opgesteld door Roloff (Roloff, Bonn, & Gillner, 2008).....	17
Figuur 4: Afbeelding van drainagebuis (Brouwers, 2020).....	18
Figuur 5: Afbeelding van kunststof gietrand (Brouwers, 2020) .....	18
Figuur 6: Afbeelding van druppelzak (Greenmax, 2020a).....	19
Figuur 7: Afbeelding van TreeDiaper® (Earthmark, 2020) .....	19
Figuur 8: Plantbeschikbaar water per bodemmengsel (Alghamdi, Aly, Al-Omran, & Alkhasha, 2018)	22
Figuur 9: illustratie sandwichconstructie (Heicom, 2020).....	25
Figuur 10: illustratie boombunker (Brunia et al., 2006).....	25
Figuur 11: Foto van proefopstelling voor proef 1 .....	27
Figuur 12: Grafiek evolutie watergewicht reeks 1 .....	29
Figuur 13: Grafiek evolutie watergewicht reeks 2 .....	30
Figuur 14: Grafiek evolutie watergewicht reeks 3 .....	30
Figuur 15: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Teelaarde .....	32
Figuur 16: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Karisol 5%.....	32
Figuur 17: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Karisol 10%.....	32
Figuur 18: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Bentoniet 5%.....	32
Figuur 19: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Bentoniet 10% .....	32
Figuur 20: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Compost 10%.....	32
Figuur 21: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Compost 25%.....	33
Figuur 22: Grafiek vergelijking van elke reeks voor Mengsel Stad .....	33
Figuur 24: Tabel opgevangen water tweede dag na toediening.....	33
Figuur 23: Tabel opgevangen water eerste dag na toediening.....	33
Figuur 25: Dotplot per groep, aantal dagen voordat zaailingen volledig uitgedroogd zijn per bodemsamenstelling. ....	34
Figuur 26: Boxplot per groep, aantal dagen voordat zaailingen volledig uitgedroogd zijn per bodemsamenstelling .....	34
Figuur 27: Resultaat Kruskal-Wallis hypothesetest.....	35

## BRONNENLIJST

- Agentschap Informatie Vlaanderen. (2015). Bodembedekkingskaart: Verharding. Retrieved from <https://www.statistiekvlaanderen.be/nl/verharding>
- AgriPress. (2019). Droogte 2019: Ook september uitzonderlijk droog. Retrieved from <http://www.agripress.be/start/artikel/610376/nl>
- Ainsworth, E. A., & Rogers, A. (2007). The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO<sub>2</sub>]: mechanisms and environmental interactions. *Plant, cell & environment*, 30(3), 258-270.
- Alghamdi, A. G., Aly, A. A., Al-Omran, A. M., & Alkhasha, A. (2018). Impact of biochar, bentonite, and compost on physical and chemical characteristics of a sandy soil. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(21), 670. doi:10.1007/s12517-018-3939-y
- Atger, C. (2011). *Système racinaire et Influence du milieu*. Retrieved from [http://arboritecture.org/pdf\\_uploads/atger/le-systeme-racinaire-des-arbres-influence-du-milieu-et-de-la-taille-atger-2011.pdf](http://arboritecture.org/pdf_uploads/atger/le-systeme-racinaire-des-arbres-influence-du-milieu-et-de-la-taille-atger-2011.pdf)
- Boezeman, D. F., Donkers, H., & Vijfeijken, B. v. (2018). *Hitte wordt hot*. Retrieved from <https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/197964/197964pub.pdf>
- Boomzorg. (2020). Mobiel irrigeren met Tregator. Retrieved from <https://www.boomzorg.nl/article/2550/mobiel-irrigeren-met-de-tregator>
- Brouwers, M. (2020). Geef bomen voldoende water en voorkom inboet! Retrieved from [https://www.greenmax.eu/download.php?f=downloads/nl/artikelbewatering\(greenma.pdf](https://www.greenmax.eu/download.php?f=downloads/nl/artikelbewatering(greenma.pdf)
- Bruens, H. (2007). De verovering van de aarde: De evolutie van vaatplanten op het vasteland. Deel 1. *GEA*, 40(1), 14-21.
- Bruggeman, D., de Kool, D., van Meeteren, M., & Sansen, J. (2016). Overall stad? *AGORA Magazine*, 32(4), 4-6.
- Brunia, S., Buis, M., Donk, J., Elferink, C., IJzerman, K., Jansen, J., . . . van Kooten, M. (2006). Bomen bij de wortel aangepakt. Retrieved from [http://urbanforestry0.tripod.com/boekje\\_concept\\_URBAN\\_FORESTRY\\_19\\_12\\_05\\_75dpi.pdf](http://urbanforestry0.tripod.com/boekje_concept_URBAN_FORESTRY_19_12_05_75dpi.pdf)
- CanTERS, K. J. C. K. J., Kalkhoven, J. T. R. K. J. T. R., Laan, P. L. P., & Van Dorp, D. V. D. D. (1999). *Landschapsecologie: natuur en landschap in een veranderende samenleving*: Amsterdam : Boom.
- Carpenter, S. B., & Smith, N. D. (1981). A comparative study of leaf thickness among southern Appalachian hardwoods. *Canadian Journal of Botany*, 59(8), 1393-1396.
- Chen, D., Wang, S., Xiong, B., Cao, B., & Deng, X. (2015). Carbon/Nitrogen Imbalance Associated with Drought-Induced Leaf Senescence in *Sorghum bicolor*. *PloS one*, 10(8), e0137026. doi:10.1371/journal.pone.0137026
- Chirino, E., Vilagrosa, A., Hernández, E. I., Matos, A., & Vallejo, V. R. (2008). Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management*, 256(4), 779-785.
- Compo Expert. (2020). Infofiche: Agrosil® LR. Retrieved from [http://www.taymans.be/nl/system/files\\_force/attachments/Agrosil%20LR%20NL.pdf?download=1](http://www.taymans.be/nl/system/files_force/attachments/Agrosil%20LR%20NL.pdf?download=1)
- Das, D. K., & Dakshinamurti, C. (1975). Bentonite as a Soil Conditioner. In *Soil Conditioners* (pp. 65). Madison, WI: Soil Science Society of America.
- DCM. (2020). DCM Bio Bentoniet gesteentemeel 2Kg. Retrieved from <https://www.online-tuincentrum.be/Meststoffen/Bodemverbeteraars/DCM-Bio-Bentoniet-gesteentemeel-2Kg/>
- de Goederen, D. (2014). Roetschorsziekte in Nederland. *Tuin en landschap*.



- De Vos, B. (2005). *Bodemcompactie en de invloed op de natuurlijke verjonging van Beuk in het Zoniënwoud*. Retrieved from Geraardsbergen:  
<https://www.milieuinfo.be/dms/d/a/workspace/SpacesStore/7678783b-4e21-4f6d-ba9f-9e64bfbac0a4/184543.pdf>
- Decoteau, D. R., Kasperbauer, M. J., & Hunt, P. G. (1989). *Mulch surface color affects yield of fresh-market tomatoes* (0003-1062). Retrieved from  
<https://pubag.nal.usda.gov/download/17874/PDF>
- Demir, Z. (2019). *Schriftelijke vraag nr. 85*. Retrieved from Vlaams parlement:  
<http://docs.vlaamsparlement.be/pfile?id=1506010>
- Earthmark. (2020). Irrigation System, Treediaper. Retrieved from  
<http://www.earthmark.co/irrigation-system.html>
- Ecostyle plantprofessional. (2020). Bentoniet. Retrieved from  
<https://www.ecostyle.be/professioneel/producten/bentoniet>
- Ecoturf. (2017). Case Study – Commerce City, Colorado. Retrieved from [https://13012cc3-4b24-032a-b93b-8aa16a47a8f0.filesusr.com/ugd/fb63bb\\_ffa889c151f54d598054d5c6f2f6938b.pdf](https://13012cc3-4b24-032a-b93b-8aa16a47a8f0.filesusr.com/ugd/fb63bb_ffa889c151f54d598054d5c6f2f6938b.pdf)
- Flexas, J., Gallé, A., Galmés, J., Ribas-Carbo, M., & Medrano, H. (2012). *The Response of Photosynthesis to Soil Water Stress* (978-3-642-32653-0). Retrieved from Berlin, Heidelberg:  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_5)
- Gallé, A., & Feller, U. (2007). Changes of photosynthetic traits in beech saplings ( *Fagus sylvatica* ) under severe drought stress and during recovery. *Physiologia Plantarum*, 131(3), 412-421. doi:10.1111/j.1399-3054.2007.00972.x
- Gallé, A., Haldimann, P., & Feller, U. (2007). Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak ( *Quercus pubescens* ) trees during drought stress and recovery. *New Phytologist*, 174(4), 799-810. doi:10.1111/j.1469-8137.2007.02047.x
- Gilman, E. (2020). Channeling roots under pavement. Retrieved from  
<https://hort.ifas.ufl.edu/woody/urban-sidewalk-channel2.shtml>
- Greenmax. (2020a). Producten & Diensten: AquaBag - slow release watering bags. Retrieved from  
<https://www.greenmax.eu/nl/bewatering-aquabag/>
- Greenmax. (2020b). Producten & Diensten: Sandwichpanel 74 - Sandwich Constructie. Retrieved from <https://www.greenmax.eu/nl/sandwichpanel74/>
- Groenendijk, P. (2015). Goede grond: goed voor landbouw, natuur en en waterbeheer.
- Hawver, G. A., & Bassuk, N. L. (2007). *Soils: The Key to Successful Establishment of Urban Vegetation* (978-1-4020-4289-8). Retrieved from Dordrecht: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8_10)
- Heicom. (2020). Heicom Sandwichconstructie. Retrieved from <https://www.heicom.nl/p/heicom-sandwichconstructie>
- Heremans, B. (2016). *Groeiomgeving onder Glas*: Odisee Hogeschool.
- Heremans, B. (2019). *Plantenvoeding*: Odisee Hogeschool.
- Hiemstra, J. A., & van der Sluis, B. J. (2009). *Klimaatverandering en het Nederlandse laanbomensortiment*. Retrieved from  
<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/200219>
- Hoffman, M. H. A. (2011). *Inheemse en uitheemse plantensoorten in stad en landschap*: Plant Publicity Holland (PPH).
- Intergrow. (2020). Karisol. Retrieved from  
<https://www.intergrow.be/nl/store/groenteteelt/bodemverbeteraars/karisol>
- Joye, T., Ramaekers, J., Herp, P. V., Wael, J. D., Geerts, P., & Schauvliege, M. (2008). *Technisch Vademecum Bomen*: Agentschap van Natuur en Bos.
- Kaljee, H. (2015). Urbanisatie en klimaatverandering vraagt om een optimale bodem. *Groen: Vakblad voor ruimte in stad en landschap*, 10, 9-11.

- Keizer, G. J. (2019). *Mycological Tree Assessment: Geen bomen zonder zwammen*: Inverde en Natuur en Bos van de Vlaamse Overheid.
- Kemmers, R. H., & Mekking, P. (2001). *Humus een bron van rijkdom* (0028-2057). Retrieved from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/114238>
- Kleiman, D., & Aarssen, L. W. (2007). The leaf size/number trade-off in trees. *Journal of Ecology*, 95(2), 376-382.
- Kopinga, J. (2018). Bomen en droogte. *Bomennieuws, winter 2018*, 5-6.
- Leijten, S., Rietdijk, M., & De Haan, G. (2017). *Met de BGT op tijdreis door de openbare ruimte*. Retrieved from [https://www.vngrealisatie.nl/sites/default/files/2017-08/30-33\\_Met%20de%20BGT%20op%20tijdreis\\_Geo-Info%203%202017.pdf](https://www.vngrealisatie.nl/sites/default/files/2017-08/30-33_Met%20de%20BGT%20op%20tijdreis_Geo-Info%203%202017.pdf)
- Mak, G. (2007). *De goede stad*: Atlas Amsterdam.
- Marchin, R., Zeng, H., & Hoffmann, W. (2010). Drought-deciduous behavior reduces nutrient losses from temperate deciduous trees under severe drought. *Oecologia*, 163(4), 845-854. doi:10.1007/s00442-010-1614-4
- May, P. (2009). Can street trees survive drought? The answer lies in the soil! Retrieved from [https://www.treenet.org/wp-content/uploads/2017/08/2009\\_SymposiumProceedings\\_FINAL.pdf#page=119](https://www.treenet.org/wp-content/uploads/2017/08/2009_SymposiumProceedings_FINAL.pdf#page=119)
- Mi, J., Gregorich, E. G., Xu, S., McLaughlin, N. B., Ma, B., & Liu, J. (2017). Effect of bentonite amendment on soil hydraulic parameters and millet crop performance in a semi-arid region. *Field Crops Research*, 212, 107-114. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.009>
- Mishra, A. K., Kumar, B., & Vadlamudi, S. (2017). Prediction of hydraulic conductivity for soil-bentonite mixture. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(8), 1625-1634. doi:10.1007/s13762-017-1247-9
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of soil behavior* (Vol. 3): John Wiley & Sons New York.
- Mohren, G. M. J. (1993). Waterrelaties van bomen en de rol van water bij de groei. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*, 6, 280-287.
- Moraal, L. G. (1996). *Aantastingen door insecten en mijten in 1995: in bossen, natuurgebieden en wegbepantingen*. Retrieved from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/114960>
- Moraal, L. G. (2009). Klimaatverandering en insectenplagen. Wat kunnen we verwachten? *Vakblad Natuur Bos Landschap*, 2009(juni), 22-23.
- Munné-Bosch, S., & Alegre, L. (2004). Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, 31(3), 203-216.
- Nimah, M. N., Ryan, J., & Chaudhry, M. A. (1983). Effect of synthetic conditioners on soil water retention, hydraulic conductivity, porosity, and aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 47(4), 742-745.
- Norminstituut Bomen. (2018). *Handboek Bomen 2018*. Retrieved from [https://www.gelderland.nl/bestanden/Documenten/Gelderland/05Verkeer-en-vervoer/2018%20-%20Q2/180501\\_handboek\\_bomen\\_2018.pdf](https://www.gelderland.nl/bestanden/Documenten/Gelderland/05Verkeer-en-vervoer/2018%20-%20Q2/180501_handboek_bomen_2018.pdf)
- Patterson, J. C., Murray, J. J., & Short, J. R. (1980). The impact of urban soils on vegetation. In R. Munné-Bosch, G. M. J. Mohren, G. van Middelkoop, J. Ouweltjes, W., & Wemmenhove, H. (2019). *Handboek melkveehouderij 2019/20*. Retrieved from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/498270>
- Roloff, A., Bonn, S., & Gillner, S. (2008). Baumartenwahl und Gehölzverwendung im urbanen Raum unter Aspekten des Klimawandels. *Forstwiss. Beitr. Tharandt/Contr. For. Sc. Beiheft*, 7, 92-107.
- Schils, R. L. M. (2012). *30 vragen en antwoorden over bodemvruchtbaarheid*. Retrieved from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/211205>
- Schroevers, P. J. (1982). *Landschapstaal: een stelsel van basisbegrippen voor de landschapsecologie*: Pudoc.

- Schuring, W., & Das, C. (1998). In voor-of najaar verplanten? Een proef met gewone esdoorn. *Nederlands Bosbouw tijdschrift*, 70(2), 66-69.
- Shah, A., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, G., Fahad, S., Ali, S., . . . Souliyanonh, B. (2017). Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(11), 10056-10067. doi:10.1007/s11356-017-8421-y
- Sloup, J., & Salaš, P. (2009). Affecting the quality of nursery produce by soil conditioners. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 57(4), 103-108. doi:10.11118/actaun200957040103
- Sneep, W. (2017). *Wat hebben bomen in de hoogstedelijke omgeving nodig?* Retrieved from <https://www.boomzorg.nl/upload/tijdschriften/maatwerk%20voor%20bomen.pdf>
- Spriensma, J. H., & Ravesloot, M. B. M. (1999). *Informatiepakket verplanten van laanbomen: een verzameling wetenswaardigheden die van invloed zijn op de aanslag en hergroei van laanbomen* (0926-4531). Retrieved from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/1123>
- Tritsmans, B. (2016). *'Bomen zijn waardevolle bijkomstigheden': Stedelijk groen in Antwerpen 1859-1973*: Universitaire Pers Leuven.
- Urban Forestry Department Richmond Virginia. (2016). Treediaper. Retrieved from [https://13012cc3-4b24-032a-b93b-8aa16a47a8f0.filesusr.com/ugd/fb63bb\\_736b987e6dea49ccb059283d398c8950.pdf](https://13012cc3-4b24-032a-b93b-8aa16a47a8f0.filesusr.com/ugd/fb63bb_736b987e6dea49ccb059283d398c8950.pdf)
- Van den Bergh. (2020). Bodemverbeteraars. Retrieved from <http://www.vandenbergh.co/producten/22/105/Productassortiment%20Golfterreinen%20Bodemverbeteraars>
- van der Bolt, F., Cornelis, W., de Pue, J., Hendriks, R., van den Akker, J., Massop, H., . . . Vos, J. (2016). *Bodemverdichting in Vlaanderen: Gevolgen van bodemverdichting op het watertransport door een bodem* (1566-7197). Retrieved from <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/387766>
- van der Maas, M. P. (2008). *Stikstofbestedingsadvies blauwe bes in relatie tot afdekmaterialen*. Retrieved from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/290764>
- van der Sluis, B. J. (2014). Toepassing van grasstroken in laanbomen: optimaliseren van de groei laanbomen bij toepassing van grasstroken. Retrieved from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/298346>
- Verbart, J. S. (2004). *Management van ruimtelijke kwaliteit: De ontwikkeling en verankering van inrichtingsconcepten in het Utrechtse stationsgebied*: Eburon Uitgeverij BV.
- Verkooijen, R., & Willems, J. (2016). Roetschorsziekte nu ook in Nederland. *TBV – Tijdschrift voor Bedrijfs- en Verzekeringsgeneeskunde*, 24(4), 166-167. doi:10.1007/s12498-016-0065-1
- Vilagrosa, A., Chirino, E., Peguero-Pina, J. J., Barigah, T. S., Cochard, H., & Gil-Pelegrín, E. (2012). Xylem Cavitation and Embolism in Plants Living in Water-Limited Ecosystems. In R. Aroca (Ed.), *Plant Responses to Drought Stress: From Morphological to Molecular Features* (pp. 63-109). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Vilagrosa, A. A., Chirino, E. E., Peguero-Pina, J.-J. J. J., Barigah, T. S. T. S., Cochard, H. H., & Gil-Pelegrin, E. E. (2012). *Xylem cavitation and embolism in plants living in water-limited ecosystems*: Springer.
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2008). *MIRA-T 2008 Milieurapport Vlaanderen Indicatorrapport*. Retrieved from <https://lv.vlaanderen.be/nl/voorlichting-info/publicaties/praktijkguiden/water/duurzaam-watergebruik-algemeen/belang-van-1>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2019). Droogte. Retrieved from <https://klimaat.vmm.be/droogte>
- Voeten, J., & Van Etten, B. (2014). ISA European Conference of Arboriculture 2014.
- Vogel, S. (2012). *The life of a leaf*: University of Chicago Press.
- Weemstra, M., Mommer, L., Goudzwaard, L., Mohren, F., & Sterck, F. (2018). Boomwortels: de verschillende ondergrondse strategieën van bomen. *Vakblad Natuur Bos Landschap*(5), 3-5.

- Willems, P. (2019). *Klimaatverandering en urbanisatie: zowel meer overstromingen als meer droogte in Vlaanderen*. Retrieved from [https://www.kuleuven.be/hydr/ci/CCI-HYDR\\_fl.htm](https://www.kuleuven.be/hydr/ci/CCI-HYDR_fl.htm)
- Xiao, Q., & McPherson, E. G. (2002). Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. *Urban Ecosystems*, 6(4), 291-302. doi:10.1023/B:UECO.0000004828.05143.67
- Young, F. R. (1999). *Cavitation*. Retrieved from <https://cds.cern.ch/record/453678>

## LIJST VAN BIJLAGEN

### BIJLAGE 1: TABEL DROOGTERESISTENTE SOORTEN

Naam	KLAM-indeling
<i>Acer campestre</i>	1.1
<i>Acer opalus</i>	1.2
<i>Acer platanoides</i>	2.1
<i>Acer rubrum</i>	1.2
<i>A. x zoeschense</i>	2.1
<i>Aesculus x carnea</i>	2.1
<i>Ailanthus altissima</i>	1.2
<i>Alnus cordata</i>	2.2
<i>A. x spaethii</i>	2.1
<i>Betula pendula</i>	2.1
<i>Carpinus betulus</i>	2.1
<i>Catalpa speciosa</i>	1.2
<i>Celtis australis</i>	1.3
<i>Corylus colurna</i>	2.2
<i>Fraxinus angustifolia</i>	1.2
<i>F. excelsior</i>	2.2
<i>F. ornus</i>	1.4
<i>F. pennsylvanica</i>	2.1
<i>Ginkgo biloba</i>	1.2
<i>Gleditsia triacanthos</i>	1.2
<i>Idesia polycarpa</i>	1.4
<i>Liquidambar styraciflua</i>	2.3
<i>Morus alba</i>	1.3
<i>M. nigra</i>	2.3
<i>Ostrya carpinifolia</i>	1.1
<i>Phellodendron amurense</i>	2.2
<i>P. sachalinense</i>	1.1
<i>Platanus hispanica</i>	1.2
<i>Populus x berolinensis</i>	2.1
<i>Quercus bicolor</i>	1.1
<i>Q. cerris</i>	1.2
<i>Q. frainetto</i>	1.2
<i>Q. imbricaria</i>	2.2
<i>Q. macrocarpa</i>	1.1
<i>Q. palustris</i>	2.2
<i>Q. petraea</i>	2.2
<i>Q. rubra</i>	2.2
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1.1
<i>Sophora japonica</i>	1.2
<i>Sorbus aria</i>	1.1
<i>S. domestica</i>	1.2
<i>S. intermedia</i>	2.1
<i>S. latifolia</i>	1.2
<i>S. x thuringiaca</i>	1.1
<i>Tilia cordata</i>	2.1
<i>T. x euchlora</i>	2.1
<i>T. mandshurica</i>	1.1
<i>T. tomentosa</i>	1.2
<i>Ulmus pumila</i>	1.1
<i>Zelkova serrata</i>	2.2