

Rapport

Evaluatie van boomgranulaat in Nederland



Jannes Hoppenbrouwer



Colofon

Datum	7 juni 2018
Document	Rapport,
Titel	De evaluatie van boomgranulaat in Nederland
Auteur	Jannes Hoppenbrouwer
Afbeeldingen	Jannes Hoppenbrouwer
Opleidingsinstituut	Hogeschool Van Hall Larenstein
Begeleiders	Wendy Batenburg [Terra Nostra] Richard Kraaijvanger [Van Hall Larenstein] Dirk Doornenbal [Nationale Bomenbank]
Formaat	Standaard A4
Afbeelding voorpagina	Jannes Hoppenbrouwer
Status	Definitief



Voorwoord

Het afstuderen is het kroonstuk op je studie. Met de hulp van de hierna genoemde personen is dit rapport tot stand gekomen. Graag bedank ik een aantal mensen.

Wendy Batenburg voor haar inhoudelijke ondersteunen, bewaking van de voortgang en kritische blik in het met name kort en bondig schrijven van het rapport. Alle andere collega's van Terra Nostra voor de gegeven aanwijzingen voor het verloop van mijn onderzoek. Het zijn erg leerzame ervaringen geweest om meerdere keren mee te lopen en uitleg van hen te krijgen.

Dirk Doornenbal, voor de introductie van het onderwerp boomgranulaat en de mogelijkheid die mij is geboden om het uitgebreide groene netwerk van Nationale Bomenbank te gebruiken.

Mijn begeleidende docent Richard Kraaijvanger voor zijn sturing en advies in de onderzoekwijze, dataverwerking en de rapportage.

Hans Jacobse voor de adviezen in het opzetten van mijn onderzoekplan. Het discussiëren over de beste aanpak van dit onderzoek en de introductie bij de groep van het ISB.

De Intergemeentelijke Studiegroep Boomverzorging (ISB) voor haar actieve houding en kritische blik tegenover mijn onderzoekswijze en de aangereikte verbeterpunten.

Dank aan alle gemeenten die gegevens en informatie hebben aangeleverd voor mijn onderzoek. Veel van hen waren enthousiast over het onderzoek. Ondanks drukke agenda's hebben veel groenbeheerders tijd vrijgemaakt om op zoek te gaan naar de benodigde documenten.

Als laatste zou ik nog Teije de Haan van boomkwekerij Lappen hartelijk willen bedanken dat ik de mogelijkheid heb gekregen om een aantal bomen te bemonsteren op de kwekerij.

Samenvatting

Boomgranulaat maakt het mogelijk om op voorheen onmogelijke plekken toch een boom te planten. Het werkveld weet echter niet hoe de resultaten op de lange termijn van het groeimedium zijn. Om beter inzicht hierin te krijgen is dit onderzoek ingezet. Op vier manieren is onderzoek gedaan naar het resultaat van boomgranulaat in Nederland.

- Literatuuronderzoek
- Interviews met groeiplaatsdeskundigen
- Enquête onder groenbeheerders van gemeenten
- Veldonderzoek naar het resultaat van boomgranulaat op de bomen.

In totaal zijn 370 bomen onderzocht verspreid over 24 locaties. In het veldonderzoek is een heel wisselend resultaat gevonden. Op de locaties tussen de bomen waren geen grote variaties. Tussen de locaties zijn grote verschillen waargenomen in zowel conditie, mate van opdruk en groei. In totaal hadden 45% van alle bomen in granulaat een verminderde conditie. De kanttekening moet echter gezet worden dat leeftijd van de groeiplaats geen verklaring is voor een verminderde groeieresultaat. Andere factoren hebben invloed op het groeieresultaat. Het is nog onbekend wat deze factoren precies zijn.

De resultaten van de enquête onder groenbeheerders gaf een overwegende positieve mening over boomgranulaat. 45% van de respondenten gaf aan dat zij boomgranulaat als een goed groeimedium zien voor een groei langer dan 15 jaar.

In Zweedse en Amerikaanse literatuur is gevonden dat bomen langdurig kunnen groeien in boomgranulaat. Mits de verwerking en aanleg van het boomgranulaat op een juiste manier heeft plaatsgevonden. Aanwijzingen gevonden voor de beste technieken om voor ondergronds onderzoek te doen naar de beworteling in boomgranulaat. De inzet van een grondradar en een chlorofylfluorescentiemeting is de beste optie voor non-destructief onderzoek. Wanneer de mogelijkheid zich voordoet dat een boom uit granulaat wordt gehaald dan is de beste manier om dit te doen met de inzet van een grondzuiginstallatie een Airspade.

Wat is vastgesteld is dat boomgranulaat geen wondermiddel is. Een ruim aandeel van de bomen in boomgranulaat had een verminderde conditie. Aanvullend onderzoek is nodig om beter invulling te kunnen geven wat de oorzaken zijn van succes of geen succes. Op dit moment is er onvoldoende onderbouwing voor een duidelijk oordeel over het toekomstperspectief van de bomen in 1^e generatie boomgranulaat.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	4
Begrippenlijst	6
1. Inleiding	8
2. Doelstelling	10
2.1 Hoofd en deelvragen:	10
3. Onderzoekswijze	11
3.2 Veldonderzoek	12
3.2.1. Referentiebomen	13
3.2.2. Parameters opgenomen tijdens veldwerk	14
3.2.3. Verwerken van de veldgegevens:	16
3.3 Literatuuronderzoek	17
3.4 Interviews groeiplaatsdeskundigen	18
3.5 Peilende enquête ervaring gemeenten en boomgranulaat	18
4. Resultaten	19
4.1 Uitkomsten veldonderzoek	19
4.2 Uitkomsten literatuuronderzoek:	36
4.3 Uitkomsten enquête:	42
4.3.1 Gesloten vragen	42
4.3.2. Open vragen	45
4.3.3 Conclusie enquête	47
5. Conclusie	48
6. Reflectie	50
7. Aanbevelingen	54
Bibliografie	55

Begrippenlijst

- **Aanrijschade**
Schade aan de stam van de boom vanwege niet oplettende bestuurders.
- **Airspade**
Apparatuur die lucht onder een hoge druk door een lans heen blaast waarmee met luchtkracht aarde of ander materiaal kan wegblazen zonder de wortels van een boom zwaar te beschadigen.
- **Beworteling**
Wortels van bomen of planten.
- **Boomgranulaat:**
Door de mens gefabriceerd materiaal wat maximaal verdicht kan worden en toch wortelgroei van bomen mogelijk maakt.
- **Boomsubstraten:**
Een verzamelterm voor groeimediums speciaal ontworpen voor bomen in verharding.
- **Bomenzand:**
Een groeimedium met als basismateriaal silica-zand en een compost. Geschikt onder verharding met lichte belasting van voet- of fietsverkeer.
- **Begeleidingssnoei**
Het snoeien van bomen met als doel een takvrije zone creëren om verkeer vrij onder bomen door te kunnen laten rijden.
- **Boomtechnische onderzoeken**
Een verzamelterm voor alle resultaten van onderzoeken en meetbare gegevens over de conditie of invloeden van de omgeving op de bomen
- **Civieltechnisch resultaten**
Een verzamelterm voor alle resultaten van de grond, weg en waterbouwtechnieken.
- **Diameter Borst Hoogte, DBH**
De diameter van de stam gemeten op een hoogte 130cm vanaf het maaiveld.
- **(Non) Destructief onderzoek**
Het doen van onderzoek dat leidt tot een (on)herstelbare verandering ten opstelling van de originele situatie.
- **Groeiplaats:**
Een door de mens aangelegde ondergrondse plek voor planten of bomen om in te groeien.
- **Groeimedium:**
Door de mens samengesteld materiaal wat een groeiplek biedt voor de wortels van planten of bomen.
- **Groeischeutlengte:**
De lengtes van nieuw aangemaakte takken van een boom in verloop van jaren.
- **Grondzuiginstallatie**
Een installatie op een vrachtwagen die grond kan opzuigen en verzamelen.
- **Grondradar**
Een systeem dat beworteling of bekabeling in kaart brengt door middel van het uitsenden van radarsignalen in de ondergrond die worden vertaald naar een 2D of 3D beeld op de computer.
- **Leefomgeving**
Het leefgebied van de mens waar alle activiteiten worden ondernomen, voorbeelden zoals recreëren, zichzelf verplaatsen of werken.
- **Middenkroon**
Takscheuten uit het midden van de kroon

- **Macrofauna**
Bodemleven bestaande uit grotere insecten, slakken of wormen die helpen bij het mengen en omzetten en van bladafval in strooisel. (4-250mm) (Delft, Waal, Kemmers, & Mekking, 2017)
- **Mesofauna:**
Bodemleven bestaande uit mijten, aaltjes en springstaarten tussen de 0,2-4mm groot. Dit bodemleven verteert het strooisel verder naar organische stof (Delft, Waal, Kemmers, & Mekking, 2017)
- **Microfauna:**
Bodemleven van schimmels en bacteriën die het organische stof omzetten in bruikbare stoffen voor de aanwezige vegetatie. (Delft, Waal, Kemmers, & Mekking, 2017)
- **Openbare buitenruimte:**
Een allesomvattende term voor de ruimte beheerd door de overheid, waar iedereen in de maatschappij gebruik van kan maken.
- **Opengrondsituatie:**
Een groeiplaats waar geen verharding onder de kroon van de boom is aangebracht en waarvan de grond niet zwaar is verdicht.
- **Representatieve bomen**
Een boom die goed het gemiddelde beeld voorstelt van alle bomen op die specifieke plek.
- **Open, half of gesloten verharding**
Een vakterm over de hoeveelheid kieren die in het straatwerk mogelijkheid biedt tot uitwisseling van vocht, voeding of lucht met het ondergrondse.
- **Verdichting:**
De mate hoeveel een grond compact is gemaakt door menselijk handelen.
- **Parameters**
Meetbare indicatoren die aangeven in welke conditie een boom is.
- **Skeletstructuurgrond:**
Een groeimedium dat zware verkeersdruk opvangt door een grondskelet van breuksteen of een harde lava-soort.
- **Vochthoudend vermogen**
De mate waarin een groeimedium water vasthoudt in een bepaalde vaste tijd. Hoe hoger het vasthoudend vermogen hoe meer vocht beschikbaar is voor de boom.
- **Zwaar verdicht:**
Maximale verdichting van de grond zodat de draagkracht maximaal is en de nazakking gering.

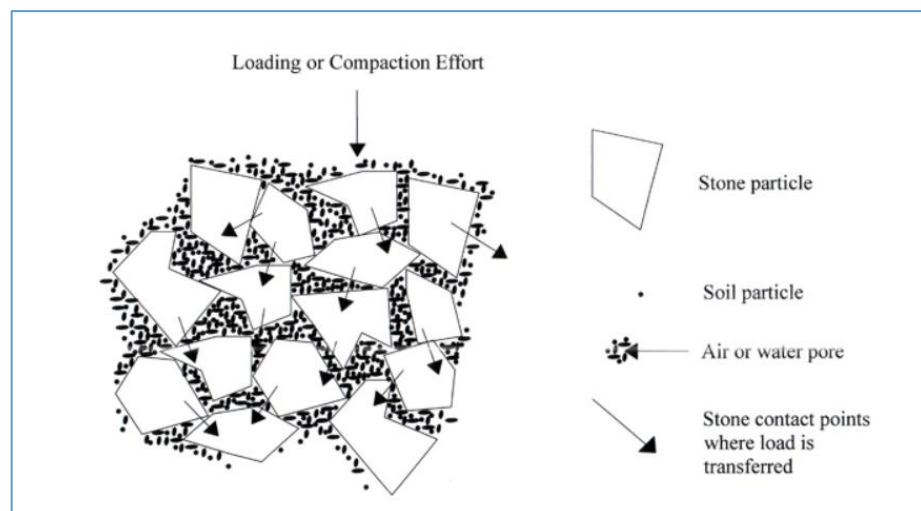
1. Inleiding

Bomen in de stad hebben in vele opzichten een positieve invloed op het klimaat en de mensen. Dit worden ecosysteemdiensten genoemd. De stad is echter verre van ideaal voor de bomen. De grond in de stad is vaak zwaar verdicht om de belasting van het verkeer aan te kunnen. Dit heeft als gevolg dat op veel plekken de grond hierdoor ongeschikt is geworden voor bomen om in te groeien. Een goede infrastructuur in de stad heeft echter een hoge prioriteit. Om twee tegenstrijdige belangen te verenigen is boomgranulaat bedacht. Een materiaal waarin de boom met de wortels kan groeien ondanks een zware verkeersbelasting. Het boomgranulaat maakt het mogelijk om op voorheen onmogelijke plekken toch een boom te planten. De eerste testen waren veelbelovend. De eerste vijf jaren zorgden het boomgranulaat voor een goede groei van de boom. Hoe de toekomst eruit ziet na deze vijf jaar is onbekend.

Basisprincipe boomgranulaat

Het zwaar verdichten van de grond voorkomt verzakkend straatwerk. Dit verdichten zorgt echter voor een hele compacte grond. De verdichte compacte grond belemmert wortelgroei voor een boom, waardoor uiteindelijk een zuurstof-, water- en voedingstekort optreedt.

Dit leidt tot een afnemende conditie en uiteindelijk een stervende boom. Verzakkend straatwerk voorkomen kan enkel door de grond zwaar te verdichten. Boomgranulaat, structural-soil of load-bearing soil, is een materiaal wat door middel van een grondskeletsconstructie zwaar verdicht kan worden en toch wortelgroei mogelijk maakt. De lava of breukstenen vangen het gewicht op terwijl de ruimte tussen de grove fractie ruimte en voeding biedt voor de wortels (Bassuk J. G., 1996) (Grabosky & Bassuk, A new urban tree soil to safely increase rooting volumes under sidewalks, 1995). Figuur 1 is een schematisch tekening van de werking.



Figuur 1, Schematische weergave grondskeletconstructie onder verkeersdruk (Structural soil -part 2, 2014)

Het toepassen van boomgranulaat vereist concessies met de betrekking tot de groei van de boom, maar maakt het wel mogelijk. Voor een goede groei van bomen moeten vijf onderdelen in balans zijn (Prooijen, 2016) (Herwijnen, 2018).

1. Vochthuishouding
2. Zuurstofhuishouding
3. Organische stof gehalte
4. Bodemleven
5. Mineralen huishouding

1^e generatie boomgranulaat:

Boomgranulaat is in Nederland geïntroduceerd in 2001 door het bedrijf BSI Bomenservice. Het product BSI Boomgranulaat is op basis van een breuksteensoort genaamd grauwacke. 4 jaar na de marktintroductie kwamen concurrenten met eigen soorten boomgranulaten op basis van lava (Sneep, 2018).

De aanleg van boomgranulaat moest worden ontwikkeld. BSI Bomenservice hield de eigen geteste formule zorgvuldig geheim om de concurrentie voor te zijn. Het heeft enige tijd geduurd voordat gemeenten en andere bedrijven samenstelling, verwerking en de aanleg van boomgranulaat onder de knie hadden.

In 2011 is in het vakblad “Boomzorg” 3^e editie, een speciale uitgave uitgebracht over substraten (Boomzorg, 2011). Op dat moment is er ongeveer 10 jaar ervaring opgedaan met de samenstelling, verwerking en de aanleg van boomgranulaat. Vanaf dit punt wordt aangenomen dat de meeste kinderziektes zijn opgelost. De redenatie is dat de 1^e generatie boomgranulaten de producten waren waarbij de aanleg en samenstelling nog in ontwikkeling waren. Dit wordt daarom aangeduid als de 1^e generatie boomgranulaat.. Deze scriptie is expliciet gericht op de twee boomgranulaten die als eerste op de markt zijn gekomen. De boomgranulaten op basis van lava en grauwacke.

Wanneer boomgranulaat op de lange termijn geen goede groeiplaats biedt gaan steeds meer bomen achteruit in conditie. Een slechte of dode boom is niet alleen een onprettig gezicht, maar de boom levert dan ook maar minimale of geen ecosysteemdiensten. Voorbeelden van ecosysteemdiensten door een boom zijn: het opnemen van CO₂, afvangen van fijnstof en het verkoelen van de stedelijke omgeving.

Groeit een boom goed, dan zijn er maximale effecten waar de maatschappij profijt van heeft. De leefomgeving van bewoners rond grote goed groeiende bomen stijgt in kwaliteit onder andere door de gezondheidsvoordelen die bomen geven (People).

De juiste keuze in groeimedium voorkomt dat straten onnodig moeten worden opengebroken om slechte of dode bomen te herplanten door een onvoldoende groeiplaats. Dit zal veel materiaal, geld en energie schelen (Planet). Het geïnvesteerde geld van de gemeenten in de openbare ruimte wordt het meest efficiënt ingezet als de groeiplaatsen van bomen goed worden ingericht zodat de toekomst verwachting van bomen wordt verlengd.(Profit) Met dit verbeterd inzicht blijft de leefomgeving van hoge kwaliteit en zijn er maximale profijten van de ecosysteemdiensten van bomen in de stad te behalen.

Vooronderzoek naar objectieve internetbronnen en vakartikelen over de langetermijngroei van bomen in boomgranulaat leveren geen resultaten op. Om beter richting te geven aan het toekomstperspectief van het boomgranulaat is dit verkennend onderzoek gestart. Evaluatie van 10 jaar boomgranulaat in Nederland.

Aan de hand van vier soorten onderzoek is het vraagstuk onderzocht;

- Literatuuronderzoek
- Interviews met groeiplaatsdeskundigen
- Veldonderzoek naar de groeieresultaten
- Landelijke enquête bij groenbeheerders van Nederlandse gemeenten

Hoofdstuk 2 behandelt de doelstelling en de daaruit vloeiende hoofd en deelvragen.

Hoofdstuk 3 legt de onderzoekwijze uiteen. Hoofdstuk 4 behandelt en analyseert alle resultaten uit het onderzoek. In hoofdstuk 5 worden alle conclusies bijeengebracht.

Hoofdstuk 6 reflecteert op het onderzoeksproces. In hoofdstuk 7 komen alle aanbevelingen voor vervolgonderzoek aanbod.

2. Doelstelling

Het doel van het onderzoek is om te verkennen wat het toekomstperspectief is van bomen in boomgranulaat en hoe de toepassing verloopt van het groeimedium in de Nederlandse steden. Het is op dit moment onbekend of boomgranulaat een goede groeiplaats biedt voor bomen op de lange termijn. Boomadviesbureaus kregen steeds meer projecten waarbij bomen in granulaat onderzocht moesten worden vanwege verminderde condities. Over het algemeen wordt een onbalans in de voedingstoestand aangewezen als de oorzaak van de verminderde bomen. Voor gemeenten, leveranciers en boomadviesbureaus is het een grote onbekende factor of dit alleen losse gevallen zijn of een landelijke trend. Alle partijen hebben als hoofddoel goed groeiende bomen in de straten. Met dit onderzoek zal worden bijgedragen aan een verbeterd inzicht over groeimediums in combinatie met hoge verkeersbelasting.

2.1 Hoofd en deelvragen:

De hoofd en deelvragen zijn gevormd naar de eerder genoemde problemen en vragen over boomgranulaat. Door de deelvragen te beantwoorden zal oordeel gevormd kunnen worden over de hoofdvraag en levert het een verbeterd inzicht op over het toekomstperspectief en de toepassing van boomgranulaat.

Hoofdvraag

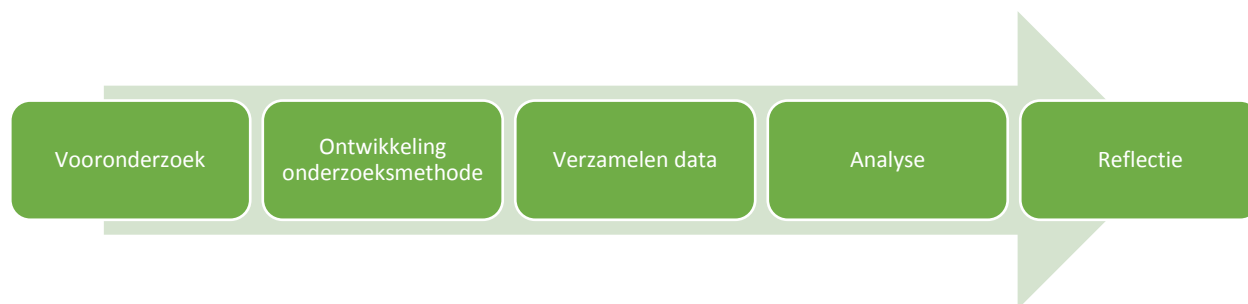
Hoe is de ontwikkeling van bomen in een groeiplaats van lava of grauwacke boomgranulaat met het aanlegmoment langer dan vijf jaar geleden?

Deelvragen

1. Hoe ver wijken de bovengrondse parameters af van bomen in een groeiplaats van lava of grauwacke boomgranulaat, in vergelijking met bomen van ongeveer dezelfde leeftijd staande in een opengrondsituatie?
2. Wat zijn de ervaringen bij gemeenten verspreid over Nederland met groeiplaatsen van lava of grauwacke boomgranulaat, waarbij de aanleg langer dan vijf jaar geleden heeft plaatsgevonden?
3. Welke ondergrondse kenmerken kunnen van invloed zijn op de lange termijn groeieresultaten van bomen staand in lava of grauwacke boomgranulaat?
4. Wat zijn de beste technieken voor onderzoek naar de beworteling van bomen staande in boomgranulaat?

3. Onderzoekswijze

In vijf stappen is het onderzoek opgezet. Vooronderzoek, ontwikkeling onderzoeksmethode, data verzamelen, data-analyse en reflectiefase. In figuur 2 is dit visueel gemaakt. Het vooronderzoek en de ontwikkelfase vonden plaats in de eerste vier weken. Het verzamelen van de data heeft een aanzienlijk langere tijd ingenomen dan van te voren was ingeschat. De twee grootste onderdelen hierin waren, het vormen van de enquête en de zoektocht naar boomgranulaat proeflocaties. Het veldwerk uitvoeren en analyseren van de enquêteresultaten heeft tegelijkertijd plaatsgevonden. De analyse van de veldgegevens heeft nog deels plaatsgevonden tijdens het opstellen van het rapport. Tijdens het opstellen van het rapport is direct gereflecteerd op het gedane onderzoeksproces.



Figuur 2, Onderzoeksprocesstappen

De basisopzet voor het onderzoek is gevonden in promotieonderzoek van professor Martin Edward Ely van de Adelaide University (Ely, 2010). De keuze voor kwalitatief en kwantitatief onderzoek en de inzet van de enquête is daaruit voortgekomen. Onderstaand de opzet van het eigen onderzoek:

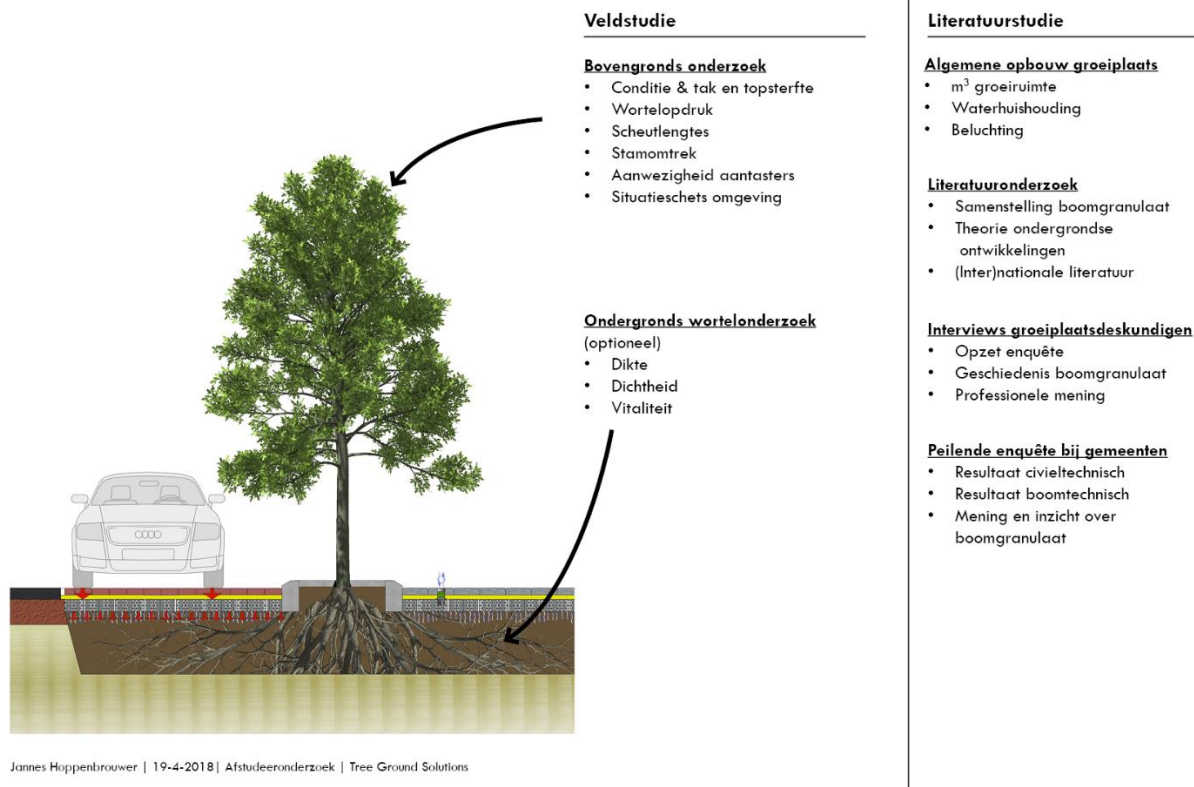
1. Verkennend literatuuronderzoek
2. Veldonderzoek
3. Enquête onder groenbeheerders van Nederlandse gemeenten
4. Diepte-interviews met groeiplaatsdeskundigen

Het eigen literatuuronderzoek zal gericht zijn op alle literatuur die bekend is omtrent boomgranulaat, load-bearing soil of structural soil. Hierin wordt specifiek gezocht naar de lange termijn ondergrondse groeiontwikkelingen en mogelijke manieren van bewortelingsonderzoek. Met de literatuurstudie kan deelvraag drie en vier het beantwoord worden. Het veldonderzoek geeft uiteindelijk antwoord op de eerste deelvraag over de groeieresultaten van boomgranulaat. De tweede deelvraag wordt beantwoord met de resultaten uit de enquête onder groenbeheerders. De interviews met groeiplaatsdeskundigen zijn breed inzetbaar op alle deelvragen. De meeste waarde zal liggen in de beantwoording van de laatste deelvraag.

Tekortkomingen uitvoering veldonderzoek

Idealiter is voor dit vraagstuk ondergronds onderzoek nodig naar de ontwikkelingen en beworteling van bomen in boomgranulaat. De afstudeeropdracht moest in een half jaar zijn afgerond. Het tijdsbestek van het onderzoek was te kort om uitgebreid ondergronds onderzoek uit te voeren. Hierdoor is besloten zoveel mogelijk plekken bovengronds te beoordelen op kwaliteit van de bomen alsmede het straatwerk (opdruk/verzakking). Dit biedt daarmee een verkenning van het resultaat van 1^e generatie boomgranulaat in Nederland. Alle bovenstaande informatie is samengebracht in figuur 3 op de volgende pagina.

Onderzoekswijze



Figuur 3, Visualisatie voorgenomen onderzoeksmethoden

3.2 Veldonderzoek

Overall in Nederland zijn boomgranulaatgroeiplaatsen aangelegd. De informatie ligt verspreid bij Nederlandse gemeenten over de precieze locaties, de tijd van aanleg en welk materiaal er is gebruikt. Voordat het veldwerk gestart kon worden moest informatie opgevraagd worden om te weten waar bomen in 1^e generatie boomgranulaat staan. Een mailing en belronde is gedaan naar het netwerk van de Nationale Bomenbank en leden van het ISB, Intergemeentelijk Studiegroep Boomverzorging. Hierin is gevraagd voor medewerking bij dit afstudeeronderzoek. Het ISB bestaat uit de 20 grootste gemeenten van Nederland, een expertgroep van het bedrijfsleven, de opleidingscentra Wageningen Universiteit en Hogeschool Van Hall Larenstein.

Vanuit de vraag om proeflocaties zijn ongeveer 450 bruikbare groeiplaatsen verzameld. Een selectie van al die locaties is gemaakt om ervoor te zorgen dat het veldwerk binnen twee weken afgerond kon worden. Om reistijd te beperken zijn plekken in de uiterste hoeken van Nederland overgeslagen. Plekken die langer dan 1,5 uur reizen waren van de twee beginpunten Rotterdam of Arnhem zijn niet meegenomen. Daarnaast is verkeersdrukte een beperkende factor geweest.

Het veldonderzoek is gevormd aan de hand van de VTA, Visual Tree Assessment met toevoegingen van een boomgranulaatonderzoek uit Amerika (Mattheck & Breloer, 1994) (Roloff, 2001) (Smiley, Calfee, Fraedrich, & Smiley, 2006). Bladmonster parameters zijn niet toegepast vanwege het 'verkeerde' seizoen waarin dit afstuderen valt.

Bij de uitvoering van het veldonderzoek is rekening gehouden met de regels omtrent veilig werken in de openbare ruimte. Tijdens het veldwerk is altijd een veiligheidshesje gedragen, wanneer de verkeersdrukte hoog was is de omgeving rond de werkplek afgezet met een draagbaar hekwerk of pionnen.

Met een veldcomputer en GeoVisia (Dataquint, 2015), zijn alle gegevens verzameld en digitaal gemaakt. Een paspoort is gemaakt met daarin alle gegevens en parameters. Overige observaties zijn daarnaast verwerkt in een opmerkingenveld in het boompaspoort. In bijlage 2 is een screenshot toegevoegd van het boompaspoort en de parameters.

In het veldonderzoek zijn de volgende gegevens of parameters opgenomen:

1. Uniek Boomnummer
2. Boomsoort
3. Locatie
4. Conditie
5. DBH
6. Mate van opdruk
7. Type opdruk
8. Bijzonderheden
9. Opmerkingen veld
10. Datum
11. Onderzoeker
12. Groeischeutlengtes

Om ervoor te zorgen dat er geen informatie verloren ging over de verschillende locaties zijn op elke plek foto's gemaakt van het veldwerk. Dit maakte het eenvoudig om een aantal zaken achteraf te bekijken of situaties te analyseren. De foto's zijn gemaakt om zeven situaties vast te leggen.

1. Algemeen straatbeeld
2. Verkeersdrukte
3. Omliggende bebouwing terreinen
4. Representatieve boom voor de locatie
5. Bomen met de beste en slechtste condities
6. Impressie straatwerk
7. Bijzonderheden

3.2.1. Referentiebomen

Een referentiegroep bomen is nodig om te kunnen vergelijken of bomen geplant in 1^e generatie boomgranulaat een te verwachten groei vertonen. Het achterhalen van bomen van hetzelfde plantjaar, boomcultivarsoort, staande in de stad en niet in boomgranulaat is als te complex geschat. Hierdoor is gekozen om te vergelijken met de optimumsituatie op de boomkwekerijen. Wanneer de mogelijkheid zich voordeed is gekozen voor een boom die op dezelfde locatie staat.

De referentiebomen waren van dezelfde boomcultivarsoort en een vergelijkbare stamdiameter. Tenzij de juiste stamdiameter niet beschikbaar was is gekozen voor een dikkere diameter die zo dicht mogelijk bij de gezochte maat aansloot. Per boomsoort is één boom bemonsterd voor takscheuten. Twee kwekerijen zijn gebruikt binnen het onderzoek. De boomkwekerij van Nationale Bomenbank in Bleskensgraaf en boomkwekerij Lappen in Duitsland. Bij het opnemen van de bomen op de kwekerijen zijn alle behandelmethodes opgevraagd over de snoei, meststoffen, verplantingen en de lokale grondsoort.

3.2.2. Parameters opgenomen tijdens veldwerk

Een verminderde conditie in de vorm van tak of topsterfte in de kroon van de boom kan een indicatie zijn dat er iets mis is met de groeiplaats. Een veelgebruikte term voor dit verschijnsel is “Kraaienhout” (Herwijnen, 2018). Door het laten sterven van de bovenste kroon kan een boom doorgroeien en kost het minder moeite om energie en voedingsstoffen in de middel kroon te krijgen. Voor veteranenbomen is dit insterven een natuurlijk proces. De bomen in boomgranulaat zijn maximaal 17 jaar oud. Een boom met een dergelijke leeftijd hoort geen tak- en topsterfte te vertonen. Bomen van deze leeftijd horen een maximale groeikracht te hebben. Om erachter te komen of de bomen tak en topsterfte vertonen vanwege een ongeschikte groeiplaats zijn de volgende parameters onderzocht.

Conditiebepaling

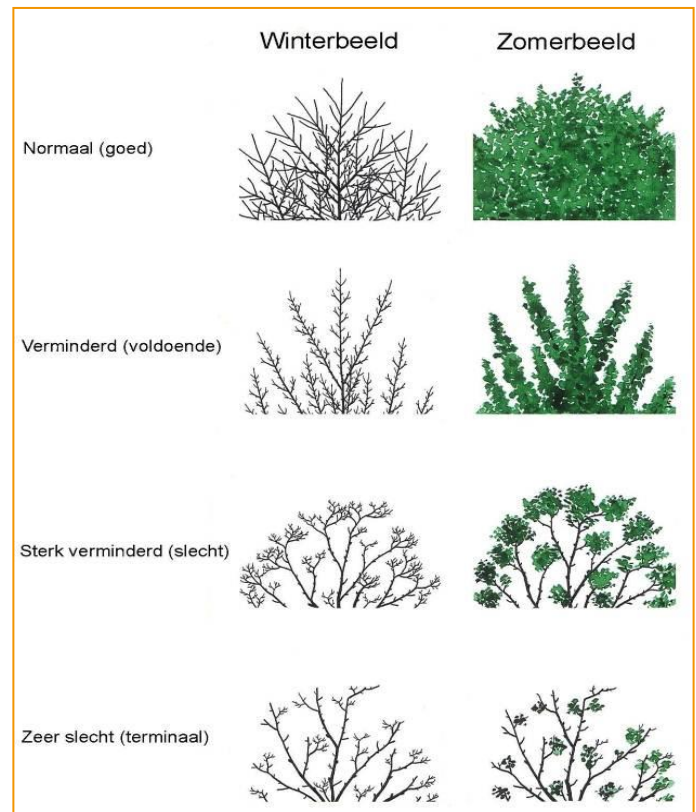
Voor het vaststellen van de conditie zijn de klassen gemaakt aan de hand van de vertakkingspatronen van Roloff. Zie figuur 4. Een uitvergroting hiervan is te vinden in bijlage 3. De categorie “Dood” is toegevoegd, omdat het in het veld kan voorkomen dat een boom al is gestorven voordat die uit de openbare ruimte is verwijderd.

Scheutlengte

De basis voor de veldmeetmethode is het stadsbomenvademecum 3a (Prooijen, Scheutlengteonderzoek, 2008) en praktijkervaringen binnen het adviesbureau Terra Nostra.

Om te zorgen voor een representatief beeld van de groei zijn scheuten geknipt uit de middenkroon. 3 takken per boom van verschillende zijden. Dit is gedaan met een knipschaar op een telescopische steel van 5,9 meter. Hiermee konden scheuten worden genomen tot een hoogte van 7 meter. Als bleek dat dit niet hoog genoeg was, werd gebruik gemaakt van een ladder.

Er is gekozen om 3 representatieve bomen per straat te beoordelen, mits het totaal aantal bomen op de locatie minder dan 10 is. Bij een locatie met meer dan 10 bomen, is 10-15% van het totale aantal bomen bemonsterd. Alle takken zijn na het knippen binnen een dag gemeten met een rolmaat. Het jongste lot van 2018 is niet gemeten, omdat het niet volgroeid is. De eerst daaropvolgende verhouten scheut is gemeten. De groeischeut van het jaar 2017. Alles is in millimeters genoteerd.



Figuur 4: Classificaties conditie naar A. Roloff. (Roloff, 2001)



Figuur 5: Impressie veldwerk (J. Hoppenbrouwer)

Stamdiameter

De stamdiameter is gemeten met een pi-meetband op een hoogte van 130cm vanaf het maaiveld. Dezelfde stamdiameter is vergeleken met een referentieboom. Als de originele aanplantmaat is gegeven door de gemeenten is de verlopen groei door de jaren heen berekend.

Aanwezigheid aantasters

De klassen die zijn gemaakt: Aanrij-, Vraatschade of infectiesymptomen, overig zie opmerkingen.

Opdruk straatwerk

Het opdrukken van het straatwerk kan een signaal zijn dat de boomwortels op zoek zijn naar betere groeiomstandigheden dan de groeiplaats waar ze in staan. (Prooijen, Relatie boom en groeiplaats, 2016) De mate van opdruk biedt een indicator dat er iets mis is met de groeiplaats, maar wijst geen oorzaak aan. Ook dient er rekening gehouden te worden met boomsoorteigenschappen. Enkele boomsoorten drukken sneller straatwerk op vanwege het soort wortelsstelsel dat zij vormen. Een viertal maten voor opdruk zijn gedefinieerd om de opdruk meetbaar en vergelijkbaar te maken voor de verschillende locaties in Nederland.

Onderstaand de vier maten van opdruk:

- Geen
- 0 - 2,5 cm
- 2,5 - 5,0 cm
- 5,0 – 10 cm

Wanneer de oorzaak voor de opdruk of verzakking in veld is gevonden is dit beschreven in een opmerkingenveld. Voorbeelden van de drie soorten opdruk staan in bijlage 5.

3.2.3. Verwerken van de veldgegevens:

Naast de totale score voor alle boomgranulaat groeiplaatsen zijn er categorieën en splitsingen aangebracht in de veldgegevens. Allereerst is een splitsing gemaakt tussen lava en grauwacke groeiplaatsen. Hiermee kan hopelijk beter inzicht gegeven worden in verschillen en scores tussen de beiden materialen. Dit is verder opgesplitst in vier categorieën op basis van de systematiek van een Boom Effect Analyse.

Verwachting bij een onveranderde situatie:

- Goed Levensverwachting langer dan 15 jaar
- Redelijk Levensverwachting tussen de 10 en 15 jaar
- Matig Levensverwachting tussen de 5 en 10 jaar
- Slecht Levensverwachting tot 5 jaar

De factor die de indeling maakt is de hoogte van het percentage bomen met een normale conditie op de specifieke locatie, met dezelfde boomsoort. Wanneer minder dan 25% van de bomen een normale conditie heeft valt dit in de categorie slecht. Wanneer meer dan 75% van de bomen een voldoende conditie heeft dan valt de locatie in de categorie goed. Onderstaand de gebruikte indeling:

Percentage bomen met een normale conditie:

- Slecht minder dan <25% met een normale conditie
- Matig Tussen de 25 en 50% met een normale conditie
- Redelijk Tussen de 50-75% met een normale conditie
- Goed Meer dan 75% met een normale conditie



Figuur 6, Van links naar recht. Bomen in sterk verminderde of normale conditie. Op het Afrikaanderplein in Rotterdam (J. Hoppenbrouwer)

3.3 Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek is gestart waarbij drie doelen zijn gesteld. Er is specifiek gezocht naar hoe de ontwikkeling van de wortelkluit verloopt in het boomgranulaat, de beste onderzoeksmanieren en artikelen die duidelijkheid geven over het toekomstperspectief van bomen in boomgranulaat.

Voor het literatuuronderzoek zijn verschillende zoektechnieken en zoekmachines gebruikt. De databank "Groen kennisnet" en de zoekmachines Google Scholar en Greenl Global Search zijn ingezet. Bij het vinden van relevante artikelen is altijd bekeken of de verwijzingen in de artikelen nuttige titels, verwijzingen of synoniemen bevatten over boomgranulaat. Op deze manier zijn verschillende zoekwoorden gevonden. De synoniemen die zijn gebruikt waren:

- ❖ grondskeletstructuurgrond,
- ❖ boomgranulaat,
- ❖ boomsubstraat,
- ❖ groeimedium,
- ❖ lange termijn groei,
- ❖ ondergrondse ontwikkelingen,
- ❖ BSI Boomgranulaat,
- ❖ lava boomgranulaat
- ❖ Load-bearing soil, structural soil,
- ❖ urban soils,
- ❖ skeletal soils,
- ❖ long term growth,
- ❖ grow medium,
- ❖ tree development.

Relevante bronnen zijn opgenomen in het rapport wanneer deze informatie boden voor een van de drie eerder genoemde doelen of beantwoording voor een van de deelvragen.

3.4 Interviews groeiplaatsdeskundigen

De interviews met groeiplaatsdeskundigen hebben door het hele onderzoekproces plaatsgevonden. In de vooronderzoeksfase hadden de interviews meer een oriënterend karakter. Achtergrondinformatie is opgedaan over de toepassing boomgranulaat en de manieren hoe het vraagstuk onderzocht kon worden. In de volgende fase, de onderzoek-ontwikkelingsfase is gekeken welke methode het beste in het eigen onderzoek toegepast kon worden. Daarnaast is mening en inzicht gegeven over de enquêtevragen voor de groenbeheerders. In de uitvoeringsfase zijn meer verdiepende vragen over boomgranulaat en de onderzoekmanieren gesteld.

Elk interview is van te voren voorbereid met unieke vragen over boomgranulaat. Op verschillende manieren zijn de interviews door persoonlijke gesprekken, telefonisch en per e-mail. Van elke conversatie is een gespreksverslag gemaakt die ter controle is opgestuurd naar de betreffende persoon. Dit had als doel het vastleggen van de bevindingen uit het gesprek en tevens de mogelijkheid geven om foute interpretaties te corrigeren. De informatie uit de interviews zijn verwerkt binnen het hoofdstuk resultaten. Met de volgende personen is gesproken:

- Hans Kaljee, boomconsulent van gemeente Amsterdam en lid van het ISB.
- Erwin van Herwijnen, van Tree Ground solutions te Amsterdam.
- Els Couenberg, bomendeskundige en lid ISB.
- J. Grabosky, professor Urban Forestry, Rutgers State University, in New Jersey.

3.5 Peilende enquête ervaring gemeenten en boomgranulaat

Nederlandse gemeenten zijn eigenaar van de bomen waarbij boomgranulaat is toegepast. De groenbeheerders van de gemeenten zijn daarmee de beste aanspreekpunten om te vragen naar de bevindingen van hen over boomgranulaat. Om efficiënt en professioneel de reacties te verzamelen is besloten gebruik te maken een enquête via een SurveyMonkey. Een internationaal enquêteplatform waarmee eenvoudig grote groepen online geënquêteerd kunnen worden en de uitkomsten kunnen worden geanalyseerd (SurveyMonkey, 2018).

Voor het maken van de enquêtevorm is gekozen om een mix te maken van open en gesloten vragen in de enquête. Dit naar voorbeeld van het eerder genoemde Australische onderzoek (Ely, 2010). Er is gestreefd naar een neutrale enquête die niet stuurde naar een negatief of positief antwoord over boomgranulaat. Bij elke vraag is de optie geboden om “geen oordeel” of “neutraal” in te vullen. Met meerkeuze vragen is gemeten wat de algemene tevredenheid is over zowel de civieltechnische alsmede de boomtechnische resultaten van boomgranulaat. Met klassen of het aangeven van punten 1 t/m, 10, is de tevredenheid in kaart gebracht. De open vragen hadden als insteek om persoonlijk inzicht te kunnen delen over het vraagstuk. Deze verschillende inzichten en ervaringen kunnen interessante informatie geven over de huidige toepassing en toekomst van het boomgranulaat.

Om de respons hoog te houden is een vragenlijst opgesteld die relatief snel kon worden ingevuld, circa 7 minuten. Daarnaast is drie weken na het uitsturen van de enquête een herinneringsmail verstuurd. De enquête is verspreid in de netwerken van het ISB en de Nationale Bomenbank. In totaal is de enquête uitgestuurd naar 350 geadresseerde.

Alle resultaten van de gesloten vragen zijn verwerkt in staafdiagrammen en tabellen. De open vragen zijn bekeken en de meest bruikbare of opvallende antwoorden zijn behandeld in het hoofdstuk resultaten. De uitgestuurde blanco vragenlijst is te vinden in bijlage 6.

4. Resultaten

De resultaten van de verschillende onderzoeken zijn in dezelfde volgorde beschreven en geanalyseerd. Allereerst wordt het veldonderzoek behandeld, als tweede het literatuuronderzoek, als laatste de enquête onder de groenbeheerders.

4.1 Uitkomsten veldonderzoek

Voor het veldonderzoek zijn in totaal 368 bomen onderzocht verspreid over 24 locaties verspreid over Nederland. 342 takscheuten zijn geknipt en opgemeten.

De resultaten van de onderzoeken worden in dezelfde volgorde als het vorige hoofdstuk beschreven en geanalyseerd.

In het veld is een wisselend boombeeld aangetroffen. Tussen de bomen per locatie was het beeld relatief homogeen. Tussen de verschillende locaties waren grote verschillen. Alle uitkomsten van het veldwerk zijn samengebracht in tabellen, cirkeldiagrammen en grafieken. De figuren in het groen zijn de totaal cijfers over lava en grauwacke groeiplaatsen bij elkaar. Bij elke analyse is een splitsing gemaakt in lava en grauwacke locaties. In het rapport worden de algemene bevindingen behandeld en opvallende verschijnselen verklaard. Bijlage 4 bevat alle veldmeetgegevens en berekeningen.

Voor het leesgemak van de figuren is naast de titels een kleurcode aangebracht per categorie. Dit is tevens gedaan tussen lava en grauwacke groeiplaatsen. Voor grauwacke is oranje toegepast en lava lichtblauw. In het hoofdstuk resultaten staat die

Kleurcodering	Slecht	Matig	Redelijk	Goed
Percentage bomen met normale conditie	<25%	25-50%	50-75%	>75%
	Grauwacke =		Lava =	

Tabel 1, kleurcodering en de gebruikte categorieën in de grafieken

4.1.1. Totale score

Onderstaand in tabel 1 de uitkomsten, uitgesplitst in totaal, grauwacke en lava groeiplaatsen.

Totaal granulaat boomcondities			Gruwacke granulaat boomcondities			Lava granulaat boomcondities		
Conditie			Conditie			Conditie		
Normaal	200	54%	Normaal	157	56%	Normaal	43	49%
Verminderd	140	38%	Verminderd	112	40%	Verminderd	28	32%
Sterk verminderd	27	7%	Sterk verminderd	11	4%	Sterk verminderd	16	18%
Afstervend	0	0%	Afstervend	0	0%	Afstervend	0	0%
Dood	1	0,3%	Dood	0	0%	Dood	1	1%
Totaal	368	100%	Totaal	280	100%	Totaal	88	100%
Opdruk			Opdruk			Opdruk		
geen	204	63%	geen	153	65%	geen	51	58%
0-2,5 cm	55	17%	0-2,5 cm	35	15%	0-2,5 cm	20	23%
2,5-5,0 cm	43	13%	2,5-5,0 cm	35	15%	2,5-5,0 cm	8	9%
5,0-10 cm	22	7%	5,0-10 cm	13	6%	5,0-10 cm	9	10%
Totaal	324	100%	Totaal	236	100%	Totaal	88	100%
Vertoond opdruk		37%	Vertoond opdruk		35%	Vertoond opdruk		42%
Opdruk			Opdruk			Opdruk		
Golvend	57	52%	Golvend	51	67%	Golvend	6	18%
Punt dak	40	36%	Punt dak	16	21%	Punt dak	24	71%
Overig	13	12%	Overig	9	12%	Overig	4	12%
Totaal	110	100%	Totaal	76	100%	Totaal	34	100%

Tabel 2, Totaaloverzicht conditie en opdrukgegevens, alle boomgranulaatlocaties

Opdruk gegevens missen van één locatie in Dordrecht. Dit zorgt voor opvallende waarden in de resultaten. De grafieken “totaal” en “grauwacke” missen hierdoor in het totaal een aantal van 43. In het hoofdstuk reflectie wordt dit verder behandeld.

In bijlage 5 staan foto's van verschillende conditiescores die in het veld zijn aangetroffen op het Afrikaanderplein in Rotterdam

Overzicht groeicijfers

	Plaats	Locatie	Boomsoort	Jaar van aanplant	Dbh gemiddeld	Huidige omtrek gemiddeld	Gemiddelde aanplant omtrek	Omtrek groei verschil	Verstreken jaren	Omtrek groei per jaar	DBH groei per jaar	Gemiddelde scheutlengte locatie	Gemiddelde scheutlengte referentie	Vershil	
	Grauwacke														
					(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Goed	1	Arnhem	Velperweg	<i>Tilia Europaea Pallida</i>	-	30,6	96	onbekend	-	-	-	-	226	138	88
	2	Arnhem	Apeldoornsestraat	<i>Quercus robur</i>	-	20,0	63	onbekend	-	-	-	-	363	245	118
	3	Nijmegen	Dorpsplein	<i>Acer platanioides Faassens Black</i>	2003	19,8	62	onbekend	-	15	-	-	182	-	-
	4	Bennekom		<i>Robinia pseudoacacia</i>	2010	32,0	101	onbekend	-	8	-	-	230	384	-154
	5	Bennekom		<i>Tilia tomentosa</i>	2010	22,0	69	onbekend	-	8	-	-	302	315	-14
	6	Ede	Loevestein	<i>Zelkova serrata</i>	2012	13,3	42	onbekend	-	6	-	-	238	233	6
	7	Ede	Papekoplaan	<i>Sophora japonica</i>	2012	12,8	40	onbekend	-	6	-	-	216	228	-12
Redelijk	8	Emmeloord	Lange Nering	<i>Gleditsia triacanthos Skyline</i>	2008	17,2	54	25	29	10	2,90	0,9	469	308	160
	9	Bennekom	Edeseweg,	<i>Lycuiadambar styraciflua</i>	2010	21,3	67	onbekend	-	8	-	-	223	451	-228
Matig	10	Alblasserdam	de Dam	<i>Acer saccharinum</i>	2006	28,1	88	onbekend	-	12	-	-	243	323	-80
	11	Leiden,	Volmolengracht	<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	2011	14,9	47	onbekend	-	7	-	-	544	382	162
Slecht	12	Dordrecht	Assumburg	<i>Carpinus betulus</i>	2009	10,4	33	onbekend	-	9	-	-	237	461	-224
	13	Doetinchem	Dennenweg	<i>Quercus robur</i>	2011	15,9	50	19	31	7	4,42	1,4	97	245	-148
	14	Winterswijk	Willinksdreef	<i>Aesculus hippocastanum</i>	2003	27,0	85	onbekend	-	15	-	-	82	46	36
	15	Emmeloord	Kettingplein	<i>Zelkova serrata</i>	2007	18,7	59	40	19	11	1,70	0,5	132	233	-101
	16	Rotterdam	Afrikaanerplein	<i>Platanus hispanica</i>	2007	27,7	87	onbekend	-	11	-	-	184	515	-331
	Lava														
					(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		(cm)	(cm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Goed	1	Barneveld	Torenplein	<i>Liquidambar styraciflua 'Worplesdon'</i>	2006	18,3	57	25	32	12	2,71	0,9	369	451	-81
	2	Harmelen	Nassaupark	<i>Gleditsia triacanthos 'Sunburst'</i>	2006	17,4	55	30	25	12	2,06	0,7	300	236	64
	3	Dronten	Redeplein	<i>Liriodendron tulipifera</i>	2010	19,3	61	45	16	8	1,95	0,6	65	493	-427
Redelijk	4	Oldenzaal	Gasthuisstraat	<i>Quercus robur 'Fastigiata Koster'</i>	2008	19,8	62	40	22	10	2,22	0,7	146	130	16
	5	Dronten	Redeplein	<i>Gleditsia triacanthos</i>	2010	14,8	46	35	11	8	1,44	0,5	415	308	107
Matig	6	Schoonhoven	Lopikerplein	<i>Tilia x europaea</i>	2009	15,8	50	40	10	9	1,07	0,3	66	341	-275
	7	Oldenzaal	Ganzenmarkt	<i>Tilia cordata</i>	2008	17,3	54	40	14	10	1,42	0,5	164	226	-62
Slecht	8	Zwijndrecht	Stationsplein	<i>Tilia europaea pallida "typ Lappen"</i>	2012	19,1	60	55	5	6	0,83	0,3	63	263	-200
	9	Woerden	Schillingdreef	<i>Prunus avium 'Plena'</i>	2011	16,5	52	25	27	7	3,83	1,2	269	533	-264

Tabel 3, Totaaloverzicht locaties, verlopen takscheut- en diktegroei

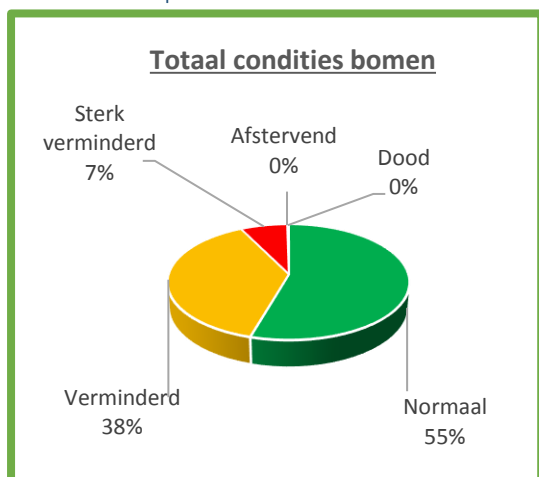
De bevindingen zijn genoteerd op de volgende pagina

Groei per jaar				
Grauwacke	Omtrek (cm)	(DBH) (cm)		(Jaar)
Gemiddelde groei	3,01	0,62	Gemiddelde leeftijd	9,5
Meeste groei	4,42	1,22	Oudste groeiplaats	15
Minste groei	1,70	0,27	Jongste groeiplaats	6
Lava				
Gemiddelde groei	1,95	0,96	Gemiddelde leeftijd	9,1
Meeste groei	3,83	1,41	Oudste groeiplaats	12
Minste groei	0,83	0,54	Jongste groeiplaats	6

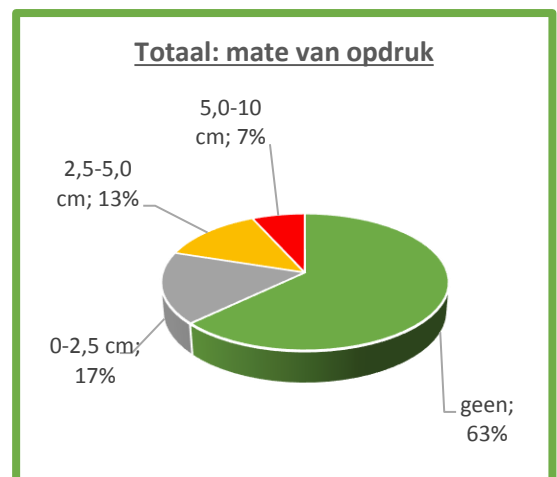
Tabel 4, Gemiddelden, doorlopen diktegroei en leeftijd

- 9 van de 24 granulaatlocaties loopt voor op de referentiepunten. 15 locaties in granulaat lopen zoals verwacht achter met de groei op het referentiepunt.
- Bij grauwacke locaties missen er aanzienlijk meer gegevens over de aanplantmaat. Zie tabel 3
- Bomen in grauwacke zijn de meest oude locaties en de bomen hebben de meeste diktegroei vertoont. Zie tabel 4

Conditie en opdruk score

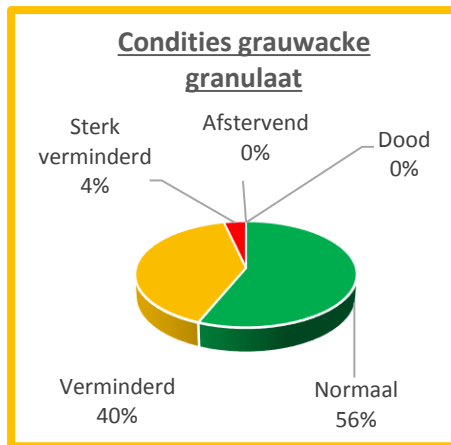


Figuur 8, Cirkeldiagram, conditiescore alle locaties

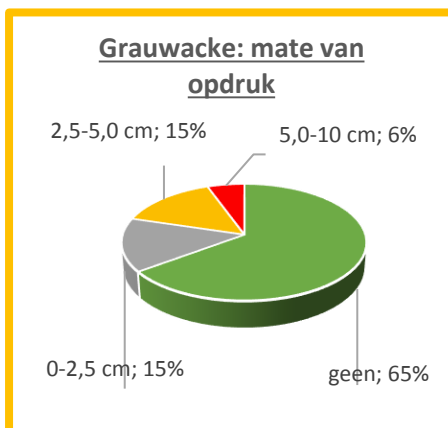
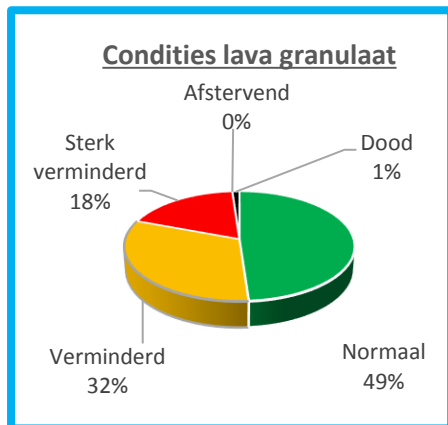


Figuur 7, Cirkeldiagram mate van opdruk alle locaties

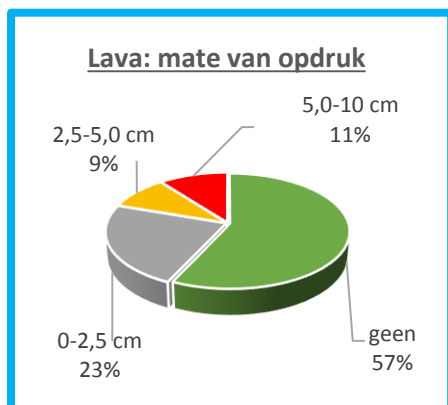
- 45% van alle bomen in granulaat heeft een verminderde conditie. Bomen in de stad hebben meer stressfactoren te verduren dan een boom in het bos, maar uit de cijfers is te concluderen dat hier meer bomen van een verminderde conditie zijn dan in een normale situatie.
- 37% van de bomen zorgen voor de opdruk van straatwerk. Hierbij is 7% flinke opdruk van 5-10cm en 13% is een opdruk van 2,5-5cm.



- Een hoger percentage, 56% van de bomen in grauwaske hebben een normale conditie vergeleken met 49% van de bomen in lava.
- Opvallend is dat 18% van de bomen in lava granulaat sterk verminderd waren tegenover 4% sterk verminderd op de locaties met grauwaske.

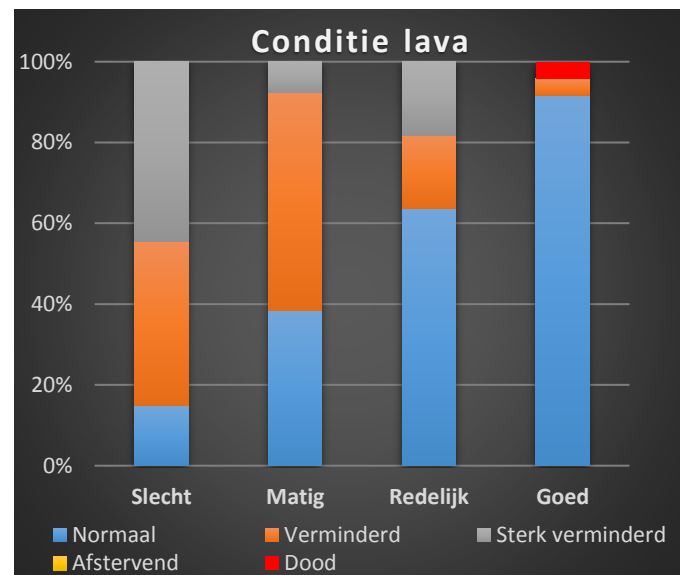
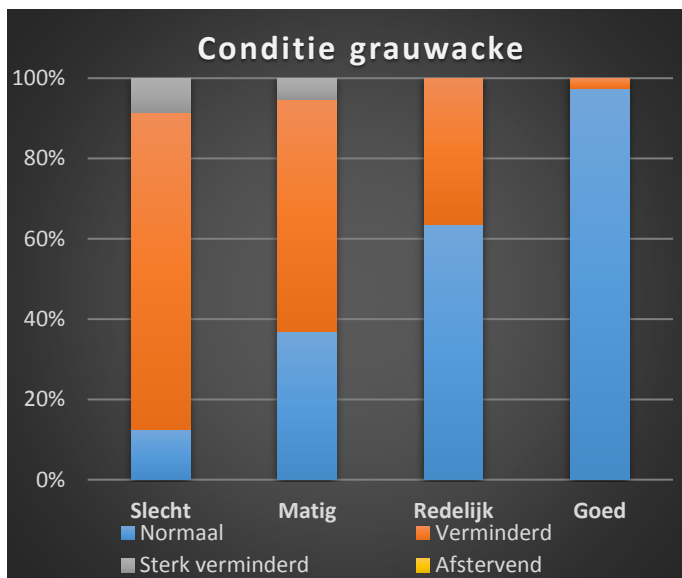


- Bomen in lava granulaat geven 8% meer opdruk dan bomen in grauwaske.
- De mate van opdruk door bomen in lava granulaat zijn hoger. In de categorie 5-10cm opdruk, zorgt 11% van de bomen in lava granulaat tegenover 6% voor grauwaske locaties.



Figuur 9, Van boven naar beneden. 9a/m 9d Alle conditie en opdruk scores. Gesplitst in resultaten grauwaske en lava.

4.1.2. Conditie

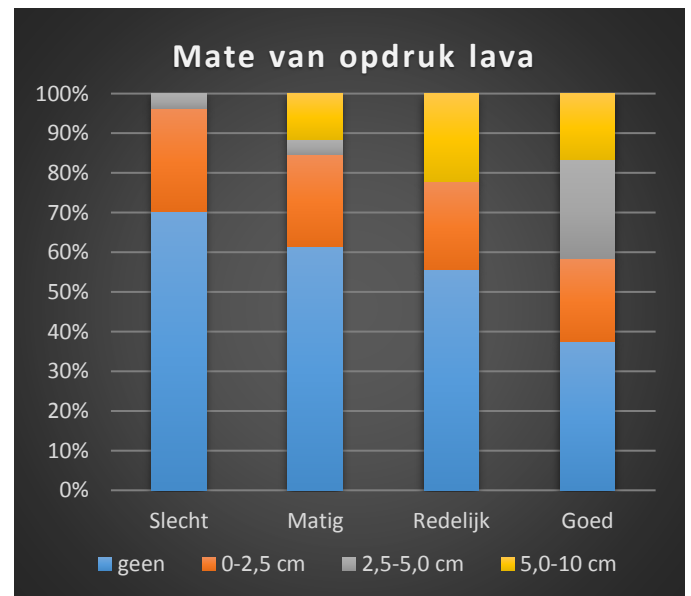
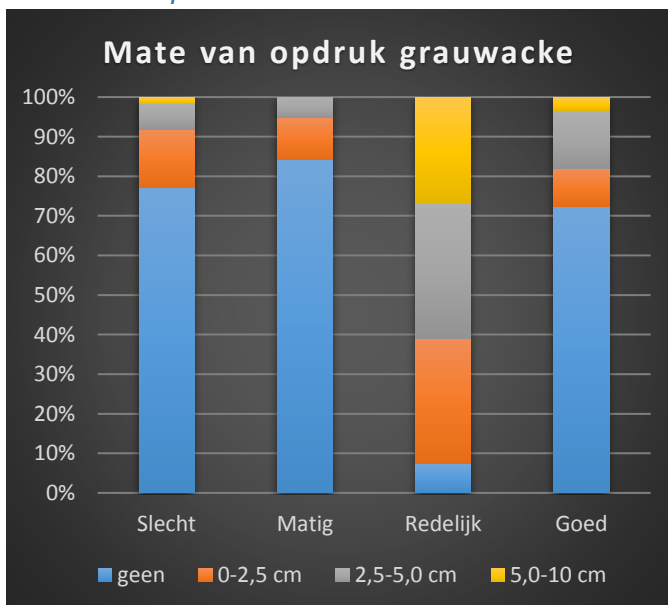


Vergelijking 1, Grauwacke en lava conditiescore

Een duidelijke trendlijn is te zien in de cijfers van grauwacke. Het aandeel bomen met een normale conditie neemt gestaag toe. Het aandeel verminderd lijkt ook met een min of meer stabiele lijn toe te nemen.

Bij lava locaties is een vergelijkbare trendlijn te zien bij het aandeel bomen met normale conditie. Opvallend is dat het aandeel sterk verminderd aanzienlijk meer aanwezig is in de categorieën slecht en redelijk vergeleken met grauwacke. Bij categorie matig is een vergelijkbare trend als bij grauwacke.

4.1.3. Opdruk



Vergelijking 2, mate van opdruk, grauwacke en lava locaties

In de staafdiagram van grauwacke is de mate van opdruk min of meer onafhankelijk van de conditie van de bomen. De grote opvallende uitschieter is in de categorie redelijk. Hier is uitzonderlijk veel opdruk. Bij het nader bekijken van de data is gevonden dat dit gaat om de locaties in Emmeloord op de Lange Nering met *Gleditsia triacanthos* en in Bennekom op de

Edeseweg bij de *Liquidambar styraciflua*. Met name de locatie in Emmeloord trekt de verhouding scheef. 95% van de bomen op die locatie zorgt voor opdruk.

In vergelijking 1 bij de staafdiagrammen van lava is opvallend om te zien dat naarmate meer bomen een goede conditie hebben op de locatie, des te meer opdruk is aangetroffen. In hetzelfde diagram is een min of meer stabiele lijn tussen 'geen' en '0-2,5cm' opdruk. De grootste verschuiving wordt veroorzaakt door de score van '5-10cm' opdruk.

4.1.4. Scheutlengtes

Op 3 van de 24 locaties zijn referentiebomen gevonden op de locaties zelf. Dit was in Oldenzaal, Winterswijk en Zwijndrecht. Het ging hier om *Tilia cordata*, *Aesculus hippocastanum* en *Tilia x europaea* "*Pallida Typ Lappen*". De andere bomen zijn bemonsterd op de volgende kwekerijen en hebben de volgende groeiomstandigheden

Boomkwekerij Nationale Bomenbank, te Bleskensgraaf Nederland

De grondsoort op deze kwekerij is veen. Alle bomen op de kwekerij zijn biologisch geteeld volgens het EKO-keurmerk. Er wordt geen gebruik gemaakt van pesticiden of meststoffen. In de omgeving is een hoge grondwaterstand die op de kwekerij kunstmatig op 30 a 40cm onder het maaiveld wordt gehouden. De teelt van bomen is van ondergeschikt belang. De hoofdfunctie is tijdelijke depot voor te verplanten bomen. Begeleidingsnoei heeft voor de laatste in het najaar van 2013 plaatsgevonden. Het rondsteken van de wortelkluut of het verplanten van de bomen vindt in principe niet of nauwelijks meer plaats.

Boomkwekerij Lappen, te Nettetal Duitsland

De grondsoort op de verschillende percelen bij Lappen zijn allen leemhoudende zandgronden. Het leemgehalte is in wisselende verhoudingen. Alle bemonsterde bomen waren van een dergelijke grote maat dat er geen meststoffen worden gebruikt. Alle bomen zijn minimaal 5 keer verplant. De bemonsterde bomen waren van dergelijk grote maat dat die naar behoefte worden gesnoeid. Geschat is dat dit één keer in de drie jaar plaatsvindt. Het gebruik van pesticiden is minimaal. Welke middelen en welke frequentie worden toegepast is onbekend. De invloed op de bomen wordt als verwaarloosbaar geschat.

Groeipering gegevens

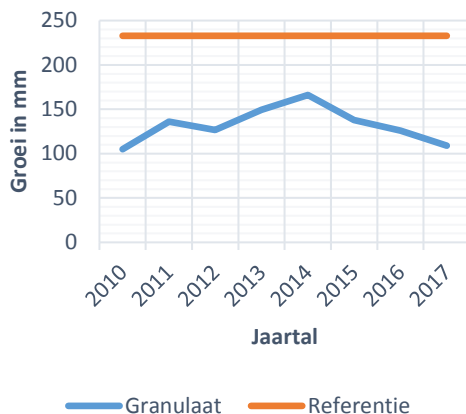
Alle takscheuten zijn gegroepeerd aan de hand van de conditie categorieën, slecht, matig, redelijk en goed.



Figuur 10, Veldwerk impressie, van links naar rechts, Takken op tijdelijk depot. Takmonster van Dorpsplein in Nijmegen-Lent. (J. Hoppenbrouwer)

Slecht

Emmeloord, Zelkova

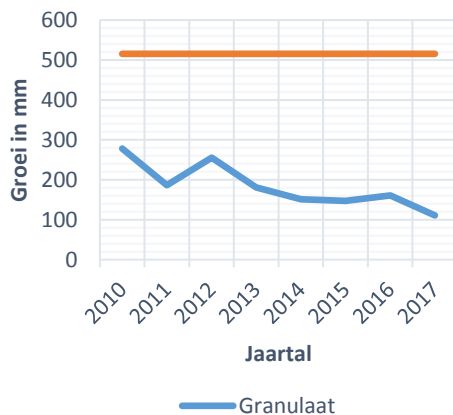


Locatie: Emmeloord, Kettingplein
Boomsoort: *Zelkova seratta*
Aantal: 3 stuks
Aanplantjaar: 2007
Granulaat: Grauwacke

Trendbeschrijving:

In het figuur is een te verwachten beeld te zien. Regelmatige groei van de boom in granulaat. Geen uitzonderlijke harde of langzame groei.

Rotterdam, Platanus

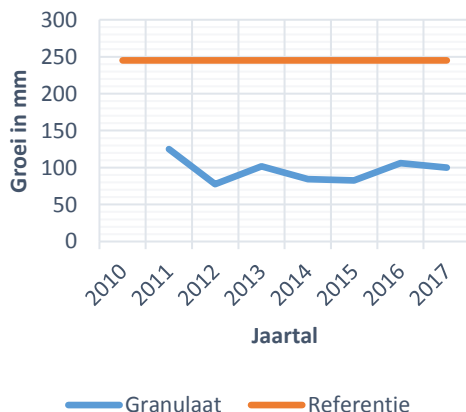


Locatie: Rotterdam, Afrikaanderplein
Boomsoort: *Platanus x hispanica*
Aantal: 48 stuks
Aanplantjaar: 2007
Granulaat: Grauwacke

Trendbeschrijving:

De groei was in eerste instantie goed, maar het lijkt erop dat een daling is ingezet. Een beeld wat klopt met het veld. Veel bomen hadden gestorven topscheuten. Topsterfte was duidelijk te zien bij veel bomen.

Doetinchem, Quercus

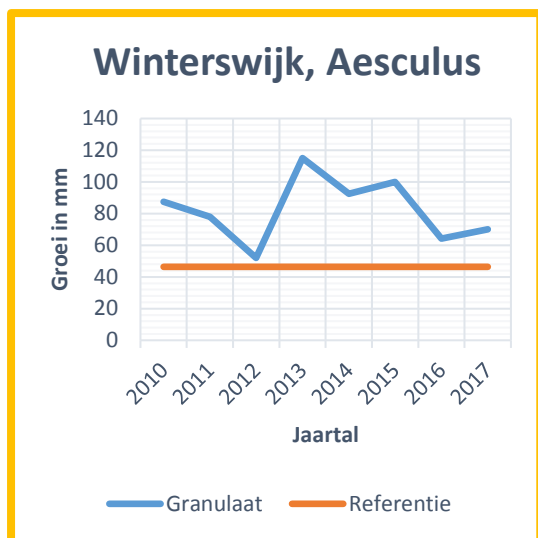


Locatie: Doetinchem, Dennenweg
Boomsoort: *Quercus robur*
Aantal: 8 stuks
Aanplantjaar: 2011
Granulaat: Grauwacke

Trendbeschrijving:

Stabiele groeicijfers, maar het lijkt erop dat de bomen niet goed zijn aangeslagen sinds de aanplant in 2011. In het veld was de boom erg dun met blad bezet.

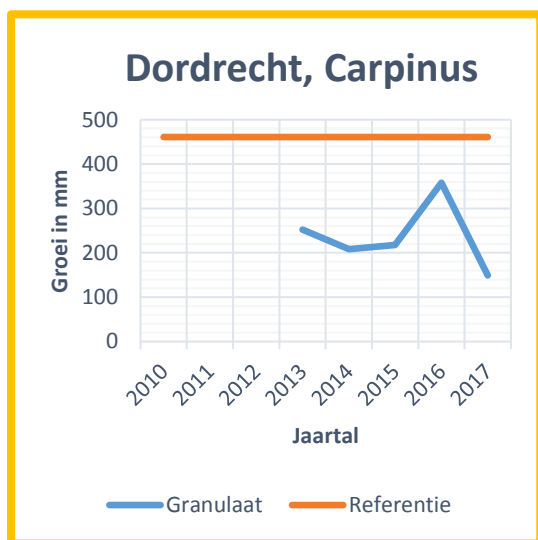
Figuur 11, Van boven naar beneden, 11a t/m 11c; takscheutmetingen van de locaties Emmeloord, Rotterdam en Doetinchem



Locatie: Winterswijk, Willinksdreef
 Boomsoort: *Aesculus hippocastanum*
 Aantal: 2 stuks
 Aanplantjaar: 2003
 Granulaat: Grauwaske

Trendbeschrijving:

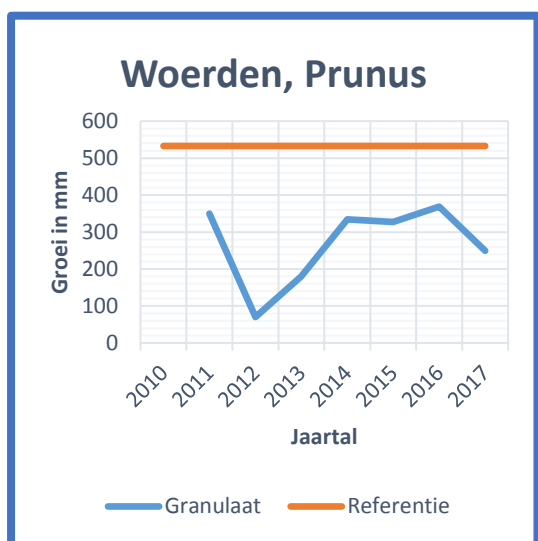
Relatief stabiele groei, maar weinig in totaal. De bomen zijn niet in een goede conditie. De referentie is daarnaast niet juist. Deze boom staat namelijk in bomenzand, maar wordt te zwaar belast door verkeer. De referentieboom heeft daardoor een sterk verminderde conditie.



Locatie: Dordrecht, Assumburg
 Boomsoort: *Carpinus betulus*
 Aantal: 43 stuks
 Aanplantjaar: 2009
 Granulaat: Grauwaske

Trendbeschrijving:

De groei is redelijk goed. Een daling is te zien in het laatste jaar. Dit kan echter van tijdelijk aard zijn. Het is niet direct te verklaren.

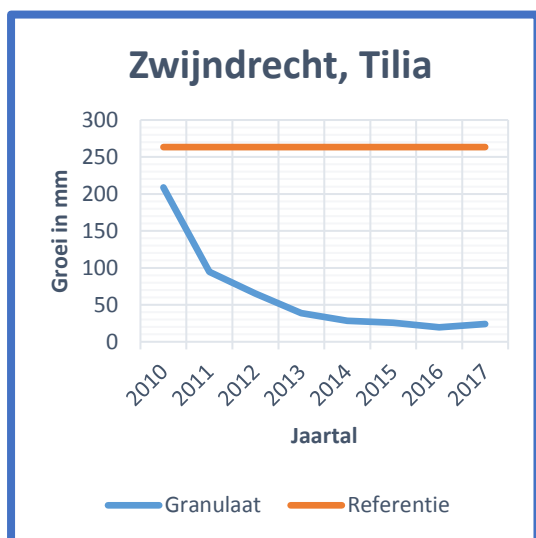


Locatie: Woerden, Schillinkdreef
 Boomsoort: *Prunus avium 'Plena'*
 Aantal: 19 stuks
 Aanplantjaar: 2011
 Granulaat: Lava

Trendbeschrijving:

Na de aanplant in 2011 is een te verwachte daling te zien. Hierna een stabiele stijgende lijn die zich stabiliseert. Het lijkt erop dat de groei nu afzakt. Veel bomen op de locatie zijn verminderd of sterk verminderd van conditie.

Figuur 12, Van boven naar beneden 12a t/m 12c; takscheutmetingen van de locaties Winterswijk, Dordrecht en Woerden



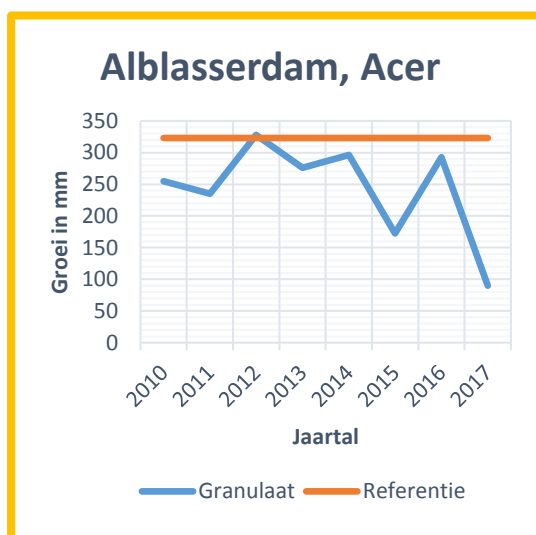
Locatie: Zwijndrecht, Stationsplein
 Boomsoort: *Tilia europaea pallida* "typ Lappen"

Aantal: 19 stuks
 Aanplantjaar: 2012
 Granulaat: Lava

Trendbeschrijving:

Een duidelijk afnemende groei is waar te nemen na de aanplant in 2012. De bomen waren allen in zeer slechte staat in vergelijking met de referentiebomen op het plein. De referentiebomen staan in bomenzand en zijn in goede condities.

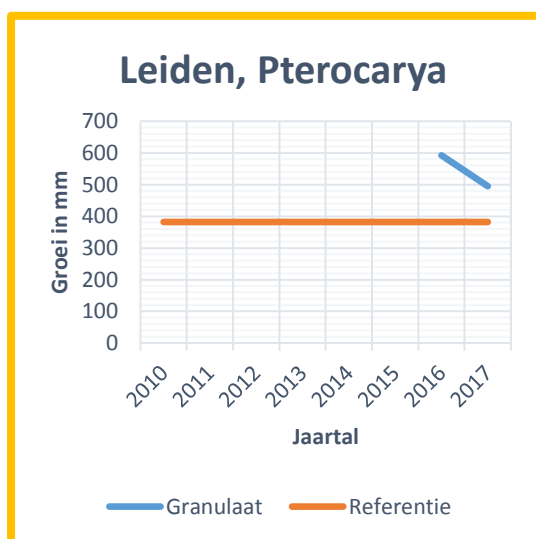
Matig



Locatie: Alblasserdam, Dam
 Boomsoort: *Acer saccharinum*
 Aantal: 11 stuks
 Aanplantjaar: 2006
 Granulaat: Grauwacke

Trendbeschrijving:

De boom heeft een wisselende groei gehad die zich nu lijkt om te zetten in een dalende lijn. Enkele bomen toonden signalen van een afstervende kroon.

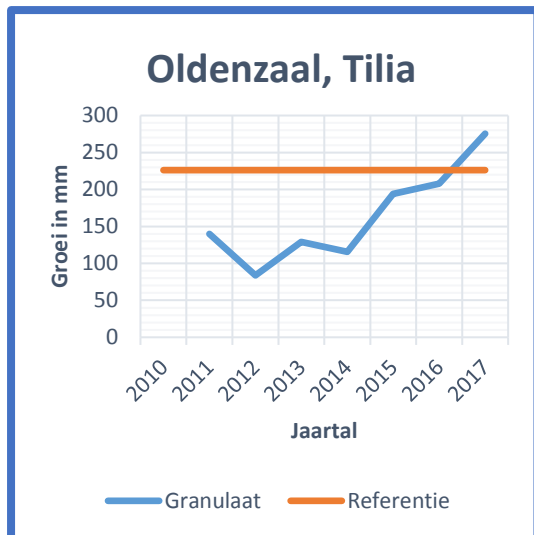


Locatie: Leiden, Volmolengracht
 Boomsoort: *Pterocarya fraxinifolia*
 Aantal: 8 stuks
 Aanplantjaar: 2011
 Granulaat: Grauwacke

Trendbeschrijving:

Een lastige boomsoort voor takscheut onderzoek. Tot twee jaar terug was het maximale dat kon worden gemeten. Geen duidelijke trend is waargenomen.

Figuur 13, Van boven naar beneden, 13a t/m 13c ; takscheutmetingen van de locaties Zwijndrecht, Alblasserdam en Leiden



Locatie: Oldenzaal, Ganzenmarkt

Boomsoort: *Tilia cordata*

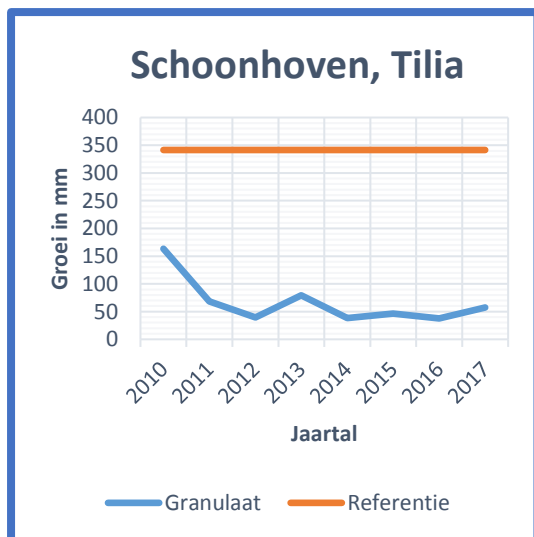
Aantal: 14 stuks

Aanplantjaar: 2008

Granulaat: Lava

Trendbeschrijving:

Een stijgende lijn is waar te nemen in de groei. De bomen lijken zich te herstellen.



Locatie: Schoonhoven, Lopikerplein

Boomsoort: *Tilia x europaea*

Aantal: 10 stuks

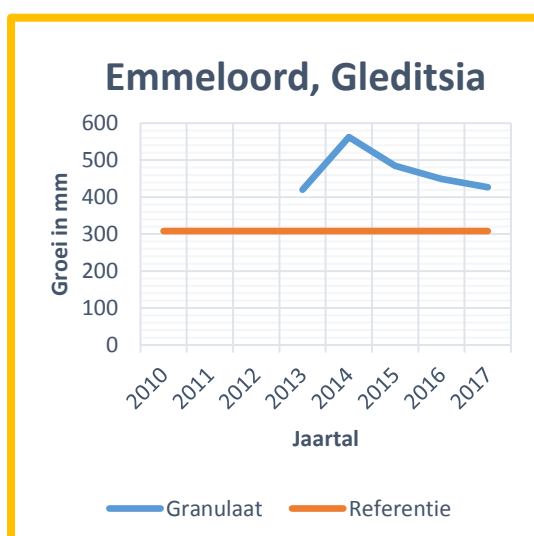
Aanplantjaar: 2009

Granulaat: Lava

Trendbeschrijving:

Een lage en gestage groei. Het lijkt erop dat de groei na de aanleg is afgezaakt. De conditie wisselt in het veld per boom.

Redelijk



Locatie: Emmeloord, Lange Nering

Boomsoort: *Gleditsia triacanthos*

Aantal: 40 stuks

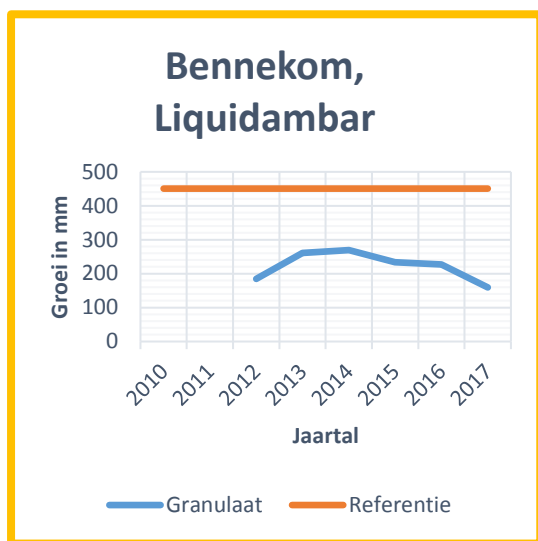
Aanplantjaar: 2007

Granulaat: Grauwacke

Trendbeschrijving:

Relatief gelijkmatige groei. Duidelijk beter groeiende takscheuten dan de referentieboom. Er zijn twijfels over de referentiewaarde. In het hoofdstuk reflectie wordt dit nader behandeld.

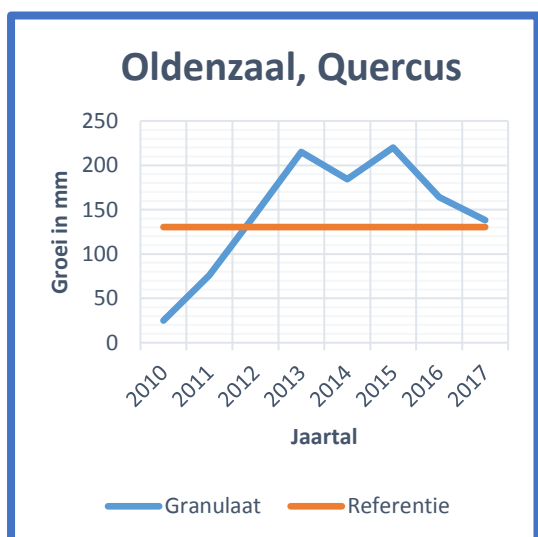
Figuur 14, Van boven naar beneden. 14a t/m 14c; takscheutmetingen van de locaties Oldenzaal, Schoonhoven en Emmeloord



Locatie: Bennekom, Edeseweg
 Boomsoort: *Liquidambar styraciflua*
 Aantal: 4 stuks
 Aanplantjaar: 2010
 Granulaat: Grauwacke

Trendbeschrijving:

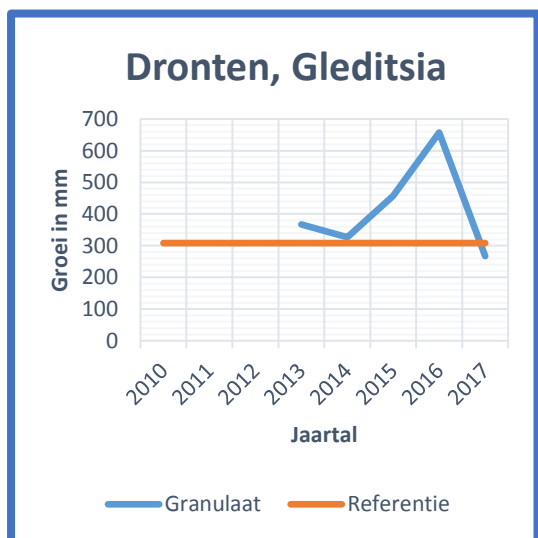
In de grafiek is een verwacht beeld te zien. Relatief gelijke groei, minder dan de referentie. Het is niet te verklaren of de daling zich zal doorzetten.



Locatie: Oldenzaal, gasthuisstraat
 Boomsoort: *Quercus robur* 'Fastigiata Koster'
 Aantal: 5 stuks
 Aanplantjaar: 2008
 Granulaat: Lava

Trendbeschrijving:

De stijgende lijn stabiliseert zich naarmate de jaren vorderen. Een min of meer gelijke groei. Onbekend of de daling zich doorzet in het komende jaar.



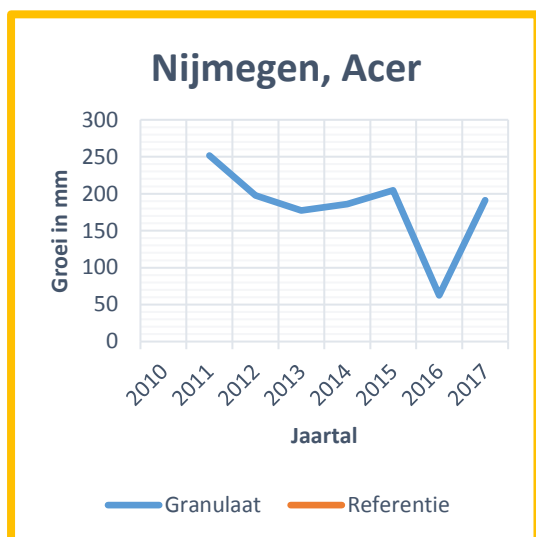
Locatie: Dronten, Redeplein
 Boomsoort: *Gleditsia triacanthos* '
 Aantal: 5 stuks
 Aanplantjaar: 2010
 Granulaat: Lava

Trendbeschrijving:

De groei zit in de buurt van de referentie en in het jaar 2016 is een duidelijke piek. Een directe verklaring hiervoor is niet te geven.

Figuur 15, Van boven naar beneden, 15a t/m 15c; takscheutmetingen van de locaties Bennekom, Oldenzaal en Dronten

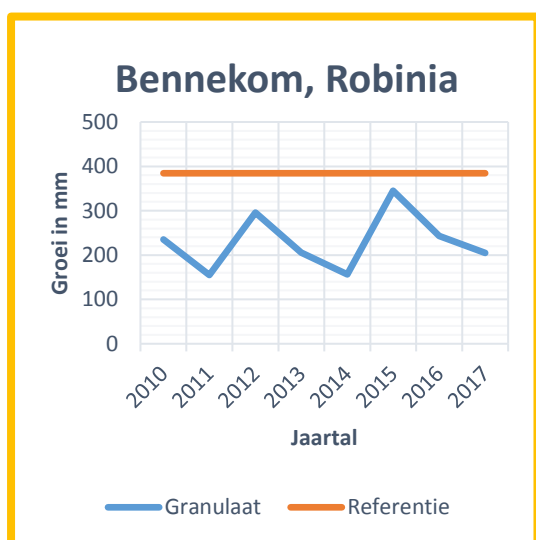
Goed



Locatie: Nijmegen, Dorpsplein
 Boomsoort: *Acer platanoides* 'Faassens Black'
 Aantal: 15 stuks
 Aanplantjaar: 2003
 Granulaat: Grauwake

Trendbeschrijving:

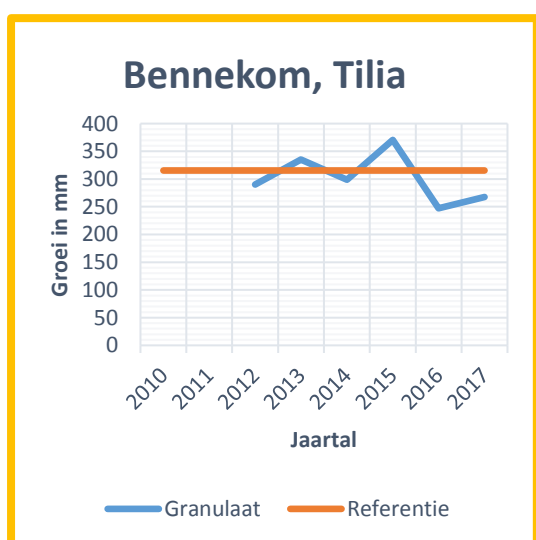
Referentiepunt takscheuten ontbreken. Aan de grafiek te zien vertonen de bomen een redelijk stabiele groei. Niet een hele harde groei. Dit is de oudste grauwake locatie met de beste conditiescores.



Locatie: Bennekom, Edeseweg
 Boomsoort: *Robinia pseudoacacia*
 Aantal: 5 stuks
 Aanplantjaar: 2010
 Granulaat: Grauwake

Trendbeschrijving:

Redelijk gelijke groei door de jaren heen.

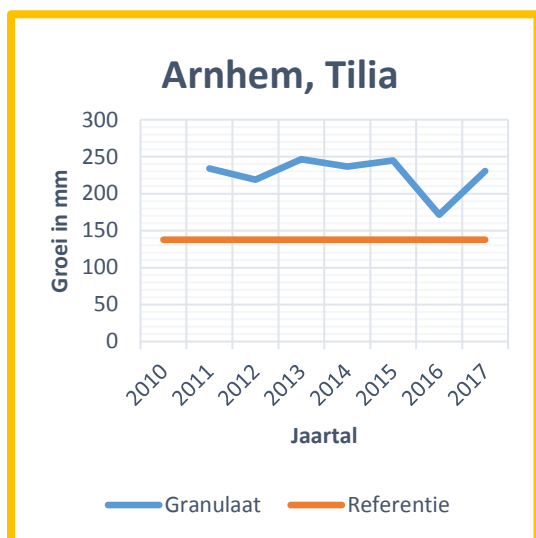


Locatie: Bennekom, Edeseweg
 Boomsoort: *Tilia tomentosa*
 Aantal: 4 stuks
 Aanplantjaar: 2010
 Granulaat: Grauwake

Trendbeschrijving:

Iets wisselende groei, maar de totale trendlijn is stabiel. De groei is vergelijkbaar met de referentie.

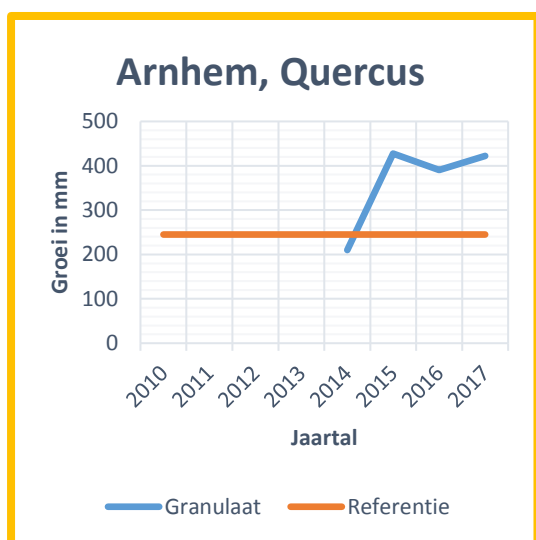
Figuur 16, Van boven naar beneden 16a t/m 16c; takscheutmetingen van de locaties Nijmegen en Bennekom



Locatie: Arnhem Velperweg
 Boomsoort: *Tilia europaea pallida*

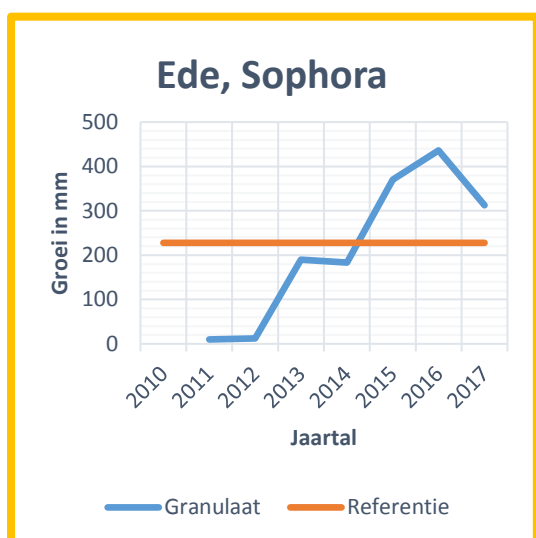
Aantal: 65 stuks
 Aanplantjaar: onbekend
 Granulaat: Grauwake

Trendbeschrijving:
 Een min of meer stabiele groei. In 2016 een daling die nu herstellend is.



Locatie: Arnhem Apeldoornsestraat
 Boomsoort: *Quercus robur*
 Aantal; 6 stuks
 Aanplantjaar: onbekend
 Granulaat: Grauwake

Trendbeschrijving:
 Goede gestage groei van de eiken. Goede scheutlengtes.



Locatie: Ede, Loevestein
 Boomsoort: *Sophora japonica*
 Aantal; 4 stuks
 Aanplantjaar: 2012
 Granulaat: Grauwake

Trendbeschrijving:
 Vanaf het plantjaar is een stijgende lijn te zien in de groei. Het lijkt erop dat deze zich stabiliseert.

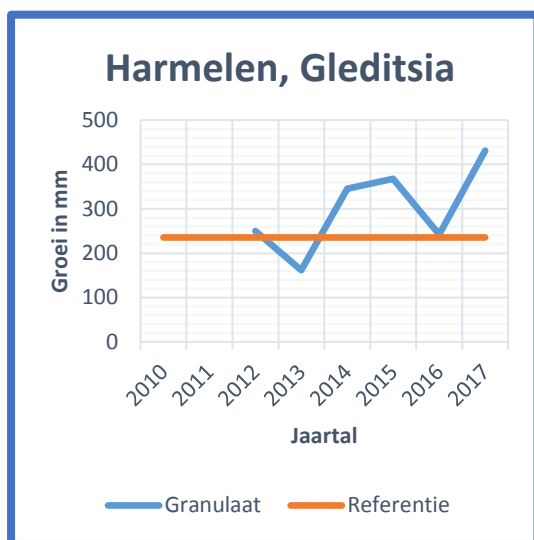
Figuur 17, Van boven naar beneden, 17a t/m 17c; takscheutmetingen van de locaties Arnhem en Ede



Locatie: Ede, Papekoplaan
 Boomsoort: *Zelkova seratta*
 Aantal; 4 stuks
 Aanplantjaar: 2012
 Granulaat: Grauwacke

Trendbeschrijving:

Een stijgende lijn in de groei. Het lijkt erop dat deze zich nu stabiliseert.

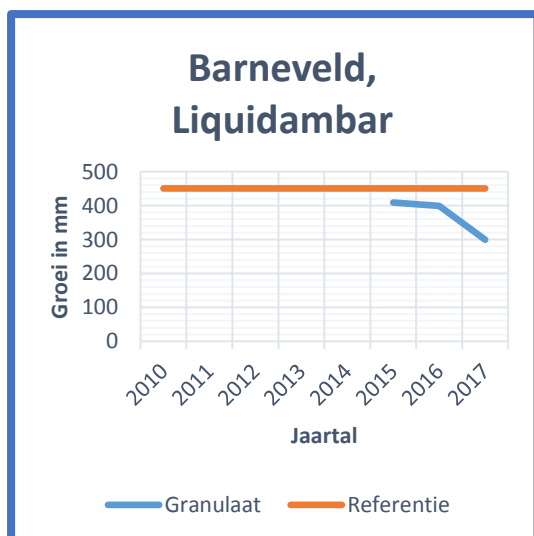


Locatie: Harmelen, Nassaupark
 Boomsoort: *Gleditsia triacanthos* 'Sunburst'

Aantal: 17 stuks
 Aanplantjaar: 2006
 Granulaat: Lava

Trendbeschrijving:

Een min of meer stijgende lijn in de groei iets boven de referentie.



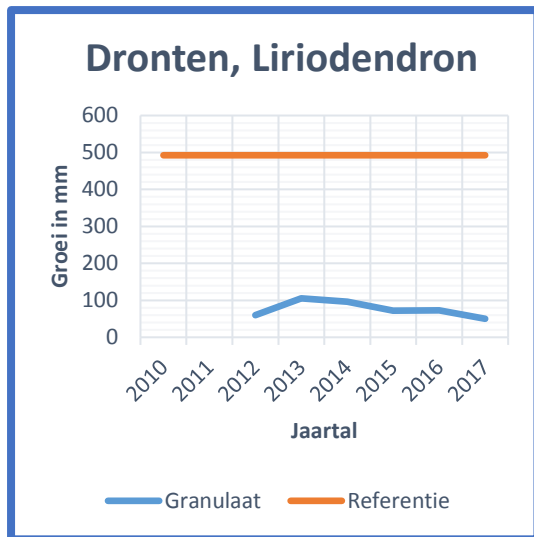
Locatie: Barneveld, Torenplein
 Boomsoort: *Liquidambar styraciflua* 'Worplesdon'

Aantal: 4 stuks
 Aanplantjaar: 2006
 Granulaat: Lava

Trendbeschrijving:

Er is erg weinig data beschikbaar over de groei. De groeischeuten waren lastig om te lezen.

Figuur 18, Van boven naar beneden, 18a t/m 18c; takscheutmetingen van de locaties Ede, Harmelen en Barneveld



Locatie: Dronten, Redeplein
 Boomsoort: *Liriodendron tulipifera*

Aantal: 3 stuks
 Aanplantjaar: 2010
 Granulaat: Lava

Trendbeschrijving:

Een hele stabiele groei is te zien in de grafiek. De groei van de takscheuten is aan de lage kant.

Figuur 19, takscheutmetingen van de locatie Dronten

Conclusie takscheuten

- Bij 13 locaties is een stabiele trendlijn is waargenomen, 7 locaties een afnemende trend en 4 locaties met een stijgende trend in de scheutgroei.
- Naarmate meer bomen een normale conditie hadden was de scheutgroei hoger en hadden meer locaties een stijgende groeitrend.
- De jaarringen op de takscheuten van de boomsoorten, *Pterocarya*, *Sophora* en *Liriodendron* waren slecht af te lezen.

Opvallende veldobservaties

- Geen begroeiing op het granulaat:

Een opvallende observatie is dat de plantvakken van granulaatgroeiplaatsen over het algemeen heel kaal zijn. Gras groeide nauwelijks in de plantvakken en enkel wit vetkruid *Sedum album* kon zich op enkele plekken handhaven. Voorbeeldfoto's van de Edeseweg in Bennekom, Afrikaanderplein in Rotterdam en de Schillingsdreef zijn toegevoegd in bijlage 5. Mits er geen compost of teelaarde is toegevoegd groeit er nauwelijks iets op het materiaal. Het is echter de vraag of dit veel effect zal op de groei van de bomen. Het vermoeden is wel ontstaan dat het groeimedium door een overvloed aan water mogelijk het groeimedium uit het granulaat spoelt. Er zijn echter niet meer aanwijzingen die dit vermoeden ondersteund.

- Bomen in groenstroken in betere conditie en groei

Het is opgevallen dat bomen in de groenstroken opvallend veel beter in conditie zijn dan de bomen solitair in boomgranulaat. Het grootste contrast hiervan is te vinden op De schillingsdreef in Woerden. In Bijlage 5 staat een foto van deze situatie. Alle bomen solitair in boomgranulaat waren van verminderde of sterk verminderde conditie. De bomen in een groenvak hadden een betere conditie en dikkere stamdiameters. Bij de aanleg waren de bomen van dezelfde stamdiameter. Het Dorpsplein in Nijmegen-Lent is eenzelfde voorbeeld. Hier stonden echter geen bomen solitair in granulaat, maar alleen in een plantvak.

Het vermoeden is opgekomen dat mogelijk de bomen de voeding halen uit de toplaag van de taxushagen eronder. Hiernaast viel het op dat het Dorpsplein in Nijmegen het beste en meest oude resultaat van BSI boomgranulaat is van alle bezochte plaatsen.

4.1.5 Conclusie veldonderzoek

- De condities van de bomen op de individuele locatie verschillen weinig. Er is veel variatie in condities en opdruk gevonden tussen de verschillende locaties.
- Bomen in grauwacke boomgranulaat zijn de meest oude locaties en hebben de meeste diktegroei vertoond.
- Grauwacke locaties hebben een hoger percentage bomen met normale conditie, 56% vergeleken met 49% van de bomen waarbij lavagranulaat is toegepast.
- Lava granulaat locaties zorgden voor de meeste opdruk in vergelijking met grauwacke. Hierbij is opgevallen dat bomen met een betere conditie meer opdruk veroorzaken dan bomen met een verminderde of sterk verminderde conditie.
- De bomen in granulaat vertonen een stabiele langzame groei. Een explosieve groei is nergens waargenomen.

4.2 Uitkomsten literatuuronderzoek:

De onderwerpen die zijn geselecteerd en uitgewerkt zijn gekozen met de reden dat ze twee deelvragen kunnen beantwoorden. Welke ondergrondse kenmerken kunnen van invloed zijn op het groeieresultaat en wat zijn de beste technieken voor onderzoek naar het groeieresultaat van bomen in granulaat?

4.2.1. Aanleg

Het is gebleken dat de aanleg veel invloed kan hebben op het eindresultaat. De volgende factoren zijn in grootte mate bepalend bij de aanleg;

- Stapsgewijs per laag aanbrengen en verdichten van het granulaat is belangrijk (Raats, Beresterk, maar aanleggen met fluwelen handschoenen, 2011a).
- Luchtuitwisseling moet plaats kunnen vinden. Met name in de beginfase is dit beslissend (Raats, Beresterk, maar aanleggen met fluwelen handschoenen, 2011a).
- Grondwater mag het boomgranulaat niet aanraken (Raats, 2011b).
- Het granulaat mag niet onder natte omstandigheden worden aangebracht (Raats, Beresterk, maar aanleggen met fluwelen handschoenen, 2011a).
- Het overvullen van het granulaat met groeimedium werkt averechts op de groei van de bomen (Raats, Beresterk, maar aanleggen met fluwelen handschoenen, 2011a).

Dit wordt bevestigd in gesprekken met Huib Snee en een Amerikaans vakartikel (Snee, 2018) (Batchelder & Batchelder, 2011).

4.2.2. Luchtuitwisseling

Bij het aanleggen van groeiplaatsen is het belangrijk dat in de beginfase genoeg lucht kan worden uitgewisseld, anders kan ondergronds een zuurstoftekort ontstaan. Dit is vanwege concurrentiestrijd om de zuurstof tussen het bodemleven en de wortels van de boom. Op een kwart van het veldwerk is opgevallen dat verstopte beluchtingsbuizen meer regelmaat waren dan een uitzondering. Zie bijlage 5 voor een fotovoorbeld. Het is opvallend omdat enkele boomgranulaatleveranciers een vrij beluchtingssysteem beschouwen als een vereiste voor succes. Dit blijkt uit de volgende citaten; “Een slecht onderhouden beluchtingssysteem is immers kapitaalvernietiging” (Spoel, 2011, p 51) & “Het onderhoud van beluchting en infiltratie is dan ook van groot belang” (Prooijen, Bomengranulaat, 2011, p 136).

Dichte beluchtingsbuizen hoeft echter geen problemen te geven mits de verharding op de locatie niet gesloten is. Vanwege de poriën tussen het grondskelet in het boomgranulaat kan er veel lucht worden uitgewisseld in het groeimedium. Dit blijkt uit de volgende zin:

“The proposed structural soil provided a well-aerated rooting zone, even after full compaction, as verified by the oxygen data.” (Grabosky J. , Bassuk, Irwin, & Es, 1998,p 215)

De bezochte locaties in het eigen onderzoek hadden geen gesloten verharding, dus deze problematiek lijkt niet te spelen op de locaties die zijn bezocht. Het is daarmee geen verklaring voor de bomen met de verminderde condities.

4.2.3. Vochthoudendvermogen

Bomen hebben genoeg vocht nodig om te kunnen groeien. Dit moet gewaarborgd blijven ook in periodes van droogte. Hoeveel water de grond vasthoudt in een bepaalde tijd heet het vochthoudendvermogen. Kunstmatig kan dit worden verhoogd, een manier hiervoor is het toevoegen van een polymeergel. Bij BSI boomgranulaat wordt standaard een polymeergel toegevoegd, genaamd Broadleaf. Deze toevoeging gebeurt bij de meeste boomgranulaten om aan het RAG-keurmerk te voldoen van 125 liter per m³ (Herwijnen, 2018).

De leveranciers geven aan dat de werking van de polymeergel vermindert na 5 jaar, en dat na 10 jaar de polymeergel volledig is verteerd (BroadleafP4, 2018) (Agripol, 2018) (GreenGuard, 2018). Een optie om dit probleem te ondervangen is het toevoegen van een kleimateriaal in het granulaat. Dit verhoogt daarmee het vochthoudendvermogen en de voedingstoestand” (Batchelder & Batchelder, 2011).

Dat de polymeergel na 10 jaar verteerd is was bekend. De theorie is dat de wortels van de boom voordat de polymeergel is uitgewerkt, fijnmazig door het granulaat zijn gegroeid en met de wortels het water genoeg kunnen vasthouden (Sneep, 2018). Er zijn echter geen bronnen gevonden die dit kunnen bevestigen of ontkrachten.

In Amerika wordt boomgranulaat gezien als een goed groeimedium om regenwaterpieken op te vangen. De goede waterdoorlatendheid van het materiaal is hiervan de reden. (Structural soil -part 2, 2014) (J. Grabosky, 2009)

4.2.4. Boomsoort reactie

In het literatuuronderzoek zijn geen aanwijzingen gevonden dat specifieke bomen slecht reageren op boomgranulaat. Het enige verschil dat is opgemerkt is dat prunussoorten voldoende groeien in boomgranulaat, maar beter in teelaarde. Dit is een verschil met Ulmus-soorten die vergelijkbare groei vertonen tussen boomgranulaat en teelaarde. (Smiley, Calfee, Fraedrich, & Smiley, 2006).

4.2.5. Ontwikkeling wortelsstelsel:

De doorworteling van boomgranulaat loopt voorspoedig. In Amerikaanse onderzoeken is vastgesteld dat het volledige pakket boomgranulaat doorworteld is 10 jaar na de aanleg. Ook vertoonden het aanzienlijk grotere diameters aan wortels in vergelijking met verdichte grond (Smiley T. , 2008). Dit wordt mede bevestigd in Zweeds onderzoek; “Abundant root presence was measured across the entire profile of structural soil (160×60 cm) at all distances, provided that structural soil layers were constructed correctly.” (Bühler, et al., 2016,p 29)

Binnen de twee onderzoeken wordt echter wel de kanttekening geplaatst dat de structuur van het materiaal diktegroei mogelijk beperkt. Dit blijkt uit de volgende zinnen: “In general, larger coarse roots showed clear signs of deformation caused by the limited size of the voids between the stones in the structural soil. There were no signs of wounds, but secondary growth had clearly been impaired (Bühler, et al., 2016) In Nederland is dit mede bevestigd in de rapportage over het opgraven van een Els, *Alnus glutinosa laciniata*, in Purmerend door leden van het ISB (Couenberg, 2011). Bij eigen veldonderzoek is dit ondervonden (B. van Duinhoven, Terra Nostra, 2018).



Figuur 20, Links doorworteling totale pakket BSI boomgranulaat op Assumburg, Dordrecht. Rechts; Kronkelende wortelvorm door het granulaat. (B. van Duinhoven, Terra Nostra, 2018)

4.2.6. Bodemleven

Een goede samenwerking tussen de boom en het bodemleven is belangrijk voor de omzetting van blafafval in nuttige stoffen voor de boom. Nu is dit al zeer beperkt vanwege de omstandigheden in de stad en met name het weghalen van het bladafval.

Het boomgranulaat is op het moment van aanleg arm aan bodemleven. Men kan er vanuit gaan dat microfauna in de vorm van bacteriën en schimmels aanwezig is, echter mesofauna in de vorm van springstaarten of mijten zijn afwezig, of macrofauna, wormen ontbreken zeker in dit materiaal. Die zullen het mengproces niet overleven.

Bij het ontwikkelen van het BSI boomgranulaat is men erachter gekomen dat het inmengen van een recent afgegraven klei-akker betere groeieresultaten oplevert dan het inmengen van een oudere afgegraven klei-akker die lang op een depot heeft gelegen. Er is vanuit gegaan dat dit een relatie had met de aanwezigheid van bodemleven. Een recent afgegraven akker bevat meer bodemleven dan een klei-akker die lang op depot heeft gelegen. (Sneep, 2018)

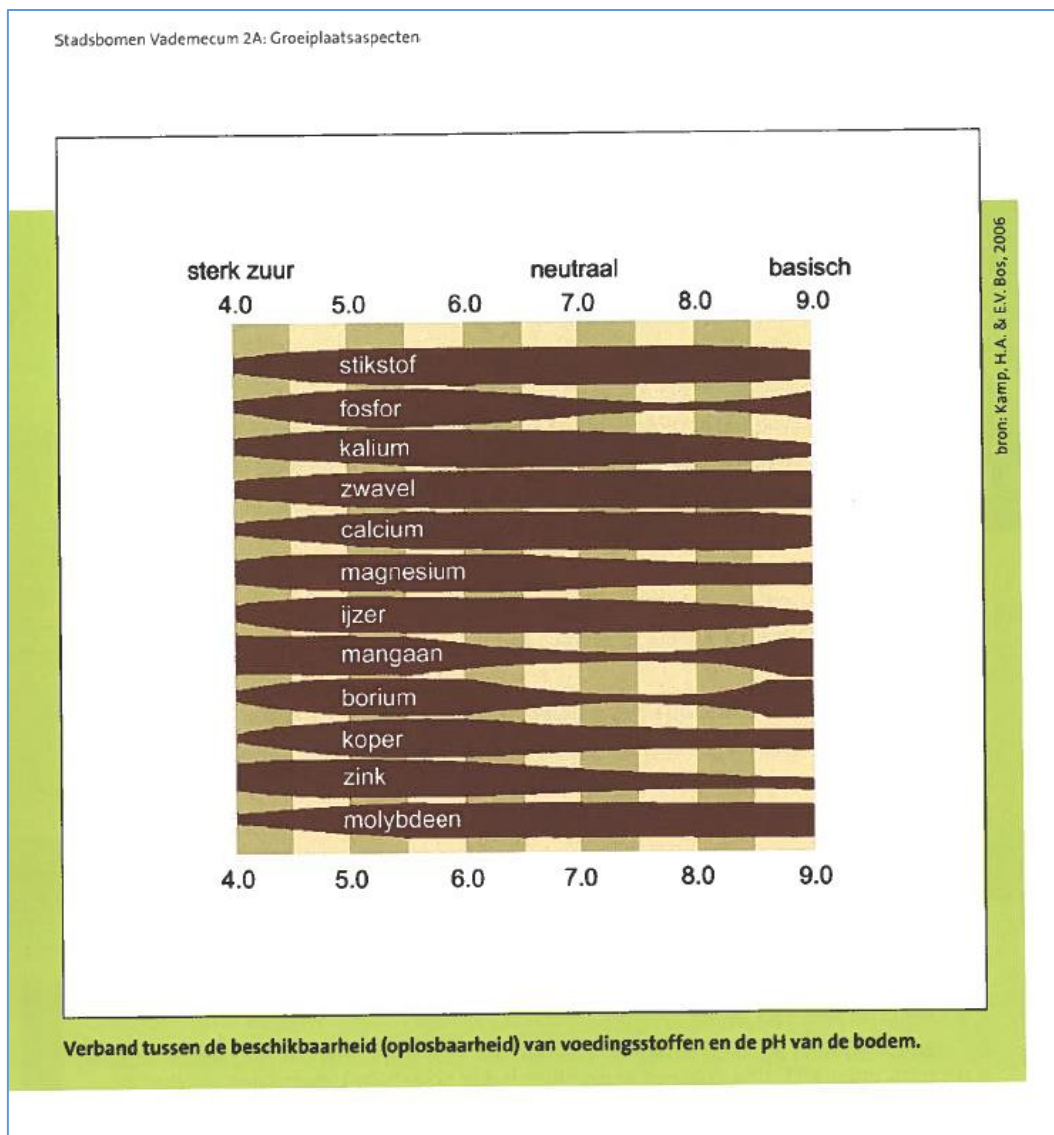
Vegetatie in arme omstandigheden investeren actiever in meer het bodemleven dan vegetatie wat in rijke omstandigheden staat. Dit is gebleken uit wetenschappelijk onderzoek waarbij het bodemleven werd gemonitord tussen kasplanten met rijke grond en kasplanten onder arme omstandigheden. Deze theorie is ook van toepassing bij bomen. Het is echter nog niet nader onderzocht of deze theorie daadwerkelijk plaatsvindt. (Sneep, 2018)

4.2.6. Opneembaarheid mineralen

Het pH van boomgranulaat ligt over het algemeen hoger dan wat voor een boom optimaal is. Voor de meeste bomen is een pH tussen 4,5 en 6,5 gunstig (Prooijen, Zuurgraad van de bodem, 2016). In Zweeds onderzoek is de veldwaarde van boomgranulaat op pH 7,3 bepaald. De bomen groeiden naar behoren, alleen is in de bladmonsteranalyse bevestigd dat er een gebrek was aan kalium en mangaan voor de boom (Bühler, et al., 2016).

In de productbladen van lava boomgranulaat kwam naar voren dat het pH van boomgranulaat in de range van 5 tot 8,5 ligt (boomzorg, 2011). De pH van grauwwacke is veelal aangepast aan de situatie. Hierover is geen duidelijk getal naar voren gekomen. Er wordt vanuit gegaan dat dit een vergelijkbare range heeft. pH 5 tot 7 (Productblad-BSI-Bomengranulaat, 2017). Het inmengen van meer turf of leem kan de zuurgraad naar beneden brengen, echter dit zorgt wel voor minder voedingsstoffen (boomzorg, 2011).

Een te hoog pH veroorzaakt gebreken in kalium, mangaan en ijzer. Dit heeft als gevolg dat de boom problemen krijgt met de energiehuishouding, opbouw van het bladgroen en weerstand tegen ziekten en aantasting (Prooijen, Functie van voedingselementen, 2016). In figuur 6 is het verband van het pH met de opneembaarheid van mineralen voor bomen zichtbaar.



Figuur 21, Verband pH en beschikbare mineralen (Prooijen, Zuurgraad van de bodem, 2016)

4.2.7. Langetermijngroeiverwachting

Vanuit Cornell university is in 1997 een proefopstelling in de stad New York aangelegd. Hierbij zijn tot heden de bomen gevolgd. De resultaten over de jaren zijn positief gebleken. Aan beide kanten van de straat zijn bomen aangeplant. Een kant in CU-structural-soil, de andere kant een zanderige leemgrond in een groenvak. In de dikte-, kroon- en wortelgroei zijn geen verschillen in opgemerkt met de twee zijdes van de straat (Grabosky & Bassuk, 2008). Het meest recente onderzoek naar de straat heeft plaatsgevonden in 2016. Onderstaand een citaat dat aangeeft dat het boomgranulaat hoogstwaarschijnlijk een geschikt groeimedium kan zijn voor voldoende groei van bomen.

“Over the 17 years of observation, the CU-Soil system provided a root growth substrate that was reflected in above-ground growth of the sidewalk trees comparable to that of the tree lawn trees.” (Grabosky & Bassuk, 2016, p108)

Dat boomgranulaat voor de lange termijn genoeg een goede groeiplaats biedt wordt mede bevestigd in Zweeds onderzoek. “In general, the chemical analyses of both soil and foliage suggested that well-constructed structural soil can support tree growth for more than a decade, as the trees at the study site were supplied with sufficient nutrients up till the time of felling” (Bühler, et al., 2016, p 39).

4.2.8. Ondergronds onderzoek

In mailing met professor Grabosky is naar voren gekomen dat in Amerika meerdere manieren zijn toegepast om bewortelingsonderzoek te doen in boomgranulaat.

Als het een optie is om een boom uit de straat te halen kan het beste een grondzuiginstallatie met Airstade worden gebruikt (Grabosky & Couenbergh, 2018). Door middel van de Airstade kan men de lagen in het boomgranulaat breken, waarna de grondzuiginstallatie het vrijgekomen materiaal verwijderd.

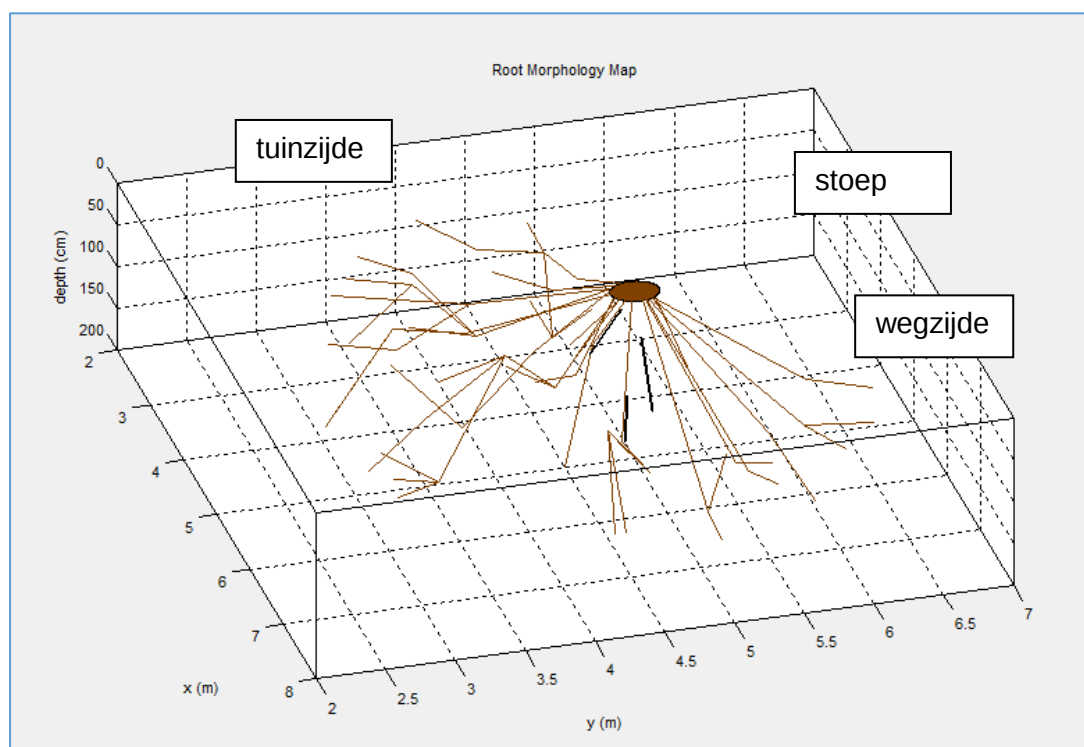
Het grote voordeel van de Airstade boven een stootijzer of graafmachine is dat de wortels er minder van beschadigen. Met de Airstade worden alleen de kleinere wortels gebroken. (Grabosky & Couenbergh, 2018) (Cornell-University, 2005)

Dit biedt de optie om de wortelkluut volledig uit het granulaat te halen en nader te bekijken. Een andere optie is met water het boomgranulaat los te spoelen. Dit vergt echter erg veel water. (Couenberg, 2018) Dit zou desalniettemin destructief onderzoek zijn, want het straatwerk en de bodem moeten open worden gehaald.

Een non-destructieve manier van onderzoeken is een optie met de inzet van een grondradar. De grondradar registreert het verschil in water en het omliggende substraat. De wortels zijn vochthoudend en het granulaat is ten opzichte van de wortel droog. Hierbij is het belangrijk dat het boomgranulaat niet verzadigt mag zijn met water. Over het algemeen is boomgranulaat goed waterdoorlatend. Dat de grondradar bruikbaar is op boomgranulaat wordt bevestigd in Amerikaans onderzoek (N. Bassuk, 2011).

Door Terra Nostra is de grondradar ingezet in een straat in Amersfoort waarbij lava substraat is toegepast. In het onderstaande figuur is een 3D weergave te zien van beworteling van een Acer x freemania 'Celzam' in een straat in Amersfoort. Zie figuur Het substraat was qua structuur vergelijkbaar met boomgranulaat. Het levert aanvullend bewijs dat de grondradar toe te passen is op boomgranulaatgroeiplaatsen.

3D weergave



Figuur 22, Weergave van de beworteling op 0-200 cm diepte. van Marnixlaan in Amersfoort ((R.J. Hendriks & W. Batenburg, adviesbureau Terra Nostra, 2018))

4.2.9 Eenheid in internationale onderzoeken:

Op dit moment vinden er verschillende onderzoeken in Zweden, Amerika en Nederland plaats over de groeieresultaten en toepassing van boomgranulaat. Professor Grabosky pleit ervoor om eenheid te creëren in de aanpak van de onderzoeken tussen de internationale vakwerelden. Dit biedt het voordeel dat resultaten gedeeld of vergeleken met elkaar kunnen worden en praktijkervaringen beter uit te wisselen zijn. Inhoudelijk wordt dit beter uiteengelegd in het vakblad Soil Science (Grabosky J. , 2015).

4.3 Uitkomsten enquête:

In totaal is de enquête uitgestuurd naar 350 contacten. In totaal zijn hierop 70 reacties gekomen. 63 verschillende gemeenten hebben gereageerd. Tientallen geadresseerden hebben daarnaast aangegeven niet genoeg inhoudelijk onderlegt te zijn over boomgranulaat, of dat binnen de eigen gemeente weinig of geen ervaring is opgebouwd. Dit waren met name kleinere gemeenten. Alle antwoorden van de respondenten staan in bijlage 7. Ter bescherming van privacygevoelige gegevens zijn pagina's weggelaten.

Vanuit de deelvragen is het doel om erachter te komen hoe tevreden groenbeheerders zijn over boomgranulaat en de groeiontwikkeling en te achterhalen welke kennis en praktijkervaringen er zijn met ondergronds onderzoek in boomgranulaat. De vragen zijn geselecteerd en geanalyseerd of deze bruikbaar zijn voor de beantwoording van de onderzoeksvragen.

4.3.1 Gesloten vragen

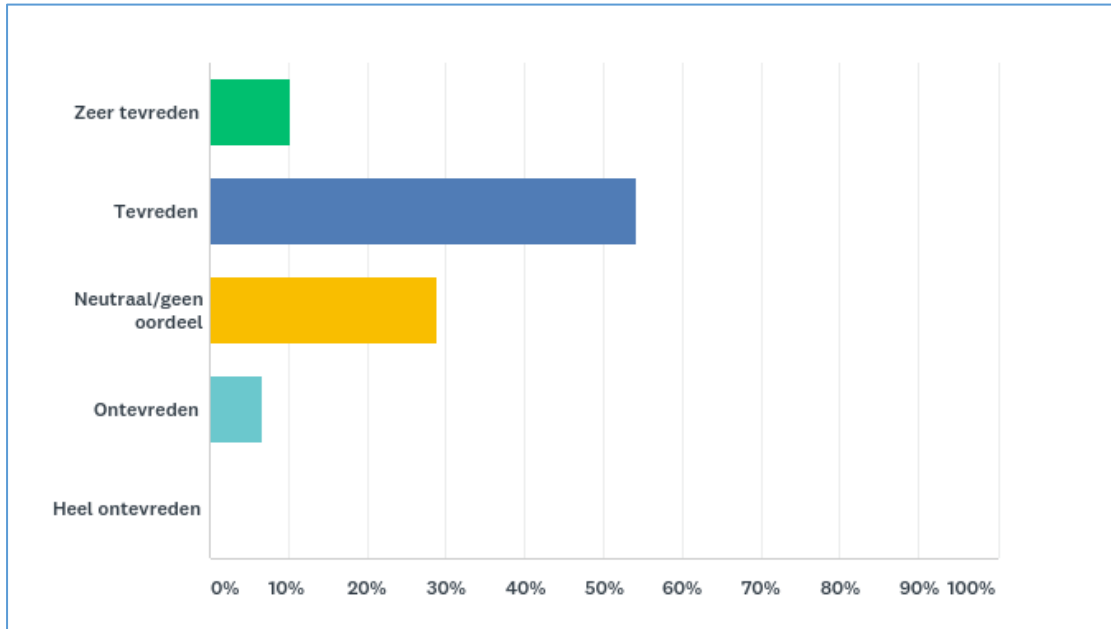
- Hoeveel bomen staan in totaal (bij benadering) in boomgranulaat?

De gemeenten met de meeste groeiplaatsen zullen de meeste ervaring en kennis hebben in het boomgranulaat vraagstuk. De onderstaande gemeenten hebben aangegeven dat zij ongeveer 500 of meer bomen in boomgranulaat hebben staan. Dit waren:

- Breda
- Rotterdam
- Amstelveen
- Leeuwarden
- Arnhem
- Haarlemmermeer
- Deventer
- Oss
- Dordrecht
- Amersfoort
- Leiden

- **Hoe tevreden bent u met het resultaat van de 1^e generatie boomgranulaat gekeken naar het voorkomen van verzakkend straatwerk?**

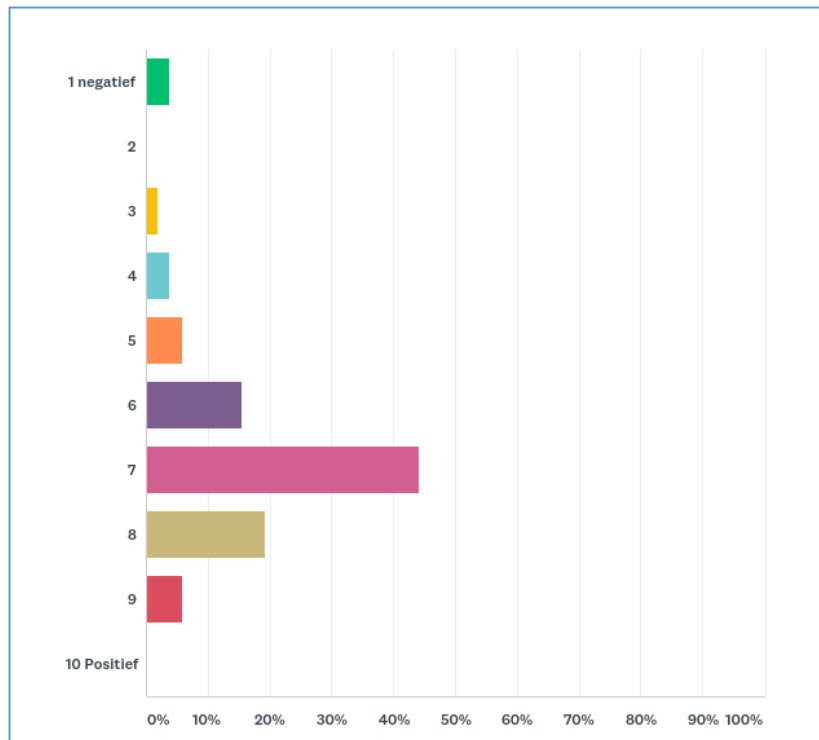
Wanneer de twee uiterste antwoorden, zeer tevreden en heel ontevreden buiten de beschouwing worden gelaten dan geeft het grotere deel van de respondenten aan dat zij tevreden zijn over de draagkracht van 1^e generatie boomgranulaat.



Figuur 23, Uitkomsten enquêtevraag 6

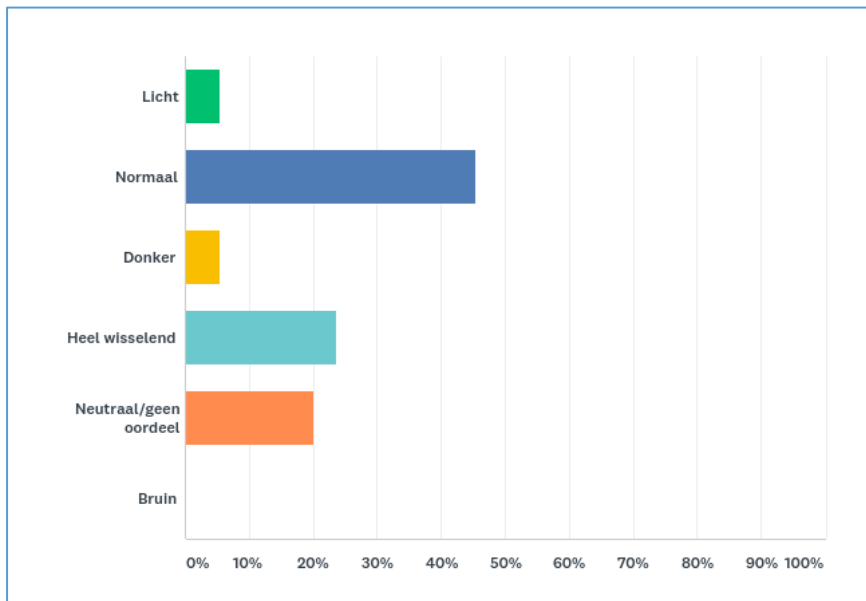
- **Welk cijfer geeft u aan het gemiddelde aanzicht van bomen geplaatst in boomgranulaat?**

De meeste respondenten zijn positief over de resultaten. Meer dan de helft van de respondenten geeft een cijfer hoger dan een vijf. Het gemiddelde cijfer komt uit op een 6,6.



Figuur 24, Uitkomsten enquêtevraag 9

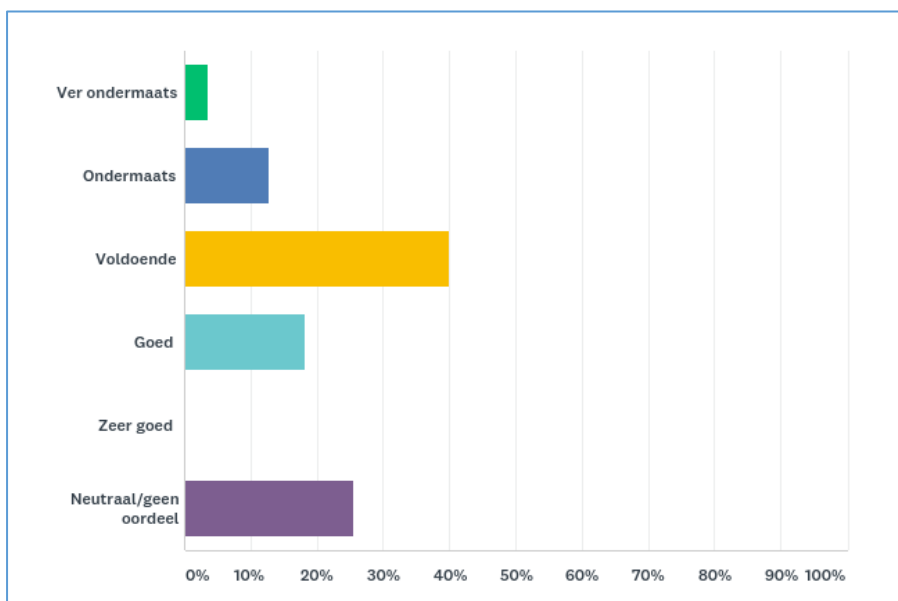
- Hoe beoordeeld u de gemiddelde kleur van het blad bij bomen in granulaat?



Figuur 25, Uitkomsten enquêtevraag 11

Als de neutrale antwoorden niet rekent met het totaal dan zijn het grootste deel van de respondenten tevreden zijn over de gemiddelde kleur van bomen in granulaat. Een kanttekening moet worden gezet dat een aanzienlijk deel, 24% aangeeft dat het resultaat heel wisselt.

- Wat vindt u van de gemiddelde diktegroei van bomen in granulaat, gekeken vanaf het moment van aanleg tot nu?

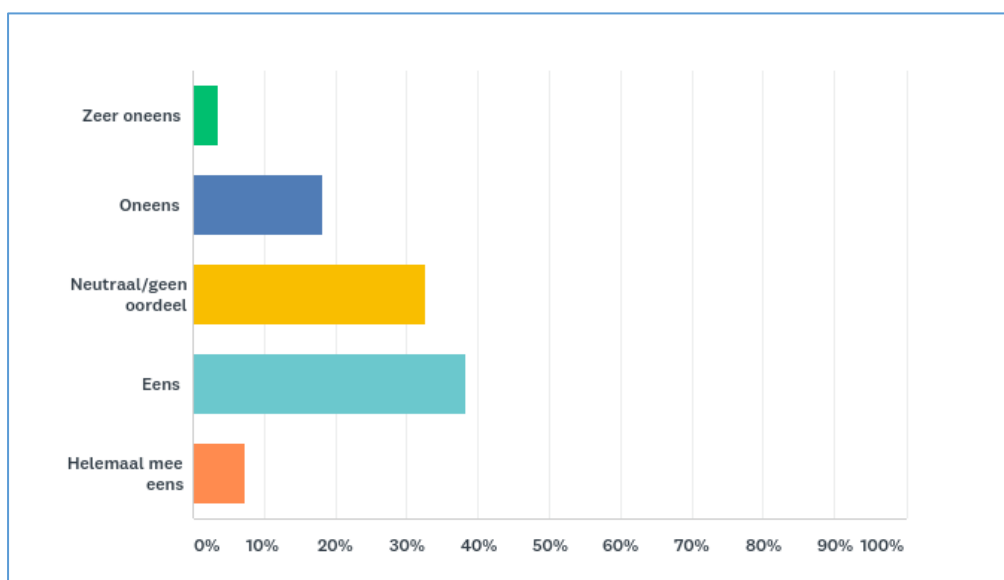


Figuur 26, Uitkomsten enquêtevraag 12

Zoals te zien is in het bovenstaande figuur beoordeeld 40% van de respondenten de diktegroei van bomen in 1^e generatie granulaat als voldoende. 25% geeft het een goed. 17% vindt het ondermaats of ver ondermaats. 26% had over de kwestie geen oordeel.

- **Bent u het eens met de stelling: Boomgranulaat biedt een duurzame groeiplaats voor bomen die er staan langer dan 15 jaar?**

Zie figuur 17. Meer dan 40% van de respondenten is positief over het toekomstperspectief van bomen in granulaat. Dit is groter dan de 22% die het niet als een duurzame oplossing zien. Opvallende was dat naarmate de enquête vorderde meer respondenten enquêtevragen oversloegen of geen oordeel invoerden als antwoord. In vraag 12 gaf 22% van de respondenten aan geen oordeel te hebben, bij vraag 17 was dit 33%.



Figuur 27, Uitkomsten enquêtevraag 17

4.3.2. Open vragen

- **Waarin kan volgens u het succes liggen van boomgranulaat op de lange termijn**

54 respondenten hebben divers gereageerd op de vraag. De antwoorden waren over het algemeen verbeterpunten of de positieve over het boomgranulaat. Hieruit zijn de volgende uitspraken gekomen:

- Het is een oplossing voor plekken waar anders geen bomen zouden kunnen staan anders. Onder verharding toepassen.

9 personen vonden dit een positief punt van boomgranulaat. Het is de hoofdreden dat het daarom goed wordt ontvangen door het werkveld en nog steeds een goed punt voor de toepassing van boomgranulaat als groeimedium voor meer bomen in een stad.

- Verbeteringen maken in hoe het materiaal water vasthoudt.

2 respondenten gaven aan dat in het vochthoudendvermogen verbetering kan plaatsvinden. Één reactie gaf daarbij aan dat met name in de periodes van droogte verbeteringen nodig zijn.

- Verbetering in het toezicht bij de aanleg. Dit is heel belangrijk.

7 personen gaven aan dat de aanleg zeker nog aandacht verdient. Dit was zowel in de bestekvorm als de controle buiten bij de constructie ervan.

- Verbetering in de afgifte van de voedingsstoffen. (4 reacties)

4 reacties gaven aan dat er nog verbeteringen nodig zijn in hoe het boomgranulaat de voeding afgeeft aan de boom. Dit was vooral op de lange termijn gericht, maar ook dat het een relatief arm mengsel is.

- Geen last van graafwerkzaamheden voor kabels en leidingen

Het meest opvallende van de reactie was over een positief punt van boomgranulaat. Twee personen gaven aan dat met boomgranulaat er bijna geen problemen zijn met derde partijen die graven in het materiaal. Hiermee wordt wortelschade voorkomen.

- **Valt u iets op aan bomen in 1^e generatie boomgranulaat?**
- Begin harde groei wat na verloop van tijd inzakt.

3 personen gaven aan dat zij gemerkt hebben dat de groei inzakt na enkele jaren. Aansluitend waren er 5 reacties over dat de groei stil valt. Dat brengt op een totaal van 8 reacties die dit een tragere of stilvallende groei hebben opgemerkt.

- Wortelontwikkeling beperkt (2 reacties)

2 reacties gaven aan dat zij het idee of gezien hebben dat de wortelgroei beperkt is in het materiaal.

- De groei is trager (7 reacties)

In totaal gaven 7 personen aan dat de groei trager is dan bij andere groeimediums. Een observatie die niet opvallend met de informatie dat het boomgranulaat redelijk voedselarm tegenover elk ander groeimedium en de structuur van het grondskelet het grootste gedeelte van het boomgranulaat vormt. De lava of grauwacke stenen zijn te hard voor de boom om mineralen mee uit te wisselen.

- De bomen starten heel langzaam (2 reacties)

2 personen gaven aan dat de bomen langzaam op gang kwamen na de aanleg. De redenen kunnen hier divers van zijn. Het staat in ieder geval in contrast met de observatie van andere groenbeheerders. Deze personen nemen het omgekeerde waar.

- Verdroging

1 reacties gaf aan dat het materiaal niet genoeg water vasthoudt voor de bomen. Het is een opvallend terugkomend thema in de vragen.

- Goede gestage groei (2 reacties)

Er zijn over boomgranulaat zeker een aantal personen die positief zijn over het materiaal. Volgens 2 personen groeien de bomen gestaag door. Uit de antwoorden is op te maken dat het niet om een explosieve groei gaat. Over het algemeen is dit positief punt voor stadsbomen.

- **In welk onderdeel denkt u dat een algemene oorzaak zou kunnen liggen voor een verminderd groeiresultaat?**

Om de keuze te vereenvoudigen voor de respondenten zijn een aantal categorieën voorgelegd naar de mogelijke oorzaak van verminderde condities. Eigen inbreng was in een opmerkingenveld toe te voegen. Meerdere antwoorden waren mogelijk. Uit het totaal kwamen twee hoofdonderwerpen naar voren. Aanleg fouten en bodemleven. Van alle respondenten wees 53% aanlegfouten aan als mogelijke oorzaak. Dit is deels te verklaren vanwege het feit dat de het onderwerp aanleg van boomgranulaat een belangrijk discussiethema is geweest in het vakblad boomzorg. Zoals ook besproken in paragraaf 3.2.1.

33% van de respondenten wijten een verminderde conditie mogelijk aan de armoede aan bodemleven in het boomgranulaat. De symbiose van de boom met het bodemleven is van grote invloed op het succes van een groeimedium. Dit punt is reeds behandeld in paragraaf 3.2.6.

4.3.3 Conclusie enquête

De boombeheerders zijn tevreden over de algemene resultaten van boomgranulaat. Er zijn twijfels over de toekomst van het materiaal. Vooralsnog geen verontrustende signalen dat bomen massaal zullen uitvallen die in 1^e generatie boomgranulaat staan. Er zijn echter wel signalen en onderwerpen die elkaar tegenspreken.

Onderwerpen die naar voren zijn gekomen:

- Vertraagde groei.
- Aanlegfouten moeten worden voorkomen.
- Groei van de bomen valt stil.
- Bodemleven wordt gezien als kritisch punt dat mogelijk misgaat op de lange termijn
- Gemiddeld cijfer dat de boombeheerders aan het resultaat van boomgranulaat geven is een 6.6.
- Wisselende resultaten in het veld.
- Positief punt: Het materiaal biedt de optie om op voorheen onmogelijke plekken bomen te planten.
- Positief punt: Er is nauwelijks tot geen last van graafschade door derden.

5. Conclusie

Alle resultaten van de voorgaande onderzoeken worden samengebracht in dit hoofdstuk ter beantwoording van de hoofd en deelvragen, Eerst worden de deelvragen beantwoord waarna de hoofdvraag aan bod komt.

Deelvraag 1

Hoe ver wijken de bovengrondse parameters af van bomen in een groeiplaats van lava of grauwacke boomgranulaat, in vergelijking met bomen van ongeveer dezelfde leeftijd staande in een opengrondsituatie?

Het gevonden veldresultaat van boomgranulaat was wisselend.. Een aantal observaties zijn gedaan:

- De condities van de bomen op de individuele locatie verschillende weinig van elkaar. Grote variaties zijn gevonden in de condities en de mate van opdruk tussen de verschillende locaties.
- Locaties met grauwacke boomgranulaat hebben een hoger percentage bomen met normale conditie, 56% vergeleken met 49% op lava boomgranulaatlocaties.
- De bomen op lava granulaatlocaties zorgden voor de meeste opdruk in vergelijking met grauwacke. Hierbij is opgevallen dat bomen met een betere conditie meer opdruk veroorzaken dan bomen met een verminderde of sterk verminderde conditie.
- Een explosieve takscheut- of diktegroei is op geen van de bezochte locaties waargenomen.

Over de groei van bomen in boomgranulaat was geen duidelijk oordeel te vellen. Behalve dat de bomen stabiel groeien, zowel een positieve groeilijn als negatieve groeilijn is gevonden. Bij 45% van alle bomen in boomgranulaat is een verminderde conditie vastgesteld. Dit is een signaal dat met een ruim deel van de groeiplaatsen iets aan de hand is. Mogelijke oorzaken of verklaringen hiervoor zijn niet aan te wijzen. Vervolgonderzoek is nodig.

Deelvraag 2

Welke ondergrondse kenmerken kunnen van invloed zijn op de lange termijn groeieresultaten van bomen staand in lava of grauwacke boomgranulaat?

Vanuit het literatuuronderzoek is gevonden dat het pH van boomgranulaat niet ideaal is voor, in het algemeen, alle boomsoorten. De aanwijzingen voor hoge pH waarden zijn gevonden in zowel de aanplantstadium en in de veldwaarden tien jaar na de aanleg. Een te hoge pH in de ondergrond heeft effecten op de beschikbaarheid van mineralen voor de boom. Een gebrek in de mineralen leveren voor de boom problemen op met de vorming van bladgroen, weerstand tegen aantasters en de balans in de energiehuishouding. Het hoge pH van boomgranulaat lijkt de beste verklaring voor een algemene conditie afname van bomen in granulaat. Het is echter niet te onderbouwen dat dit de bepalende factor is voor een verminderd groeieresultaat. Vervolgonderzoek zou hier meer duidelijkheid in kunnen geven.

Deelvraag 3

Wat zijn de ervaringen bij gemeenten verspreid over Nederland met groeiplaatsen van lava of grauwacke boomgranulaat, waarbij de aanleg langer dan vijf jaar geleden heeft plaatsgevonden?

De respondenten waren overwegend positief over de resultaten van boomgranulaat. Het gemiddelde cijfer voor het aanzicht van bomen in boomgranulaat kwam uit op een 6,6. Tientallen gemeenten gaven aan dat zij weinig kennis of ervaring hebben met boomgranulaat. Hieruit blijkt dat er bij met name kleine gemeenten nog veel onbekendheid is over boomgranulaat. Als de respondenten een oorzaak moesten geven voor een verminderd

resultaat dan waren aanlegfouten en gebreken in het bodemleven de meest aangewezen onderwerpen als mogelijke oorzaken. Als eindoordeel gaf 45% van de respondenten gaf aan dat zij boomgranulaat zien als een goed groeimedum voor een groeiplaats voor langer dan 15 jaar. Wat opviel uit de antwoorden van de open vragen was dat meerdere respondenten elkaars veldbevindingen en meningen tegenspraken.

Deelvraag 4

Wat zijn de beste technieken voor onderzoek naar de beworteling van bomen staande in boomgranulaat?

Bewortelingsonderzoek naar het resultaat van boomgranulaat kan op twee manieren. Destructief en non-destructief. Destructief onderzoek levert het meest volledige beeld op van de beworteling. Bij destructief onderzoek moet gemotoriseerd materiaal worden ingezet is, dat tijdelijk veel impact op straat en de omgeving van de boom geeft. Gemeenten moeten daarnaast bereid zijn om de plekken met boomgranulaat ter beschikking te stellen voor de wetenschap. Als destructief onderzoek een optie is, dan kan dit het beste met een Airspade en grondzuiginstallatie worden gedaan. De Airspade breekt de lagen in het granulaat en blaast de wortels schoon. Het vrijgekomen materiaal kan met een grondzuiginstallatie worden weggezogen. Deze manier vergt echter de inzet van twee dure machines. Het is daarmee kapitaalintensief onderzoek. Een goedkopere oplossing is de inzet van een graafmachine en proefsleufonderzoek met een smalle bak of olifantenslurf. Zodra een sleuf is gegraven kan met handgereedschap en/of met water voorzichtig per laag de wortels uit het materiaal worden gehaald. Voor beiden soorten destructiefonderzoek is een chemische analyse van het granulaat een waardevolle aanvulling.

Wanneer alleen non-destructief onderzoek een optie is, dan kan dit het beste met de inzet van een grondradar. In Amerikaans en eigen onderzoek is dit succesvol toegepast. Een conditiebepaling en bladparameters zijn waardevol om daarbij toe te voegen.

Hoofdvraag

Hoe is de ontwikkeling van bomen in een groeiplaats van lava of grauwacke boomgranulaat met het aanlegmoment langer dan vijf jaar geleden?

De groeiontwikkeling van bomen in boomgranulaat is geen harde groei. Een min of meer stabiele tak- en diktegroei is gevonden. Dit zowel naar de positieve als de negatieve kant. Het boombeeld in het veld wisselde erg tussen de verschillende locaties. Op de locaties zelf waren geen grote verschillen. Zowel de enquête als het veldonderzoek geven een overwegend positief beeld van de resultaten. Wat is vastgesteld is dat boomgranulaat geen wondermiddel is. Een ruim aandeel van de bomen in boomgranulaat had een verminderde conditie. Aanvullend onderzoek is nodig om beter invulling te kunnen geven wat de oorzaken zijn van succes of geen succes. Op dit moment is er onvoldoende onderbouwing voor een duidelijk oordeel over het toekomstperspectief van de bomen in 1^e generatie boomgranulaat.

6. Reflectie

In elk onderzoek lopen er zaken niet zoals eerder voorzien. Als deel van de reflectie op het gedane onderzoeksproces zijn de onvoorziene zaken in dit hoofdstuk beschreven en geanalyseerd hoe dit opgelost is en in het vervolg kunnen worden voorkomen.

Achtergrondinformatie over de groeiplaats

Bij het opvragen van de gegevens over de groeiplaatsen bij de verschillende gemeenten kwam al snel naar voren dat veel van de informatie lastig of niet meer is te achterhalen. Veel gemeenten hadden geen toegang tot de gegevens over de groeiplaatsen vanwege wisselingen in het personeelsbestand, veranderingen in het datasysteem en/of het archiefbeleid. Sporadisch zijn gegevens aangeleverd over de kubieke meters toegepast boomgranulaat, de toegepaste beluchting, waterhuishouding of originele aanplantmaat aangeleverd. In vervolgonderzoeken zal rekening moeten worden gehouden dat deze groeiplaatsinformatie slecht vindbaar of niet meer te achterhalen is.

Het gebrek aan achtergrondinformatie over de locaties heeft als effect gehad dat er geen diepere analyse heeft plaatsgevonden naar de mogelijke overeenkomsten tussen locaties, de groeieresultaten en de constructie van de groeiplaatsen. In de eigen veldgegevens is dit terug te vinden in de berekening over de diktegroei. Op 11 van de 24 plekken is de aanplantmaat aangegeven. Voor de andere locaties kon niet worden achterhaalt hoeveel de bomen in dikte hadden toegenomen. Dit zorgt mogelijk voor scheve verhoudingen omdat de gegevens over de aanplantmaat slecht beschikbaar waren voor de grauwacke locaties. Bij lava locaties was dit veel beter beschikbaar via het archief van de Nationale Bomenbank. Wanneer één grauwacke locatie minder groeit heeft dit een veel effect gehad op de cijfers. Dit was helaas niet te voorkomen.

Optimum als referentiepunt

Het staat vast dat bomen op een kwekerij minder negatieve invloeden ondervinden dan bomen in de stad. Dit zowel in milieufactoren zoals hittestress als in de ondergrond waar de bomen in zijn geplant. Toch is de vergelijking met deze optimumsituatie gekozen, omdat er geen andere referentiepunten goed beschikbaar waren. Oplossingen of aanwijzingen voor een verbetering van dit referentiepunt is tot op heden nog niet gevonden.

Voeding uit de groenstrook

Op meerdere locaties stonden enkele bomen in groenstroken. Voorbeeldstraten zijn het Dorpsplein in Nijmegen-Lent en de Schillingsdreef in Woerden. Wat is opgevallen tijdens het veldwerk is dat bomen in de groenstroken aanzienlijk dikker en beter van conditie zijn dan de bomen die volledig omringd zijn door verharding. De vraag is opgekomen of de bomen in de groenstroken niet de benodigde voeding en mineralen halen uit de toplaag van de bovenliggende perken? Is de situatie met elkaar te vergelijken? Kan het veel invloed hebben op de uitkomsten? Het zijn helaas vragen die niet binnen dit onderzoek beantwoord kunnen worden.

Gemis ondergronds onderzoek

Voor het boomgranulaatvraagstuk is ondergronds onderzoek nodig naar de ontwikkeling van de wortelkluif in het boomgranulaat. Al snel werd geconcludeerd dat het niet haalbaar is dat één persoon een gedegen aantal proefsleuven kan graven in boomgranulaatgroeiplaatsen benodigd voor een onderbouwd oordeel. De hardheid van het materiaal, de relatief korte periode van afstuderen en de complexe ondergrondse situaties in de steden zijn mede daarvan de oorzaken. Tweemaal is meegegaan met ondergronds onderzoek in boomgranulaat, echter dit aantal is te gering om harde conclusies te maken over de algemene groeieresultaten van boomgranulaat.

Vochthoudendvermogen:

Er is literatuur bekend over de het vochthoudendvermogen van boomgranulaat na het verloop van een aantal jaren. Helaas mist de kennis om dit te verwerken in het rapport en was de tijd te kort op de deadline om de kennis nog op te doen. Vervolgonderzoek naar het vochthoudendvermogen van boomgranulaat lijkt waardevol.

Kwekerij referentiebomen

De tijd van het veldwerk ten opzichte van de deadline van het rapport was zeer kort. De beslissing is gemaakt om op de kwekerij per boomsoort, van maar één boom takscheuten te nemen. Er zijn in totaal 28 referentiebomen bemonsterd. Dit staat in een groot contrast met het aantal van 368 stuks voor de bomen in granulaat. Tijdsnood is de oorzaak van de geringe aantallen.

Op de kwekerijen waren niet alle identieke boomcultivars in de juiste boommaat verkrijgbaar. Hierdoor is besloten om bomen van een grotere stamdiameter op de kwekerijen te bemonsteren. Er was te weinig tijd beschikbaar om uitgebreider op zoek te gaan naar andere bomen voor de juiste maat. Vervolgonderzoek zal exacter moet worden uitgevoerd en dient er rekening mee te worden gehouden dat kwekers op een andere hoogte de stamdiameter of omtrek meten. In het eigen onderzoek was deze range verwaarloosbaar vanwege de beperkte verkrijgbaarheid van de exacte boomcultivar en stamdiameters op de kwekerijen.

Bij het verzamelen van veldgegevens over de referentiebomen zijn vanwege een kopieerfout twee boomsoorten vergeten om op te zoeken op de kwekerij van Lappen in Duitsland. Dit gaat om de boomsoorten; *Liquidambar styraciflua* en de *Acer platanioides* 'Faassens Black'. De tijd op de deadline was tekort om dit nog te corrigeren en naar Duitsland te gaan om deze gegevens te verzamelen. Voor de *Liquidambar styraciflua* was het op te lossen door de takscheutgegevens te nemen van de referentieboom *Liquidambar styraciflua* 'Worplesdon'. Vanuit gesprekken met Teije de Haan is besproken dat over het algemeen de dikte- of scheutgroei van een cultivarsoort niet heel ver zal afwijken van het originele geslacht. In het geval van de *Acer platanioides* 'Faassens Black' was er geen oplossing te vinden. Hier mist een referentiepunt.

De referentieboom in Winterswijk staat in bomenzand in dezelfde straat. Vanwege te zware drukbelasting van het straatwerk wordt het bomenzand zwaar verdicht. Met als gevolg een sterk verminderde conditie en groei voor de referentieboom.

Aanwezigheid aantasters

Het veldwerk vond plaats kort in het begin van het groeiseizoen. Het blad van de bomen was nog jong en van vraatschade was nauwelijks sprake. Bij de veldwerkronde op de kwekerijen speelde hetzelfde. Verschillen zijn niet waargenomen het is daarmee weggelaten als parameter binnen het onderzoek.

Lava substraat

Op de van Marnixlaan in Amersfoort is proefsleuf en grondradaronderzoek ingezet. De resultaten zijn maar in delen toe te passen in dit boomgranulaatonderzoek. Aanvankelijk is ervanuit gegaan dat er boomgranulaat was toegepast. Bij het open halen van meerdere groeiplaatsen is echter gebleken dat de lava fractie te klein is om onder granulaat te scharen. De aanleg van de groeiplaatsen was daarnaast onregelmatig. Verschillende samenstellingen zijn toegepast. Vanwege de onregelmatigheid en het niet kunnen vaststellen welk type substraat exact is toegepast is er vanaf gezien om de groeieresultaten mee te nemen in het onderzoek. Het deel over de inzet van de grondradar was wel toe te passen als input voor het eigen onderzoek.

Overschatting mate van opdruk

Overschatting heeft waarschijnlijk plaatsgevonden over de mate van opdruk. Niet op alle plekken is met een meetlat de grootte van de opdruk bepaald. Bij het nameten van de inschatting op twee locaties is vastgesteld dat hier soms in is overschat. Het zal niet van grote invloed hebben gehad op de uitslag van het veldonderzoek. Het zal als effect kunnen hebben dat de uitkomsten over opdruk vergroot worden hierdoor.

Kritische zijn op verkregen gegevens

Het is belangrijk gebleken om kritisch te zijn op de verkregen gegevens en de veldsituatie. Op één locatie zouden de bomen in grauwacke granulaat moeten zijn aangeplant. Echter bij het veldbezoek en met de hand open graven van het plantvak is gebleken dat er een lava granulaat is toegepast. Op dat moment is er vanaf gezien om de locatie mee te nemen omdat de basisinformatie niet kloppend was.

Verwarring over groeiplaats termen

De term groeiplaats of locatie werd door respondenten in de enquête enkele keren door elkaar gehaald. Ditzelfde geldt voor boomsubstraat of boomgranulaat. Met het woord locatie werd de straat bedoeld en met groeiplaats de individuele plek waar de boom in staat. Voor zover het mogelijk is zijn deze fouten herkend en aangepast.

Een aantal vragen uit de enquête waren op meerdere manieren te interpreteren of een term in de vraagstelling bleek te lastig voor een meerderheid van de respondenten. Er is voor gekozen om de resultaten van de onduidelijke vragen niet te behandelen binnen het onderzoek. Voor niet elke groenbeheerder zijn alle termen duidelijk over boomgranulaatgroeiplaatsen.

In de enquête is niet bij elke vraagstelling de term 1^e generatie boomgranulaat gebruikt. Ondanks uitleg in de uitnodigingsmail en de inleidende teksten van de enquête is de kans aanwezig dat respondenten boomgranulaat groeiplaatsen van voor 2012 ook mee hebben genomen in de antwoorden op de enquêtevragen.

Bewuste blik beheerder

In gesprekken met enkele groenbeheerders kwam naar voren dat zij na enkele jaren niet meer bewust kijken naar de voortgang van bomen in boomgranulaat. Zolang de locatie in de eigen gemeente geen bijzondere probleemgeval is verliest men de aandacht voor de groei en/of de conditie. Dit is zeker van invloed bij het boomgranulaatvraagstuk. Er is tot heden geen locatie gevonden die langdurig is gemonitord. Het kan zijn dat bij een meer bewuste blik er andere waarden uit de enquête waren gekomen.

Seizoenafhankelijke onderzoeken

In de opzet van het veldonderzoek zijn bladparameters weggelaten. Deze parameters zijn vanwege het seizoen waarin het afstuderen valt niet te gebruiken. In vervolgonderzoek zal de toevoeging van deze bladparameters zeker een meerwaarde leveren.

Lava granulaat ondervertegenwoordigd

In de zoektocht naar boomgranulaatlocaties hebben veel gemeenten gereageerd. Opvallend hieraan was dat dit hoofdzakelijk locaties waren waarbij grauwacke is toegepast. Binnen het bedrijf waren aanwijzingen van oude projecten waarbij lava boomgranulaat is toegepast. Er zijn in totaal 9 locaties bezocht met lava en 16 locaties met grauwacke. Lava was met 88 bomen vertegenwoordigd en grauwacke met 280. Het geeft zeker andere verhoudingen in de data. De oververtegenwoordiging is echter goed te verklaren, want BSI boomgranulaat was nu eenmaal het eerste product wat op de markt kwam.

Een ander punt van aandacht hierbij is dat bij lava locaties alle aanplantmaten goed beschikbaar waren via oude offertes van de Nationale Bomenbank. Bij grauwaske locaties waren deze gegevens niet of nauwelijks meer te vinden.

Missende opdrukgegevens

De opdruk is niet bepaald op één locatie in Dordrecht. Het gaat om de straat Assumburg met 43 haagbeuken *Carpinus betulus*. In een vroeg stadium van het veldonderzoek is de straat onderzocht. Pas na het afronden van het veldwerk is erachter gekomen dat de gegevens over opdruk misten. De tijd was helaas tekort op de deadline om dit nog te corrigeren.

Dode of bevroren topscheut

In Emmeloord waren meerdere bomen, *Gleditsia triacanthos* 'Sunburst' die dode topscheuten hadden in de kroon. Dit is tevens bij het meten van de genomen takscheuten bevestigd. Het heeft dit jaar kort in het groeiseizoen onverwacht gevoren. Dit kan een mogelijke verklaring zijn dat topscheuten gestorven zijn. Dit terwijl de rest van de kroon goed in het blad stond. De eigen sortimentskennis is helaas te beperkt voor een onderbouwd oordeel hierover. Besloten is dat bomen met kleine dode topscheuten niet zijn beoordeeld als een verminderde conditie vanwege de onverwachte vorst. In de ruwe takscheutmetingen is opgenomen wanneer er een dode topscheut is aangetroffen bij de meting. De informatie kan interessant zijn, maar de tijd was te gering om dit verder uit te werken binnen het rapport.

Microsoft Excel voor data-analyse

De data-analyse is gedaan met Microsoft Excel. Het gebruik van professionelere dataverwerkingsprogramma's hadden mogelijk nauwkeuriger of beter verbanden ontdekt in alle data. Helaas was de tijd tekort op de deadline om dit soort programma's aan te leren en toe te passen voor dit onderzoek.

Bij het nader bekijken van de trends en de gegevens achter de grafieken en tabellen is naar voren gekomen dat een aantal losse locaties de procentuele score in grote mate beïnvloeden. Wanneer die bepaalde locatie niet onderzocht was dan had dit een ander beeld gegeven. Een groter aantal proeflocaties bezoeken had dit kunnen voorkomen.

De analyse van de data over de condities, opdruk en de takscheuten heeft pas twee weken voor de deadline van het rapport kunnen plaatsvinden. Hierdoor waren de mogelijkheden beperkt de verzamelde gegevens diepgaand te analyseren. Dit heeft effecten gehad op de bruikbaarheid en conclusies uit de veldgegevens.

Verkennd onderzoek

Het vraagstuk over boomgranulaat is erg complex. Een duidelijk antwoord over het toekomstperspectief is niet gevonden. Ondanks dat een oordeel niet gevormd kon worden ligt hopelijk de kracht van het onderzoek in de aanwijzingen hoe de onbekende factoren het beste in de toekomst onderzocht kunnen worden.

7. Aanbevelingen

- Voor vervolgonderzoek naar het resultaat van boomgranulaat is het aan te raden om ondergronds bewortelingsonderzoek te doen. De vraagstukken rond boomgranulaat spelen zich ondergronds af. Enkele gemeenten waren welwillend om bomen beschikbaar te stellen. De kanttekening is dat dit een beslissing is waar niet één persoon over kan beslissen. Het kan enige tijd duren voordat de besluitvorming en financiering ervoor rond is.
- Vanuit professor Grabosky wordt ervoor gepleit dat de internationale groene vakwerelden afspreken om dezelfde onderzoekssystematiek te gaan hanteren voor wetenschappelijk onderzoeken naar de groei van bomen in zwaar met drukbelasten straatprofielen (Grabosky J. , 2015). Door een eenduidige manier van onderzoek zijn de resultaten met elkaar beter te vergelijken en uit te wisselen.
- In Amerika en Zweden hebben reeds meerdere onderzoeken plaatsgevonden naar de lange termijn groeieresultaten van boomgranulaat. Het lijkt erg waardevol om kennis uit te wisselen met de verschillende universiteiten over de manieren van onderzoek en de resultaten. Professor Jason Grabosky van de Cornell University uit New York en Professor Oliver Bühler van de University of Copenhagen lijken hierbij de beste aanspreekpunten. Ook is de ISA ,International Society of Arboriculture een uitstekende kennisgroep voor hulp en advies met vervolgonderzoek.
- Het vochthoudendvermogen is belangrijk voor de bomen om te overleven. De theorie is dat wanneer het polymeergel verteerd is de boomwortels ver genoeg ontwikkeld zijn om het water genoeg vast te houden. Geen onderzoek is bekend die deze theorie bevestigt of ontkracht. Het kan interessant zijn om te zien of deze theorie in het veld daadwerkelijk plaatsvindt. Hiernaast is Amerikaanse literatuur bekend over het vochthoudendvermogen van enkele boomgranulaten. Deze zijn echter niet nader bestudeerd.
- Een chemische analyse van het oudere boomgranulaat lijkt waardevol. Dit omdat het pH en de daaraan gekoppelde opneembaarheid van nutriënten inzichtelijk maakt. In het laboratorium kan het enige tijd duren voordat een dergelijke analyse is gemaakt, hier zal rekening mee moeten worden gehouden. Daarnaast is het een relatief duur onderzoek. Geschat wordt dat dit ongeveer 500 euro kost.
- De beste manier voor non-destructief ondergrondsonderzoek is de combinatie van grondradar, visuele conditiebepaling en bladparameters zoals een chlorofylfluorescentiemeting. De visuele beoordeling en bladparameters leveren essentiële onderbouwing op over de totale conditie en groeiontwikkeling van de boom.
- Een alternatief voor boomgranulaat is het toepassen van een tweede maaiveldconstructie. Hiermee is goede bomengroei onder dezelfde verdichtingsgraad en verkeersbelasting mogelijk net als bij boomgranulaat. Het blijkt uit Amerikaanse literatuur dat een tweede-maaiveldconstructie met teelaarde, met dezelfde hoeveelheid aan kubieke meters aan groeiruimte, meer potentie biedt voor een duurzame bomen groei dan boomgranulaat (Smiley, Calfee, Fraedrich, & Smiley, 2006). Wanneer langdurige bomengroei, langer dan 50 jaar het doel van de eigen organisatie is, dan lijkt dit een constructie die meer zekerheid biedt dan boomgranulaat.

Bibliografie

- Agripol. (2018, maart 16). *about_broadleaf*. (Agricultural Polymers International Ltd.) Retrieved maart 16, 2018, from http://www.agripol.co.uk/about_broadleaf
- B. van Duinhoven, Terra Nostra. (2018). *Bomen Effect Analyse bij 42 haagbeuken aan de Assumburg te Dordrecht*. Bleskensgraaf: Terra Nostra. Retrieved juni 3, 2018
- Bassuk, J. G. (1996, November). Testing of structural urban tree soil materials for use under pavement to increase tree rooting volumes. *Journal of arboriculture*, 1996(22 (6)), 255-263. Retrieved april 11, 2018
- Batchelder, S., & Batchelder, M. (2011, december 15). Urban trees and associated root problems: Part 3 - Managing root zone conditions for new plantings. *Western Arborist*, 2011, 12-17. Retrieved maart 5, 2018
- Boomzorg. (2011). *Special boomsubstraten*. Nijmegen, Gelderland, Nederland: NWST Newstories B.V. Retrieved mei 18, 2018, from <http://www.boomzorg.nl/archief.asp?t=2>
- boomzorg, V. (2011). Boomgranulaat, waar kan ik dat krijgen. *Boomzorg*, 2011(3), 52-53. Retrieved mei 15, 2018, from <http://www.boomzorg.nl/upload/artikelen/bz311leveranciers.pdf>
- BroadleafP4. (2018, maart). *broadleafp4.com/about.htm*. Retrieved maart 16, 2018, from [broadleafp4.com: http://www.broadleafp4.com/about.htm](http://www.broadleafp4.com/about.htm)
- Bühler, O., Ingerslev, M., Skov, S., Schou, E., Thomsen, I. M., Nielsen, C. N., & Kristoffersen, P. (2016, februari). Tree development in structural soil – an empirical below-ground in-situ study of urban trees in Copenhagen, Denmark. *Plant Soil*, 2016, 29-44. doi:10.1007/s11104-016-2814-4
- Cornell-University (Producer), & Bassuk, N. (Director). (2005). *CU-Structural Soil® - 7 Year Excavation Tree Study* [Motion Picture]. Amerika: Youtube.com. Retrieved februari 25, 2018, from <https://www.youtube.com/watch?v=6yFHLPL904Q>
- Couenberg, E. (2011). *Opgraven Els in granulaat, Purmerend 14-2-2011*. Intern rapport van het ISB, Natura Ingenium.
- Couenberg, E. (2018, maart 27). (J. Hoppennbrouwer, Interviewer)
- Dataquint. (2015). GeoVisia. (Versie 5.6.5).
- Delft, B. v., Waal, R. d., Kemmers, R., & Mekking, P. (2017, september). *Downloads humusvormen*. Retrieved from Wur.nl: <http://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Projecten/Humusvormen/Downloads.htm>
- Ely, M. E. (2010). *Integrating Trees Into the Design of the City: Expert Opinions on Developing More Sustainable Practices for Planting Trees in Australian Cities*. Adelaide University. Adelaide University. Retrieved maart 5, 2018
- Grabosky, J. (2015, April/mei). Establishing a common method from which to compare soil systems designed for both tree growth and pavement support. *Soil Science*, 2015(180, 4/5), 207-213. doi:10.1097/SS.0000000000000124

- Grabosky, J., & Bassuk, N. (1995, juli). A new urban tree soil to safely increase rooting volumes under sidewalks. *Journal of arboriculture*, 1995(21(4)), 187-201. Retrieved mei 13, 2018
- Grabosky, J., & Bassuk, N. (2008, juli). Sixth- and tenth-year growth measurements for three tree species in a load-bearing stone-soil blend under pavement and a tree lawn in Brooklyn, New York, U.S. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2008(34), 265-266. Retrieved april 11, 2018
- Grabosky, J., & Bassuk, N. (2016, mei 18). Seventeen years' growth of street trees in structural soil compared with a tree lawn in New York City. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016(16), 103-109. Retrieved mei 29, 2018
- Grabosky, J., & Couenbergh, E. (2018, april, mei). Advice needed with digging up structural soil. (J. Hoppenbrouwer, Interviewer) Retrieved mei 20, 2018
- Grabosky, J., Bassuk, N., Irwin, L., & Es, H. v. (1998). Pilot Field Study of Structural Soil Materials in Pavement Profiles. *Journal of arboriculture*, 1998(The Landscape Below Ground II), 210-221. Retrieved mei 13, 2018
- GreenGuard. (2018, maart 19). *greenguard.nl/nl/bomen-en-vaste-planten/waterbuffering-in-de-grond/lumido-1-kilo*. Retrieved maart 19, 2018, from Lumido productinformatie: https://www.greenguard.nl/library/content/documents/productinfo/lumido_2016.pdf
- Groep, D. O. (2017). *riwi-boomsubstraat*. Retrieved december 20, 2017, from <https://nl.denoudengroep.com>: <https://nl.denoudengroep.com/producten/bodemverbeteraars-groenvoorziening/groeiplaatsverbetering-bomenvoeding/riwi-boomsubstraat>
- Herwijnen, E. v. (2018, maart 12). (J. Hoppenbrouwer, Interviewer) Vught.
- J. Grabosky, E. H. (2009, september). Plant Available Moisture in Stone-soil Media for Use Under. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2009(35 (5)), 271–278. Retrieved mei 3, 2018
- Loh, F. C., Grabosky, J. C., & Bassuk, N. L. (2003, April 7). Growth response of Ficus benjaminato limited soil volume and soil dilution in a skeletal soil container study. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2003, 53-62. doi:<https://doi.org/10.1078/1618-8667-00023>
- Mattheck, C., & Breloer, H. (1994). Field Guide For Visual Tree Assessment (VTA). *Arboricultural Journal*, 1994(18), 1-23. doi:<https://doi.org/10.1080/03071375.1994.9746995>
- N. Bassuk, J. G. (2011). Ground-penetrating Radar Accurately Locates Tree Roots. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2011, 160-166. Retrieved mei 25, 2018
- Productblad-BSI-Bomengranulaat*. (2017). Retrieved maart 9, 2018, from <https://www.bsi-bomenservice.nl/>: <https://www.bsi-bomenservice.nl/wp-content/uploads/2015/03/Productblad-BSI-Bomengranulaat-0905.pdf>
- Prooijen, G.-J. v. (2008). Scheutlengteonderzoek. In G.-J. v. Prooijen, *Stadsbomenvademecum 3a Boomcontrole en onderzoek* (1e druk ed., pp. 49-52). Arnhem, Gelderland, Nederland: IPC Groene Ruimte.

- Prooijen, G.-J. v. (2011). Bomengranulaat. In G.-J. v. Prooijen, *Stadsbomenvademecum 2B groei en aanplant* (pp. 135-136). Arnhem: IPC Groene Ruimte. Retrieved februari 19, 2018
- Prooijen, G.-J. v. (2016). Functie van voedingselementen. In G.-J. v. Prooijen, *Stadsbomenvademecum 2A groeiplaatsaspecten* (pp. 98-105). Arnhem, Gelderland, Nederland: IPC Groene Ruimte.
- Prooijen, G.-J. v. (2016). Relatie boom en groeiplaats. In G.-J. v. Prooijen, *Stadsbomenvademecum 2A Groeiplaatsaspecten* (pp. 10-13). Arnhem: IPC Groene Ruimte.
- Prooijen, G.-J. v. (2016). Zuurgraad van de bodem. In G.-J. v. Prooijen, & I. G. Ruimte (Ed.), *Groeiplaatsaspecten* (pp. 111-116). Arnhem, Gelderland, Nederland: IPC Groene Ruimte. Retrieved mei 13, 2018
- R.J. Hendriks & W. Batenburg, adviesbureau Terra Nostra. (2018). *Groeiplaatsonderzoek aan de Van Marnixlaan en omgeving in Amersfoort*. Bleskensgraaf: Boomtechnisch adviesbureau Terra Nostra. Retrieved mei 25, 2018
- Raats, K. (2011a). Beresterk, maar aanleggen met fluwelen handschoenen. *Boomzorg, 2011* (Special boomgranulaten), 58-59. Opgeroepen op april 11, 2018
- Raats, K. (2011b). Mr Granulate speaks (over bomen in steen). *Boomzorg, 2011*, 63-66. Retrieved april 12, 2018
- Roloff, A. (2001). *Baumkronen, Verstandis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomenes*. Rombach gmbH Druck- und verlagshaus, Stuttgart, Duitsland.
- Smiley, E. T., Calfee, L., Fraedrich, B. R., & Smiley, a. E. (2006, juli). Comparison of Structural and Noncompacted Soils for Trees Surrounded by Pavement. *Arboriculture & Urban Forestry, 2006*, 164-169. Retrieved februari 12, 2018, from https://www.researchgate.net/profile/E_Smiley/publication/237544646_Comparison_of_Structural_and_Noncompacted_Soils_for_Trees_Surrounded_by_Pavement/links/5693fc1d08ae425c68961cfd.pdf
- Smiley, T. (2008, mei). Comparison of Methods to Reduce Sidewalk Damage from Tree Roots. *Arboriculture & Urban Forestry, 2008*, 179-183. Retrieved april 11, 2018
- Sneep, H. (2018, april 12). (J. Hoppenbrouwer, Interviewer)
- Spoel, M. v. (2011). Men neme kei en klei... *Boomzorg, 2011*, 48 - 51. Retrieved Maart 25, 2018, from <http://edepot.wur.nl/173237>
- Structural soil -part 2*. (2014, februari 19). (American society of landscape architects) Retrieved februari 21, 2018, from The Field, Asla Professional Practice Networks' Blog: <https://thefield.asla.org/2014/02/19/structural-soil-part-2/>
- SurveyMonkey. (2018, April). (S. Inc., Producer, & SurveyMonkey Inc. San Mateo, Californië, VS) Retrieved from surveymonkey.com/: <https://nl.surveymonkey.com/>
- Terracottem. (2018, maart 19). *TerraCottem bodemverbeteringstechnologie*. Retrieved maart 19, 2018, from Terracottem.com: <http://www.terracottem.com/nl/terracottem-bodemverbeteringstechnologie>