



Staro

NATUUR EN
BUITENGEBIED

Invloed van bodemverdichting op de boomgroei van douglas (*Pseudotsuga menziesii*)

Afstudeerrapport

Peter Kappert

www.starobv.nl

Invloed van bodemverdichting op de boomgroei van douglas (*Pseudotsuga menziesii*)

Maart 2020

afbeelding voorblad: (Agriexpo, 2019)

In opdracht van:

Staro Natuur en Buitengebied
Lodderdijk 38a 5421 XB Gemert
(0492)450161

Opdrachtgever namens Staro Natuur en buitengebied:

Erik van der Staak
Erik@starobv.nl
+31622602046

Begeleider Hogeschool Van Hall Larenstein:

Harrie Schreppers
Harrie.Schreppers@hvhl.nl
+31610932492

Voorwoord

Voor u ligt het rapport over de invloed van bodemverdichting op de boomgroei van douglas (Pseudotsuga menziesii). Het rapport is geschreven als afstudeerscriptie voor de studie Bos- en Natuurbeheer aan Hogeschool Van Hall Larenstein te Velp. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Staro Natuur en Buitengebied met als doel een bijdrage te leveren aan de kennisuitbreiding van de invloed die bodemverdichting heeft op het functioneren van het boscosysteem.

Dit is een vervolg op vooronderzoek van Staro Natuur en buitengebied en stichting Probos. Erik van der Staak en Daniel Joppe zijn sterk betrokken geweest bij de vormgeving van de hoofdvraag en methode van dit onderzoek. Ik hoop dat de bevindingen hen aan het denken zet voor nieuwe innovaties en nieuw onderzoek. Want dit onderwerp is nog lang niet tot de 'bodem' uitgezocht.

Bij deze wil ik ook de kans aangrijpen om een aantal mensen te bedanken. Als eerste wil ik Erik van der Staak en Daniel Joppe bedanken voor de begeleiding die ze mij geboden hebben. Ik heb niet altijd volledig gebruik gemaakt van hun capaciteiten en zie achteraf in dat ik hierdoor waarschijnlijk tot een beter resultaat had kunnen komen. Als ik zelf vanaf de start van het afstudeertraject beter gecommuniceerd had was het misschien wel gelukt dit onderzoek in één keer afgerond.

Verder wil ik Harrie Schreppers bedanken voor de begeleiding vanuit HVHL. Ook wil ik Marije Siemens-de Kruijf en Ivar Vleut bedanken voor de adviezen rondom dataverwerking en statistische analyses. Daarnaast wil ik Duco Bosma bedanken voor het assisteren bij het maken van afbeeldingen. Als laatste wil ik Eline Huizinga en Dina Stavast bedanken voor het op niveau krijgen van de spelling en grammatica van dit rapport, zonder deze mensen was het niet gelukt tot een succesvolle definitieve versie te komen.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Peter Kappert

Velp (gld), 26 maart 2020

Samenvatting

Bodemverdichting in productiebosgebieden wordt veroorzaakt door het rijden met harvesters en forwarders. Er is al veel onderzoek gedaan naar de effecten hiervan op flora en fauna. De effecten van bodemverdichting op de groei van volwassen bomen is nog onbekend. Staro Natuur en Buitengebied heeft als doel erachter te komen hoeveel invloed bodemverdichting heeft op boomgroei. Om dit doel te bereiken zijn de volgende hoofd- en deelvragen opgesteld.

Hoofdvraag

Hoeveel effect heeft bodemverdichting op de groei van douglassen (*Pseudotsuga menziesii*) op de Noord-Brabantse zandgronden?

Deelvragen

1. Wat is er al bekend over de gevolgen van bodemverdichting?
2. Hoeveel zijn de douglassen op de Noord-Brabantse zandgronden gegroeid?
3. Wat is de hoeveelheid penetratieweerstand op de meetlocaties?
4. Hoeveel invloed hebben de dunningspaden op de bodemverdichting?
5. Wat is het verband tussen de verschillende parameters?

Om deze deelvragen te beantwoorden is een methode opgesteld. De eerste deelvraag is beantwoord door literatuuronderzoek te doen. Dit onderzoek is gestart bij de bronnen van het rapport Kremers & Boosten uit 2018, omdat dit onderzoek voortvloeit uit de aanbevelingen van Kremers & Boosten. Deelvragen 2 tot en met 5 zijn beantwoord door het doen van praktijkonderzoek waarbij drie parameters zijn gemeten: Gemiddelde boomgroei per jaar, penetratieweerstand van de bodem en afstand tot dunningspad.

Gemiddelde boomgroei is bepaald door in 2019 de diameter op borsthoogte (dbh) van de bomen te meten en te vergelijken met de bekende dbh's van dezelfde bomen uit het verleden. Hieruit is de gemiddelde toename in dbh per jaar te berekenen. Penetratieweerstand is gemeten door een penetrologger machinaal de grond in te duwen. Deze machine meet de weerstand in Megapascal tot 80 centimeter onder maaiveld. Afstand van de boom tot het dunningspad is opgemeten met een meetlint en genoteerd per boom in cm. De laatste deelvraag is de vergelijking van de drie parameters. Dit levert drie relaties op: 'boomgroei' en 'afstand tot dunningspad', 'afstand tot dunningspad' en 'penetratieweerstand' en als laatste 'penetratieweerstand' en 'boomgroei'. Per relatie zijn twee verschillende statistische analyses gedaan: lineaire regressie analyse en T-tests.

Onderzoeksresultaten

Literatuuronderzoek

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat bij bodemverdichting de macroporiën afnemen en de meso- en microporiën toenemen. Dit heeft een verhoogde penetratieweerstand en toegenomen bulk density tot gevolg. Door de verandering in poriënsamenstelling blijft er meer water in de bodem hangen en neemt de gasuitwisseling met de atmosfeer drastisch af. Door activiteit van bacteriën neemt de zuurstof af en de koolstofdioxide toe. De vermindering in zuurstof heeft als gevolg dat onder harvesterpaden minder haarwortels voorkomen. Daarnaast heeft bodemverdichting tot gevolg dat bodemfauna drastisch afneemt. Over schimmel- en bacteriepopulaties is nog weinig bekend. Er is nog geen zicht op het herstellen van diepe bodemverdichting in bossen.

Praktijkonderzoek

Het praktijkonderzoek is uitgevoerd in het Postelsebos in gemeente Bergeijk. In deze omgeving zijn bosvakken 338, 347 en 336 opgemeten. In totaal zijn van 175 bomen de groei en afstand tot het

dunningspad bepaald met om ieder boom 8 penetraties, in totaal zijn slechts van 1312 machinale penetraties de bodemgegevens gebruikt.

Relatie A, Boomgroei en afstand tot dunningspad

Lineaire regressie analyse en T-tests laten beide zien dat er geen verband aangetoond kan worden tussen de parameter 'boomgroei' en 'afstand tot dunningspad'.

Relatie B, Afstand tot het dunningspad en penetratieweerstand

Een duidelijke significante relatie is te zien tussen de hoeveelheid penetratieweerstand en de afstand tot het dunningspad op de meetlocaties. Met name op de dieptes van 0 tot 50 centimeter onder maaiveld. Dieper dan deze diepte is er wel een verschil te zien maar dit verschil is niet significant en kan daarom ook op toeval berusten.

Relatie C, Penetratieweerstand en boomgroei

Zowel met lineaire regressie analyse als bij T-tests kan op geen enkele diepte een significante relaties gevonden worden tussen de twee parameters. Er lijkt volgens dit onderzoek geen verband te bestaan tussen boomgroei en penetratieweerstand op de gemeten locaties.

Conclusie

Het antwoord op de hoofdvraag is: Er is geen aantoonbaar effect van bodemverdichting op de groei van douglassen op de Noord-Brabantse zandgronden.

Er is geen significante relatie gevonden tussen de parameters 'boomgroei' en 'afstand tot het dunningspad'. Ook is er geen relatie gevonden tussen 'boomgroei' en 'penetratieweerstand'.

Wat wel statistisch aangetoond kan worden is de relatie tussen 'afstand tot dunningspad' en 'penetratieweerstand'. Dit betekent dat 'penetratieweerstand' in dit onderzoek een aantoonbare parameter is voor bodemverdichting onder dunningspaden.

Discussie en aanbevelingen

De bekende dbh van de bomen is 5 jaar geleden afgerond op centimeters. Dit zorgt voor een meetonzekerheid in de groeicijfers. Bij herhalingsonderzoek moeten dbh gegevens altijd afgerond worden op millimeters. Wanneer het onderzoek herhaalt wordt met een andere methode wordt de aanbeveling gedaan met aanwasboor te werken. Bij vervolgonderzoek moet opnieuw de soort douglas (Pseudotsuga menziesii) gemeten worden zodat de resultaten vergelijkbaar zijn met dit onderzoek. In dit onderzoek is de penetrolgger machinaal geopereerd. Dit heeft preciezere data opgeleverd dan met de hand, maar de machine moet nog doorontwikkeld worden, hoofdzakelijk op

Inhoud

Veelgebruikte begrippen en afkortingen	7
1. Inleiding	8
1.1. Doelstelling	8
1.2. Onderzoeksvragen	8
1.3. Afbakening	10
1.4. Leeswijzer	10
2. Onderzoeksmethoden	11
2.1. Literatuuronderzoek (deelvraag 1)	11
2.2. Praktijkonderzoek	11
2.2.1. Bepalen van de Boomgroei (deelvraag 2)	11
2.2.2. Bepalen van de afstand tot het harvesterpad (deelvraag 3)	12
2.2.3. Bepalen van de bodemverdichting a.d.h.v. penetratieweerstand (deelvraag 4)	13
2.2.4. Verbanden tussen de parameters (deelvraag 5)	15
3. Literatuurstudie	16
3.1. Geschiedenis en oorzaken van bodemverdichting	16
3.2. Abiotische gevolgen van verdichting	16
3.3. Biotische gevolgen van bodemverdichting	19
3.4. Herstel van bodemverdichting	21
3.5. Conclusies literatuurstudie	22
4. Praktijkonderzoek	23
4.1. Parameter 1: Groei van de bomen (uitgedrukt in mm Δdbh /jaar)	24
4.2. Parameter 2: Afstand tot dunningspad (gemeten in cm van hart tot boom)	25
4.3. Parameter 3: Bodemverdichting (gemeten a.d.h.v. Penetratieweerstand)	26
4.4. Vergelijking tussen de parameters	27
4.4.1. Relatie A: vergelijking van boomgroei en afstand tot het dunningspad	27
4.4.2. Relatie B: vergelijking van penetratieweerstand en afstand tot het dunningspad	29
4.4.3. Relatie C: vergelijking van groei en penetratieweerstand	31
5. Conclusie	33
6. Discussie en aanbevelingen voor vervolgonderzoek	35
7. Literatuurlijst	37
Bijlagen	40
Bijlage 1: Data-analyse relatie A: boomgroei en afstand tot pad	40
Bijlage 2: Data-analyse relatie B: afstand tot pad en penetratieweerstand	42
Bijlage 3: Data-analyse relatie C: boomgroei en penetratieweerstand	55

Veelgebruikte begrippen en afkortingen

Term	Verklaring
T-test	Statistische analyse waarbij het verschil tussen twee groepen vergeleken wordt.
Lineaire regressie analyse	Statistische analyse waarbij gekeken wordt tot in welke mate een puntenwolk een lijnfunctie volgt.
P-waarde	Mate van significantie, bij een P-waarde lager dan 0,05 wordt van een significante relatie gesproken.

Afkorting	Verklaring
cm-mv	Centimeter onder maaiveld, mate van diepte in de bodem
dbh	Diameter borsthoogte, boommaat waarbij de diameter van een boom op een hoogte van circa 130 cm gemeten is.
Δdbh/jaar	Toename in diameter borsthoogte per jaar, uitgedrukt in millimeters tenzij anders vermeld.
MPa	Megapascal, eenheid voor druk. In dit onderzoek gebruikt voor penetratieweerstand. 1 Megapascal staat gelijk aan 10 bar. 1 Pascal is 1 Newton per vierkante meter.

1. Inleiding

Sinds het begin van de mechanisering van het bosbeheer hebben grote machines hun intrede gedaan in het Nederlandse bos. In de loop van de jaren zijn deze machines efficiënter en groter geworden. Aanvankelijk mochten *harvesters* en *forwarders* 'vrij' door het bos rijden, maar vandaag de dag wordt steeds meer gebruik gemaakt van vaste dunningspaden. Deze keuze wordt steeds vaker gemaakt om de bodemdruk op een geconcentreerd oppervlakte te houden. In de literatuur wordt namelijk gesteld dat bodemverdichting, dat door deze machines wordt veroorzaakt, vele gevolgen heeft. Er is echter nog geen onderzoek gedaan dat het verband aantoont tussen de groei van bomen en de aanwezigheid van bodemverdichting. Dit is dan ook het onderwerp van dit rapport.

Maatschappelijke relevantie

Bosbeheerders zijn afhankelijk van een gezond bosesysteem. Daarnaast zijn zij belast met het verzorgen van het bosesysteem. Hierom hebben zij baat bij bossen waaruit duurzaam geoogst kan worden. Daarbij is het beschermen en de ontwikkeling van de bosbodem een belangrijk uitgangspunt. Als bodemverdichting leidt tot vermindering van groei van bomen, dan betekent dit dat bodemverdichting ook slecht is voor het bosesysteem. Als dit het geval is zullen maatregelen getroffen moeten worden om de oorzaak van bodemverdichting te verminderen.

Wetenschappelijke relevantie

Om meer inzicht te krijgen in de gevolgen van bodemverdichting is Staro Natuur en Buitengebied (hierna Staro) in 2018 een onderzoekscollectief begonnen samen met Bosgroep Midden- en Zuid Nederland, FSC Nederland, Flevo-landschap, Gemeenten Bergeijk en Cranendonck, Klingen bomen, Kroondomein Het Loo, Stichting Probos, het Rijksvastgoedbedrijf en Staatbosbeheer. Het doel van dit collectief is de gevolgen van bodemverdichting in Nederland uitgebreider te onderzoeken. De onderzoekssamenwerking specialiseert zich op bosgebieden. De eerste stap is gezet door Stichting Probos, zij hebben in 2018 in opdracht van Staro een literatuurstudie gedaan naar de gevolgen van bodemverdichting (Kremers & Boosten, 2018). Uit dit onderzoek blijkt dat er al veel bekend is over bodemverdichting, maar dat naar de gevolgen voor het bosesysteem en dan vooral de groei van bomen maar weinig onderzoek is gedaan. Kremers & Boosten bevelen dan ook aan om dit verder te onderzoeken. Dit is de aanleiding voor dit onderzoek.

1.1. Doelstelling

In de literatuur wordt gesteld dat bodemverdichting vele gevolgen heeft. Zo nemen bijvoorbeeld het percentage lucht en het waterbergend vermogen af (Kozłowski, 1999), en ook de hoeveelheid bodemfauna (Marshall, 2000). Daarnaast is er onderzoek gedaan naar de hoeveelheid haarwortels onder en rondom harvesterpaden. Hieruit komt naar voren dat de hoeveelheid haarwortels kleiner is onder het bandenspoor (Schäffer, 2002). Ook valt te zeggen dat door meer verdichting de wortelgroei moeilijker wordt (Schjønning, Lamandé, Munkholm, Lyngvig, & Nielsen, 2016).

Er is echter nog geen onderzoek gedaan dat het verband aantoont tussen de groei van bomen en de mate van bodemverdichting. Het doel van dit rapport luidt dus als volgt:

Staro Natuur en Buitengebied wil erachter komen hoeveel invloed bodemverdichting heeft op boomgroei.

1.2. Onderzoeksvragen

De volgende hoofd- en deelvragen zijn opgesteld om het doel van dit onderzoek te behalen.

Hoofdvraag

Hoeveel effect heeft bodemverdichting op de groei van douglassen (*Pseudotsuga menziesii*) op de Noord-Brabantse zandgronden?

Deelvragen

1. Wat is er al bekend over de gevolgen van bodemverdichting?
2. Hoeveel zijn de douglassen op de Noord-Brabantse zandgronden gegroeid?
3. Hoeveel invloed hebben de dunningspaden op de bodemverdichting?
4. Wat is de hoeveelheid penetratieweerstand op de meetlocaties?
5. Wat is het verband tussen de verschillende parameters?

De deelvragen worden hieronder verder uitgelicht. De methode voor het beantwoorden van de deelvragen is te vinden in hoofdstuk 2.

1. Wat is er al bekend over de gevolgen van bodemverdichting?

“Met bodemverdichting kan zowel het proces waarbij een deel van een bodemprofiel wordt verdicht, als het eindresultaat van het verdichtingsproces bedoeld worden” (de Vries & van Soesbergen, 1980). Dit proces komt voor op het moment dat de draagkracht van de bodem overschreden wordt. In het geval van bosbodems is dit een gevolg van harvesters en forwarders die in het bos rijden.

Bij deze eerste deelvraag staat literatuuronderzoek centraal. Hierbij zijn in de literatuur bekende gevolgen van bodemverdichting in kaart gebracht en de relatie tussen verdichting en wortelgroei onderzocht. Ook wordt er ingegaan op de mogelijkheid tot herstel van bodemverdichting.

2. Hoeveel zijn de douglassen op de Noord-Brabantse zandgronden gegroeid?

Om de boomgroei van de douglassen te kwantificeren, is de toename van de diameter-borsthoogte (dbh) per jaar bepaald. Dit resulteert in de parameter: ‘groei van bomen’.

3. Hoeveel invloed hebben de dunningspaden op de bodemverdichting?

Het is aangenomen dat de dunningspaden die in Nederlandse bossen liggen de belangrijkste oorzaak van bodemverdichting in bossen zijn. Door de afstand tot het dunningspad bij het onderzoek te betrekken, is het mogelijk aan te tonen dat de dunningspaden verband houden met bodemverdichting.

4. Wat is de hoeveelheid penetratieweerstand op de meetlocaties?

Deze deelvraag betreft het onderzoeken van de verdichting. Deze bodemeigenschap wordt benaderd door het meten van de penetratieweerstand. Penetratieweerstand is een bodemeigenschap die gemeten wordt met een penetrologger. Het meten van penetratieweerstand is in tegenstelling tot het doen van andere bodemanalyses goedkoop en snel, daarom is penetratieweerstand als indicatie gekozen voor bodemverdichting.

5. Wat is het verband tussen de verschillende parameters?

Door van iedere boom/mmeetlocatie drie parameters op te nemen zijn drie relaties te onderzoeken.

1. Het verband tussen de boomgroei en de penetratieweerstand.
2. Het verband tussen de boomgroei en de afstand tot het dunningspad.
3. Het verband tussen de afstand tot het dunningspad en de penetratieweerstand.

De relaties worden door het doen van twee verschillende statistische analyses met elkaar vergeleken.

1.3. Afbakening

Het afbakenen van dit onderzoek is gedaan om zo duidelijk mogelijk te maken wat er precies onderzocht gaat worden. Er is gekozen om zoveel mogelijk variabelen uit te sluiten. Hierdoor wordt de kans om een significante correlatie aan te tonen tussen de overgebleven parameters groter.

Zo is er voor gekozen om alleen bomen te onderzoeken die groeien op de Noord-Brabantse zandgronden. De Gemeenten Gemert-Bakel, Bergeijk en Cranendonck hebben gemeentebossen die door Staro beheerd worden. Staro kan de informatie bieden over het bosbeheer van deze gemeenten. In de gemeente Bergeijk zijn genoeg bomen om een selectie te kunnen maken daarom is in deze gemeente de meetlocaties gekozen.

Daarnaast zijn bij het onderzoek alleen bomen gemeten van de soort douglas (*Pseudotsuga menziesii*). Er is de keuze gemaakt om alle metingen bij één boomsoort te doen om verschillen in groei zoveel mogelijk uit te sluiten en om een zo groot mogelijke dataset over te houden.

1.4. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de gekozen methode toegelicht. De resultaten van de deelvragen zijn te vinden in hoofdstuk 3 en 4. Hoofdstuk 3 bevat de literatuurstudie en hoofdstuk 4 de uitwerking van het praktijkonderzoek. In hoofdstuk 5 is de conclusie te vinden met het antwoord op de hoofdvraag en een kort overzicht van de antwoorden op de deelvragen. Tot slot zijn de discussie en aanbevelingen te lezen in hoofdstuk 6. Als laatste wordt dit rapport afgesloten met de bronnenlijst. In de bijlagen zijn de data en analyses te vinden die gebruikt zijn bij de beantwoording van de deelvragen.

2. Onderzoeksmethoden

In dit hoofdstuk wordt de onderzoeksmethode beschreven. Om de herhaalbaarheid van het onderzoek te vergroten wordt de methode zo exact mogelijk beschreven. Het onderzoek is opgebouwd uit twee onderdelen; het literatuuronderzoek en het praktijkonderzoek.

2.1. Literatuuronderzoek (deelvraag 1)

Het literatuuronderzoek wordt gestart met de bronnen die gebruikt zijn in het rapport van stichting Probos; gemaakt in opdracht van Staro (Kremers & Boosten, 2018). Hierbij wordt in de bronnen gezocht naar praktijkonderzoeken over bodemverdichting. Vervolgens worden door middel van het de literatuur uit het rapport van Probos naar nieuwe bronnen gezocht. Bij het zoeken in de literatuur worden zoveel mogelijk effecten van mechanisatie op de bodem geïnventariseerd. Ook de gevolgen van verdichte bodems op plantengroei worden geïnventariseerd. Er wordt een zo compleet mogelijk overzicht gemaakt van alle veranderingen in bodemomstandigheden die bij verdichting invloed hebben op wortels en plantengroei.

2.2. Praktijkonderzoek

Het praktijkgedeelte van het onderzoek zal op de volgende manier uitgevoerd worden. Allereerst worden bomen geselecteerd die geschikt zijn om te onderzoeken. Deze bomen en hun omgeving moeten voldoen aan de vooraf opgestelde eisen. Van iedere boom en zijn groeimilieu worden de volgende drie parameters gemeten;

- I. Gemiddelde boomgroei (deelvraag 2)
Uitgedrukt in gemiddelde toename dbh per jaar
- II. Afstand van de boom tot het dunningspad (deelvraag 3)
Uitgedrukt in cm van boom tot hart van het harvesterpad
- III. Penetratieweerstand (deelvraag 4)
Uitgedrukt in MPa gemeten per cm onder maaiveld.

Deze parameters kunnen onderling vergeleken worden. Wanneer dit gedaan is, kan bij alle drie de vergelijkingen gekeken worden of een correlatie bestaat tussen de drie parameters. Dit wordt gedaan door lineaire regressie analyses en T-tests uit te voeren.

2.2.1. Bepalen van de Boomgroei (deelvraag 2)

Het praktijkonderzoek zal van start gaan met het kiezen van specifieke bomen waaraan en waar rondom gemeten kan worden. Deze bomen moeten aan de volgende voorwaarden voldoen.

1. Alle bomen die onderzocht gaan worden moeten van dezelfde soort zijn.

Er worden alleen bomen gemeten van de soort douglas (*Pseudotsuga menziesii*), de keuze is op deze soort gevallen omdat hierdoor de meeste individuen overblijven.

2. De omstandigheden van de groeiplaatsen moeten zo gelijk mogelijk zijn om onderlinge verschillen in de groei zo goed mogelijk te vergelijken.

Aan deze voorwaarde kan nooit met honderd procent zekerheid worden voldaan, omdat groeiomstandigheden in de praktijk altijd van elkaar verschillen. Daarnaast is het meten van variatie in groeiplaatsomstandigheden in de bodem te duur en kost dit teveel tijd. (Bloem, J. persoonlijke communicatie 4 Sept 2019). Wel worden de omstandigheden zo gelijk mogelijk gehouden door bomen te kiezen die op dezelfde bodem groeien en dezelfde grondwatertrap hebben. De douglassen van het Postelsebos in gemeente Bergeijk staan allemaal op een haarpodzolbodem en hebben grondwatertrap VII.

3. De bomen moeten een zo gelijk mogelijke beheer hebben gehad.

Voorwaarde drie wordt opgevolgd door het kiezen van de kwaliteitsbomen. Deze bomen zijn in het verleden vrijgesteld van concurrenten en hebben daarna een ongehinderde groei gehad.

Kwaliteitsbomen zijn bomen die door Staro sterk vrijgesteld en opgesnoeid zijn. Deze methode is sterk geïnspireerd op de QD-methode uit Naturnahe Waldwirtschaft (Wilhelm & Rieger, 2013).

Van alle kwaliteitsbomen zijn ten tijde van het opsnoeien de eigenschappen; soort, datum van snoei en de dbh genoteerd. Door het kiezen van kwaliteitsbomen wordt ook een nog niet omschreven probleem uit de weg gegaan. Dit probleem komt voor bij bomen die aan een harvesterpad staan. Deze bomen staan in de regel meer vrij doordat ze voor de helft grenzen aan het boomloze pad. Door kwaliteitsbomen te kiezen wordt het eventuele voordeel van extra licht aan het harvesterpad teniet gedaan. Dit komt omdat alle kwaliteitsbomen voor 100% vrij staan, of ze aan het pad staan of niet.

4. De bomen moeten van zo gelijk mogelijke leeftijd zijn.

Voorwaarde nummer vier is te achterhalen doordat Staro de aanplantgegevens van gemeente Bergeijk in bezit heeft.

5. Er moet bepaald kunnen worden hoeveel de gemiddelde groei van de afgelopen jaren is geweest.

Deze parameter kan gemeten worden door met een aanwasboor de groei te bepalen. Omdat in dit onderzoek kwaliteitsbomen gemeten gaan worden, kan er omwille van de houtkwaliteit niet in deze bomen geboord worden. Het is wel mogelijk om door middel van een pi-band de dbh exact te meten. Door een momentopname in 2019 te meten is alsnog de gemiddelde groei van de afgelopen x aantal jaren te bepalen. Dit komt omdat de dbh van de kwaliteitsbomen ten tijde van het opsnoeien en/of de selectie is gemeten met een pi-band. Hierdoor kan gemiddelde bijgroei per groeiseizoen bepaald worden vanaf de datum dat de dbh is opgeschreven tot nu.

Wanneer van een boom de dbh niet genoteerd is bij de selectie of tijdens het opsnoeien, is het onmogelijk om te bepalen hoeveel groei er in de afgelopen jaren is geweest. Wanneer dit voorkomt is de boom ongeschikt voor het onderzoek.

6. Een boom is niet geschikt als meetboom wanneer de selectie of opsnoei-datum later is dan de laatste dunning.

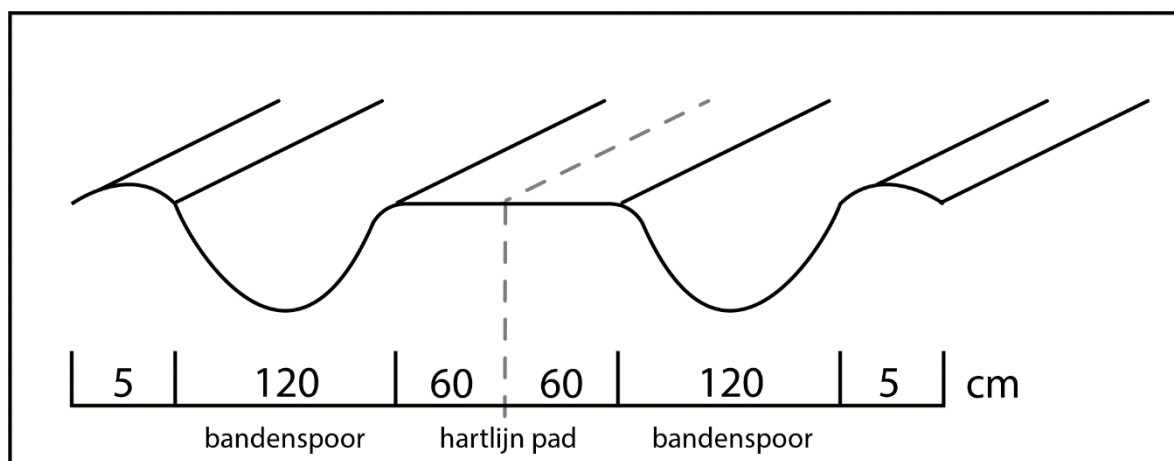
Dit is nodig, omdat de boom op het moment van noteren van de dbh vrijgesteld moet zijn. Daardoor is de datum waarop de boom is geselecteerd of opgesnoeid geldig om te gebruiken om groei te berekenen. Wanneer het andersom is; wanneer de dunningsdatum later is dan de selectie of opsnoei-datum, dan heeft de boom niet vrij gestaan gedurende de volledige tijd waarover de groei berekend gaat worden en is de groei meer beïnvloed door de dunning dan door de aanwezigheid van verdichting. Het wordt niet verwacht dat dit veel gaat voorkomen, omdat het opsnoeien bijna zonder uitzondering gebeurt na de eerste dunning (Joppe, D. persoonlijke communicatie 23 Sept 2019).

Doordat alle bomen die gemeten gaan worden kwaliteitsbomen zijn, zijn deze al genummerd en digitaal opgeslagen. Hierdoor hebben deze bomen een uniek ID en zijn ze terug te vinden in het bos door twee horizontale strepen, een nummer per bosvak en een opgeslagen GPS locatie.

2.2.2. Bepalen van de afstand tot het harvesterpad (deelvraag 3)

Van elke meetboom wordt de afstand tot het dunningspad gemeten. Hierbij wordt gemeten met een meetlint in meters en centimeters. De afstand die gemeten wordt, is de afstand vanaf de hartlijn van het pad (zie figuur 1) tot het midden van de boom.

Deze parameter wordt genoteerd per boom.



Figuur 1 modeltekening harvesterpad (getallen zijn in cm)

2.2.3. Bepalen van de bodemverdichting a.d.h.v. penetratieweerstand (deelvraag 4)

Wanneer de gemiddelde groei per boom per jaar is vastgesteld, wordt overgegaan naar het tweede deel van het praktijkonderzoek; het vaststellen van de penetratieweerstand. De mate van bodemverdichting wordt vastgesteld door het meten van acht punten rondom de kwaliteitsboom. De metingen worden gedaan met een penetrologger.

De penetrologger is een meetapparaat ontwikkeld door Eijkelkamp om de penetratieweerstand van de bodem te meten. De penetrologger meet de benodigde hoeveelheid kracht om de punt van het apparaat (de conus) de grond in te duwen, daarnaast meet de penetrologger de diepte waarop de conus zich bevindt en meet het apparaat het vochtgehalte van de bodem. Wanneer het apparaat uitgelezen wordt, geeft het per centimeter onder maaiveld (cm-mv) de weerstand in megapascal (MPa) weer. De conus die gebruikt gaat worden aan de sondeerstang van de penetrologger is conus #1, deze heeft een hoek van 60° en een geijkte oppervlakte van 1cm². Let wel, door de specificaties van dit instrument zijn de drukgegevens uit dit onderzoek niet te vergelijken met penetratieweerstandsgegevens die verzameld zijn met andere conussen. Bij andere specificaties moet een omrekeningsfactor gebruikt worden.

Rondom iedere boom worden acht grondpenetraties gedaan. Bij het meten wordt aan de rand van het wortelsysteem gemeten. Hierdoor wordt de hoeveelheid weerstand gemeten die een boomwortel ook moet leveren om te groeien. Als de penetrologger op een dikke boomwortel stuit, dan kan deze niet verder. Daarom moet er een optimum gekozen worden tussen, 'aan de rand van het wortelsysteem' en een zo klein mogelijke kans op het raken van een dikke wortel. Dit optimum is gesteld op één meter van de meetboom. Dit wordt gedaan omdat het wortelsysteem van de douglas is even groot als de kroon (Harry & Smith, 1964).

Rondom iedere boom worden zoals al eerder gezegd, acht grondpenetraties gedaan. De oriëntatie van de meetpunten is als volgt; Het eerste punt wordt één meter vanaf de boom recht naar het dichtstbijzijnde pad gemeten, het tweede punt op één achtste cirkel, het derde op een kwart, etc. Deze methode wordt zo gedaan zodat van iedere penetratie de exacte locatie ten opzichte van het harvesterpad te bepalen is.

Nadat voor iedere geselecteerde boom de penetratieweerstand rondom de boom gemeten is, wordt hiervan een gemiddelde penetratieweerstand bepaald per boom. Ook wordt een gemiddelde penetratieweerstand per 10 cm-mv berekend. Deze waarden worden vergeleken met de andere parameters.

Bij het vergelijken van penetratiewaarden wordt op de waarden die tussen de 2,5 t/m 3,0 MPa liggen speciale aandacht gevestigd. Deze waarden worden genoemd in de handleiding bodemgeografisch onderzoek als kritische grens voor beworteling (ten Cate, Van Holst, Kleijer, & Stolp, 1995).

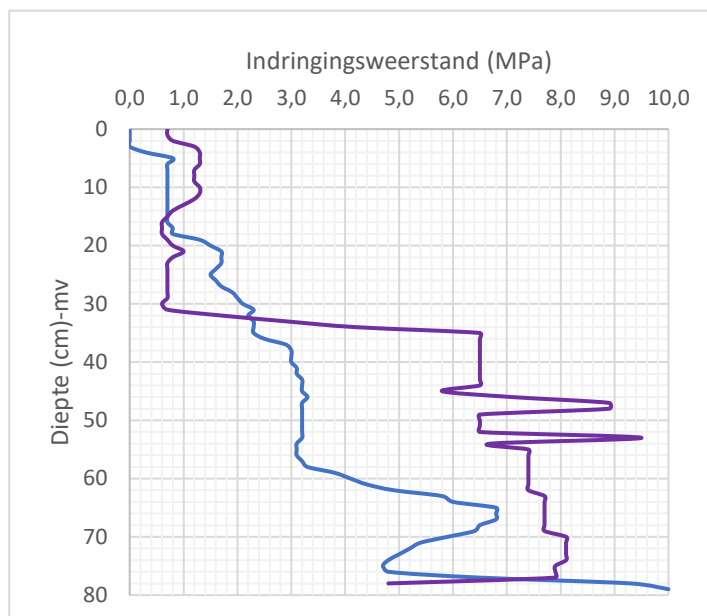
In dit onderzoek zijn de metingen met de penetrologger machinaal gedaan in tegenstelling gebruikelijke handmatige metingen. Dit levert consequentere metingen op dan met de hand. De machine is ontwikkeld door Staro.

De machine werkt door een 'slee' waar de penetrologger op gemonteerd zit recht naar beneden te trekken aan een touw dat opgerold wordt door een lier.

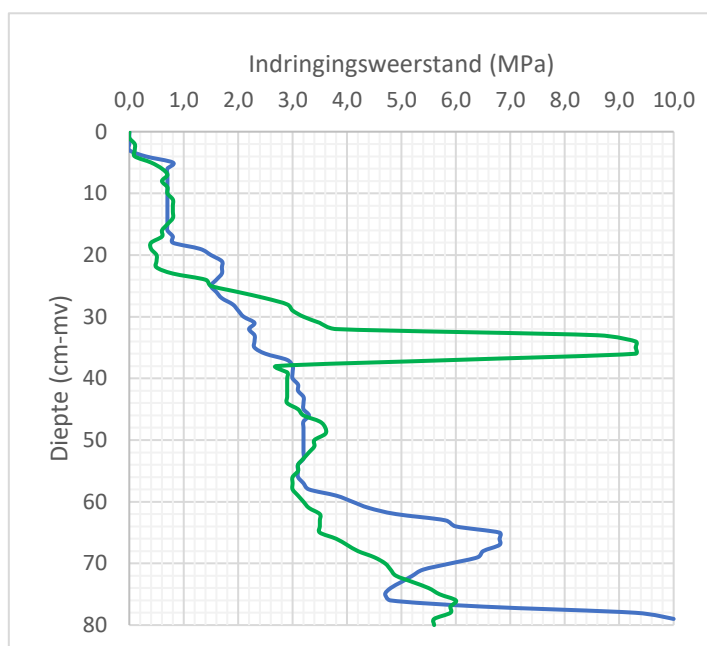
In de twee lijnen in grafiek 1 staan allebei sonderingen conform de onderzoeksmethode. Er is duidelijk te zien dat de paars gekleurde lijn schokkerige resultaten heeft, dit komt omdat de paarse lijn een handmatige sondering is en de blauwe lijn een machinale.

Ook is hier duidelijk te zien dat de problemen van handmatige sonderingen pas boven de 5 á 6 MPa voorkomen, en dat een machinale sondering geen enkele problemen heeft met het regelmatig genereren en registreren van deze hogere weerstanden.

In grafiek 2 zijn opnieuw twee sonderingen getekend. De blauwe lijn is dezelfde machinale sondering als in grafiek 1 en de groene grafieklijn is een sondering die erg vergelijkbaar is met de blauwe op de oneffenheid tussen de 32 en 38 cm-mv na. Deze plotselinge weerstand van meer dan 9,2 MPa komt door iets onbekends in de bodem (een wortel of kiezel zijn vaak voorkomend). De groene waarneming uit grafiek 2 was onmogelijk geweest handmatig te doen omdat de onderzoeker handmatig bij zulke hoge druk eenzelfde schokkerige resultaat als weergegeven in grafiek 1 zou hebben. En daarna zou de oneffenheid het resultaat vertroebeld hebben bij een handmatige meting, hoofdzakelijk omdat wanneer bij een handmatige meting krachten van boven de 8 MPa gepenetreerd worden en deze plots ophouden er dan 'doorgeschoten' wordt en hierdoor in dit voorbeeld de data onder de 40 cm niet zo precies was gemeten als dat nu bij de machinale meting het geval is. Mede om deze redenen is er gekozen dit onderzoek met machinale metingen te doen.



Grafiek 1 vergelijking tussen machinale en handmatige sondering



Grafiek 2 twee verschillende machinale penetraties

2.2.4. Verbanden tussen de parameters (deelvraag 5)

Met de verzamelde gegevens kunnen drie verschillende relaties onderzocht worden.

1. De relatie tussen 'boomgroei' en 'afstand tot het dunningspad'.
2. De vergelijking tussen 'afstand tot het dunningspad' en 'penetratieweerstand'.
3. De relatie tussen 'afstand tot het dunningspad' en 'boomgroei'.

Door een parameter op de x-as aan te geven en een ander op de y-as is het mogelijk alle meetlocaties te in een grafiek te tekenen. Als alle drie de soorten grafieken getekend zijn, is het mogelijk een trendlijn te bepalen per relatie. Om te kijken of binnen één relatie de twee parameters een significant verband hebben wordt een lineaire regressie analyse gedaan.

Naast de vergelijkingen van parameters met behulp van de lineaire regressie analyse, worden er ook T-tests uitgevoerd. Dit is de statistische test om verschil aan te kunnen tonen tussen twee verschillende groepen. Bij de relatie 'boomgroei' en 'afstand tot het dunningspad' is de scheidingslijn van de twee groepen bepaald op 280 cm afstand tot het dunningspad, omdat er uitgegaan wordt van een wortelkruit met een straal van 100 cm, en de afstand van hart tot einde dunningspad is 180 cm zie figuur 1. Daarom hebben bomen die dichterbij het pad staan eventueel gevolgen van het dunningspad. Bij de relatie B, 'Penetratieweerstand' en 'afstand tot dunningspad' is de scheiding van de twee groepen gemaakt op sonderingen die in- en buiten het bandenspoor liggen. Het bandenspoor ligt tussen de 60 en 180 cm vanaf het hart van het dunningspad. Bij de laatste relatievergelijking worden 'boomgroei' en 'penetratieweerstand' met elkaar vergeleken de scheidingslijn tussen de twee te vergelijken groepen ligt hier op 2,5 MPa. Deze waarde is gekozen, omdat dit de grenswaarde voor wortelgroei is. (ten Cate et al., 1995).

3. Literatuurstudie

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de eerste deelvraag: ‘Wat is er al bekend over de gevolgen van bodemverdichting?’ Het doel van de literatuurstudie is het beter begrijpen van bodemverdichting, en de oorzaken en gevolgen bloot te leggen.

3.1. Geschiedenis en oorzaken van bodemverdichting

De belangrijkste oorzaak van bodemverdichting is de overschrijding van de draagkracht van de bodem, ofwel; druk op de bodem uitoefenen. Dit kwam aan het licht toen onderzoek naar bosbodemverdichting begon in de jaren ‘50 van de vorige eeuw. De meeste onderzoeken uit deze periode komen uit Amerika. De onderzoeken begonnen met de vergelijking tussen mens, dier en machine. Wat vooral opvalt aan onderzoeken uit deze periode is dat paarden en mensen meer oppervlakkige verdichting veroorzaken en tractoren diepere verdichting (Lull, 1959).

In de onderzoeken uit de jaren ‘50 wordt nog met lichte tractoren gerekend. In een onderzoek naar bodemverdichting uit 1952 wordt bijvoorbeeld met een gemiddeld tractorgewicht van 2.358 kg (5200 Pounds) gerekend (Doneen, Henderson, & Ferry, 1952). Vanaf de jaren ‘60 zijn de landbouwmachines en ook de bosbouwmachines alleen maar zwaarder geworden (Keller, Sandin, Colombi, Horn, & Or, 2019). Moderne harvesters kunnen tot wel 24.250 kg wegen (John Deere, 2020).

Na de demonstraties van de eerste harvesters en forwarders in Nederland wordt door Dhr. Bol al zorgen uitgesproken: *“Deze machines begeven zich in het terrein. Dit kan gevolgen hebben voor de grond (bodemverdichting, erosie), voor de begroeiing (beschadiging van stammen, wortels, verjonging,) en in optische zin voor het landschapsschoon”* (Bol, 1972). Desondanks gaat de mechanisatie in de bosbouw ongeremd verder. In 1999 rijden er 32 harvesters in Nederland om het bosbeheer uit te voeren (de Baaij, 1999). In het bos is bodemverdichting niet wenselijk en wordt deze veroorzaakt door harvesters en forwarders (Ampoorter, Goris, Cornelis, & Verheyen, 2007; Cambi, Certini, Neri, & Marchi, 2015).

3.2. Abiotische gevolgen van verdichting

De abiotische gevolgen van verdichting worden onderverdeeld in drie verschillende categorieën. Fysische eigenschappen, ‘vocht en lucht’ en chemische samenstelling.

Fysische eigenschappen (poriën, bulk density en penetratieweerstand)

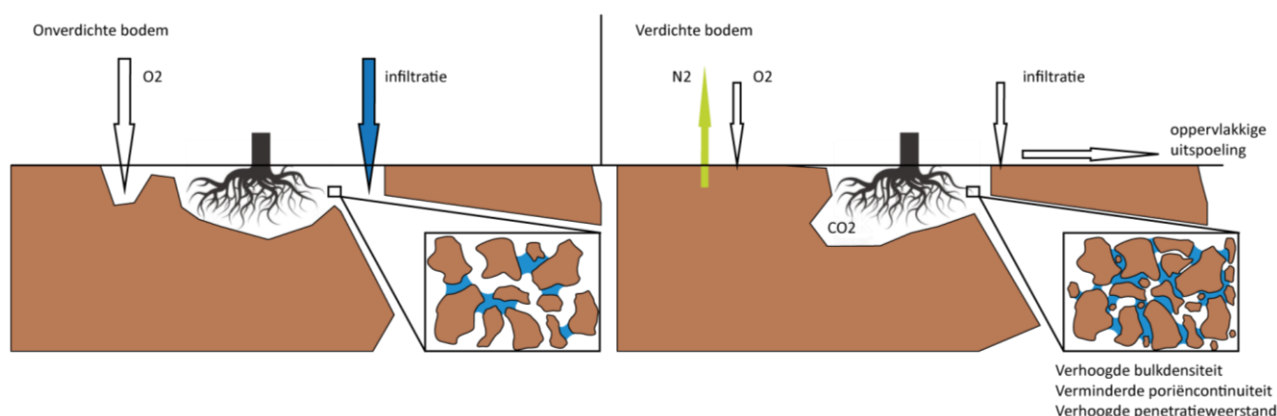
Bodemverdichting is het proces van het samendrukken van bodemdeeltjes in de van nature bestaande poriën in de bodem. Deze poriën komen voor in verschillende groottes, net als bodemdeeltjes. Wanneer er druk wordt uitgeoefend op de bodem, worden de poriën die ruim genoeg zijn, door omringende korrels opgevuld. Dit zorgt ervoor dat de bodem een kleinere hoeveelheid grotere poriën bevat (macroporiën, diameter $d > 50\mu\text{m}$). Deze macroporiën worden in het verdichtingsproces omgevormd tot meso- en microporiën (microporiën, $d < 0.2\mu\text{m}$, mesoporiën $0,2\mu\text{m} < d < 50\mu\text{m}$). Daarom is er een toename van meso- en microporiën (Potvliet & Delforterie, 2016). Zie figuur [2].

Bij een verdichte bodem neemt de bulk density toe (Ampoorter, de Frenne, Hermy, & Verheyen, 2011). Dit betekent dat het droge gewicht per m^3 toeneemt ten opzichte van de situatie voor de verdichting. Penetratieweerstand is de hoeveelheid druk die nodig is om een vaste oppervlakte in de bodem te penetreren. Wanneer de bodemdeeltjes dichter op elkaar zitten is er meer kracht nodig om met de vaste oppervlakte tot een bepaalde diepte te komen (Ares, Terry, Miller, Anderson, & Flaming, 2005; Kozlowski, 1999). Uit onderzoek blijkt dat de penetratieweerstand en bulk density beide toenemen naarmate een bodem vaker bereden wordt, maar deze twee eigenschappen zijn niet lineair aan elkaar verbonden (Ampoorter et al, 2007). Dit betekent dat bulk density niet te voorspellen is aan gevonden penetratieweerstanden of andersom.

Vocht en Lucht

Zoals al eerder genoemd vermindert de hoeveelheid macroporiën in een verdichte bodem. In deze poriën bevindt zich de lucht. En in de meso- en microporiën bevindt zich vooral het water. Wanneer een bodem verdicht wordt, wordt de lucht uit de bodem 'weggedrukt'. Door de toename aan micro- en mesoporiën wordt de capillaire werking van de bodem verhoogd. Dit komt doordat de bodemdeeltjes dichter bij elkaar zitten zie figuur [2]. Het gevolg hiervan is dat de hoeveelheid vocht in de bodem toeneemt bij verdichte bodems (Lull, 1959).

Daarnaast stagneert infiltratie door de afname van macroporiën waardoor oppervlakkige uitspoeling ontstaat. Dit is vooral problematisch in berggebieden en op hellingen omdat dit ongewenste erosie veroorzaakt (Jansson & Johansson, 1998). Voor Nederland betekent dit meestal stilstaand water in de bandensporen.

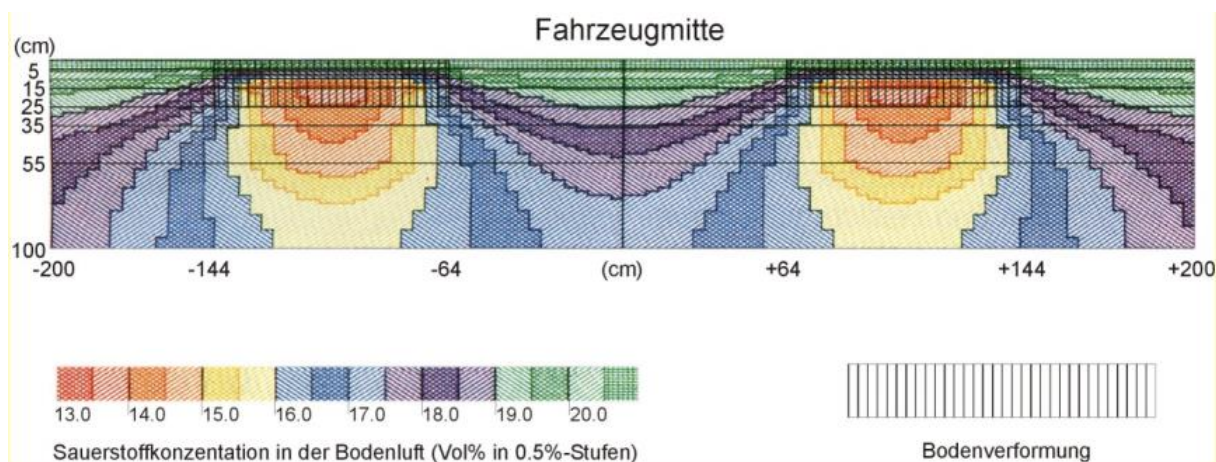


Figuur 2 Schematische weergaven van de gevolgen van bodemverdichting. Afbeelding gebaseerd op (Potvliet & Delforterie, 2016)

Chemische samenstelling (van de lucht in de bodem)

Doordat bij bodemverdichting de bulk density toeneemt wordt er meer ruimte in beslag genomen door zandkorrels en grondwater daarom kan de uitwisseling van gassen met de atmosfeer stoppen. Dit heeft verschillende gevolgen voor de chemische samenstelling van de bodem. De in dit onderzoek behandelde stoffen zijn Zuurstof O_2 , Koolstofdioxide CO_2 , Stikstofdioxide NO_2 en Methaan CH_4 .

De hoeveelheid O_2 in een verdichte bodem neemt af en de hoeveelheid CO_2 neemt toe. Dit komt doordat de bodembacteriën nog steeds zuurstof opnemen en CO_2 uitstoten. Dit kan op den duur leiden tot zuurstoftekorten voor plantenwortels. De afname van O_2 wordt weergegeven in figuur [3]. In de afbeelding wordt het zuurstofgehalte in de bodem weergegeven. De rode gebieden laten een lager



Figuur 3 Zuurstofconcentraties onder bandensporen. (Schäffer, 2002)

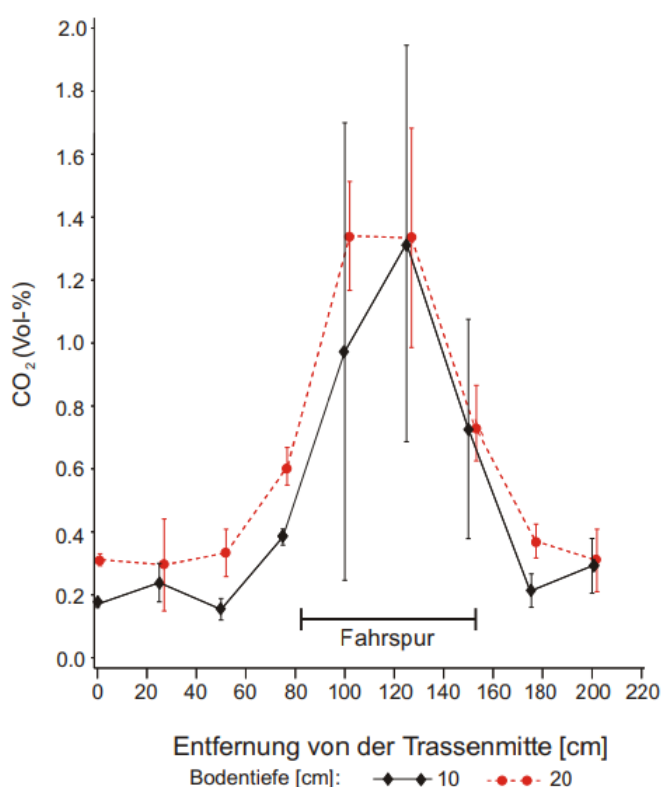
zuurstofgehalte zien. Op de x-as van deze figuur is de afstand tot het hart van het dunningspad te zien en op de y-as de diepte onder maaiveld. Dit houdt in dat onder het bandenspoor minder zuurstof aanwezig is.

De CO₂ concentratie onder het bandenspoor is in figuur 4 aangeduid met een lijn met het woord 'Fahrspur'. Op de Y-as zijn de concentraties CO₂ in de bodem af te lezen. Hieruit is de conclusie te trekken dat de concentraties CO₂ onder het bandenspoor tot 5 maal hoger kunnen zijn dan naast het spoor (Schäffer, 2002).

Uitstoot van stikstofdioxide en methaan zijn onderzocht in tropische omstandigheden. Tot minstens één jaar na verdichting stoot de bodem significant meer NO₂ en CH₄ uit dan voor de verdichting (Yashiro, Kadir, Okuda, & Koizumi, 2008).

Tot slot

De literatuur die is gebruikt voor het schrijven van deze paragraaf is samen gevat in tabel 1. In de tweede kolom van de tabel zijn symbolen opgenomen die het effect van verdichting weergeven op de eigenschap weergegeven in de eerste kolom.



Figuur 4 CO₂ concentraties onder het bandenspoor zijn 5 tot 7 maal hoger dan op onbereden bodem. (Schäffer, 2002)

Abiotische effecten van bodemverdichting

Penetratieweerstand		++	Ampoorter, de Frenne, Hermy, & Verheyen, 2011; Ampoorter, Goris, Cornelis, & Verheyen, 2007, p. 171; Ares, Terry, Miller, Anderson, & Flaming, 2005, p. 1830; Kozłowski, 1999, p. 604; Kremers & Boosten, 2018; Lull, 1959; Schjønning, Lamandé, Munkholm, Lyngvig, & Nielsen, 2016, p. 307; ten Cate, van Holst, Kleijer, & Stolp, 1995; van de Vreken, van Holm, Diels, & van Orshoven, 2009
Bulk Density		+++	Ampoorter, de Frenne, Hermy, & Verheyen, 2011; Ampoorter, Goris, Cornelis, & Verheyen, 2007, p. 165; Ares, Terry, Miller, Anderson, & Flaming, 2005, p. 1830; Cambi, Certini, Neri, & Marchi, 2015, p. 130; de Jong, van de Akker, & Kiestra, 2007; Kremers & Boosten, 2018; Jansson & Johansson, 1998)
Poriën	Macroporiën	---	Ampoorter, Goris, Cornelis, & Verheyen, 2007, p. 165; Cambi, Certini, Neri, & Marchi, 2015, p. 133; de Vries & van Soesbergen, 1980; Kozłowski, 1999, p. 600; Kremers & Boosten, 2018
	Microporiën	+	Ampoorter, Goris, Cornelis, & Verheyen, 2007, p. 165; Cambi, Certini, Neri, & Marchi, 2015, p. 133; de Vries & van Soesbergen, 1980; Kozłowski, 1999, p. 600; Kremers & Boosten, 2018
Vochtpercentage		++	de Vos, 2005; Kozłowski, 1999, p. 617; Kremers & Boosten, 2018; van den Akker & de Groot, 2008; Youngberg, 1959, p. 76
Zuurstofgehalte		--	de Vos, 2005; Kozłowski, 1999, p. 605; Kremers & Boosten, 2018; Schäffer, 2002; van den Akker & de Groot, 2008; Youngberg, 1959, p. 76
Chemische samenstelling CO₂		++	Kozłowski, 1999, p. 602; Schäffer, 2002
	N ₂ O	+	Kozłowski, 1999, p. 604; Youngberg, 1959, p. 76
Uitstoot	CO ₂	-	Kozłowski, 1999, p. 604; Yashiro, Kadir, Okuda, & Koizumi, 2008, p. 803
	N ₂ O	+	Kozłowski, 1999, p. 604; Yashiro, Kadir, Okuda, & Koizumi, 2008, p. 803
	CH ₄	+	Yashiro, Kadir, Okuda, & Koizumi, 2008, p. 803

Tabel 1 Overzicht van literatuur over de abiotische effecten van bodemverdichting

3.3. Biotische gevolgen van bodemverdichting

De bodem is de leefomgeving voor vele verschillende soorten organismen. In de voorgaande paragrafen staan een aantal abiotische gevolgen van bodemverdichting beschreven. Deze fysieke veranderingen hebben op hun beurt weer gevolgen voor alle organismen die in de bodem leven. De biotische gevolgen van bodemverdichting zijn op te delen in vier categorieën;

- wortelgroei
- (natuurlijke) verjonging
- bodemfauna
- bacteriën en schimmels

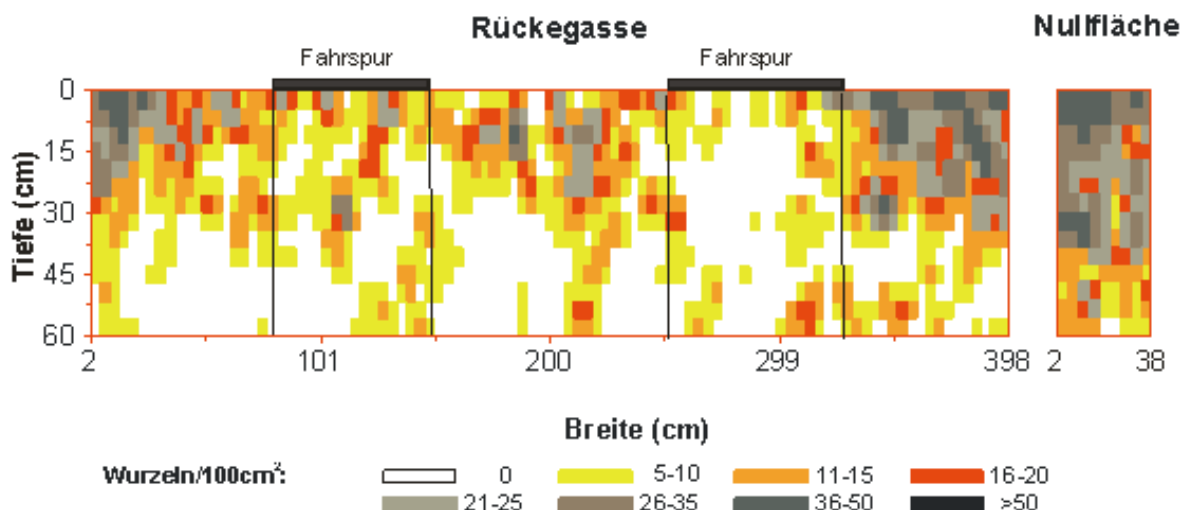
Wortelgroei

Een van de gevolgen van abiotische verandering door verdichting van de bodem is een mogelijke afname van wortelgroei. Wortelgroei wordt beïnvloed door onderstaande factoren

- De zuurtegraad (pH) van de bodem
- Mate van zuurstofvoorziening (aëratie)
- Vochtgehalte van de bodem
- Zoutconcentratie en voedingsstoffen
- Penetrati weerstand van de bodem
- Cultuurmaatregelen
- Verschillen in de fase van de groei
- Wortelconcurrentie
- Weersomstandigheden.

(de Vries & van Soesbergen, 1980)

De onderstreepte factoren uit bovenstaande opsomming zijn de factoren die beïnvloed worden door bodemverdichting. Dit kan een verklaring zijn waardoor er bij bodemverdichting minder wortelgroei voorkomt (Kozlowski, 1999). Dit wordt ondersteund door het onderzoek van Schäffer uit 2002, zie figuur 5.



Figuur 5 Hoeveelheid (haar)wortels onder een dunningspad in vergelijking tot een nulmeting (Schäffer, 2002)

Figuur 5 is een visualisatie van de hoeveelheid wortels in % per 100cm² in dit onderzoek zijn wortels geteld met een diameter groter dan 2 mm. De kleuren grijs tot zwart hebben een 'gezonde' hoeveelheid wortels. De rode, oranje en gele kleuren stellen een lagere hoeveelheid fijne wortels voor, en de witte

kleur is een afwezigheid van wortels. Het vak waar 'Rückegasse' boven staat stelt in zijn geheel het harvesterpad voor, de aangegeven delen met 'Fahrspur' zijn de bandensporen. Het losstaande vlak aan de rechterkant waar 'Nullfläche' boven staat is de nulmeting waar geen bereiding is geweest. Wanneer de twee naast elkaar bekeken worden is onder het harvesterpad een duidelijke vermindering te zien in de hoeveelheid haarwortels vergeleken met de nulmeting (Schäffer, 2002).

Naast dat de chemische voorzieningen voor wortels in mindere mate aanwezig zijn in verdichte bodems hebben de wortels ook een fysiek probleem bij groeien in verdichte bodems. De haarwortels waar mee gerekend wordt in figuur [5] hebben een diameter van >2 mm, deze wortels zijn door hun grootte minimaal een macroporie nodig om in verder te groeien (Kozłowski, 1999). Wortels kunnen niet door groeien wanneer een bodem een penetratieweerstand van meer dan 2,5 MPa heeft. (ten Cate et al., 1995).

(Natuurlijke) verjonging

Bomen en bos vermeerderen zich in Nederland op een van de volgende twee manieren, natuurlijk of door aanplant. Wanneer nieuwe bomen worden aangeplant, wordt er rekening gehouden met harvesterpaden. Natuurlijke verjonging is het 'normale' proces waarbij volwassen bomen bevrucht zaad op willekeurige plekken proberen te laten kiemen. Zaailingen die vlak bij of op verdichte bodem groeien kunnen hierdoor in sommige gevallen sterk verminderde groei vertonen (Youngberg, 1959) of helemaal niet kiemen (de Vos, 2005). Verminderde groei of mortaliteit na ontkieming is vaak een gevolg van oppervlakkige verdichting. Dit komt omdat na de kieming van het zaad op verdichte bodem de zaailing de bodem niet kan penetreren en uitdroogt bovenop de bodem. (Ampoorter et al., 2011). In figuur 6 wordt dit geïllustreerd doordat naast en op de middenberm van het pad wel natuurlijke verjonging voorkomt en in de bandesporen niet.



Figuur 6 Voorbeeldfoto van een harvesterpad zonder verjonging (Cambi et al., 2015)

Bodemfauna

Er zijn nog niet veel onderzoeken gedaan naar het effect van bodemverdichting op de bodemfauna. Volgens een studie neemt bij verdichting de aanwezigheid van bodemfauna sterk af (Marshall, 2000). Daarnaast is er vooral onderzoek gedaan naar het effect van verdichting op regenwormen en hun rol in het eventuele herstel. Ook uit deze onderzoeken blijkt dat de hoeveelheid biomassa en individuen drastisch afnemen bij bodemverdichting (Bottinelli, Capowiez, & Ranger, 2014).

Bacteriën en schimmels

Ook is er nog niet veel onderzoek gedaan naar de invloed van bodemverdichting op bacteriën en schimmels in de bodem. Wat wel bekend is, is dat na bodemverdichting minder diffusie met de atmosfeer plaatsvindt. Bacteriën blijven echter O₂ omzetten in CO₂ waardoor O₂ tekorten kunnen ontstaan voor ander bodemleven of plantenwortels (Marshall, 2000).

Wat schimmels betreft wordt er wel onderzoek gedaan, maar dit zijn vooral onderzoeken naar mycorrhiza-schimmels waarbij deze ingezet worden om stress door verdichting te verlichten (Miransari, 2014). Over eventuele positieve of negatieve gevolgen van bodemverdichting op de groei van de schimmels is weinig bekend.

Biotische effecten van bodemverdichting

Wortelgroei	--	ten Cate, van Holst, Kleijer, & Stolp, 1995; de Vries & van Soesbergen, 1980; Harry & Smith, 1964, p. 465; Kozłowski, 1999, p. 610; Schäffer, 2002; Schjøning, Lamandé, Munkholm, Lyngvig, & Nielsen, 2016, p. 307
(Natuurlijke) verjonging	-	Ampoorter, de Frenne, Hermy, & Verheyen, 2011; Ares, Terry, Miller, Anderson, & Flaming, 2005, p. 1828; de Vos, 2005; Lull, 1959; Youngberg, 1959, p. 76
Bodemfauna	-	Bottinelli, Capowiez, & Ranger, 2014, p. 131; Marshall, 2000
Bacteriën en schimmels	?	Marshall, 2000, p. 59; Miransari, 2014

Tabel 2 Overzicht van literatuur over de biotische effecten van bodemverdichting

3.4. Herstel van bodemverdichting

Oplossingen voor herstel van bodemverdichting in de landbouw bestaan al sinds de ontdekking van de eerste ploeg. Ook in de laatste decennia is hier veel landbouwonderzoek naar gedaan en dan vooral naar herstel van verdichting van de ploegzool. Onderzoek naar herstel van bodemverdichting in de bosbouw is schaars omdat ploegen, frezen en andere mechanische bodembewerking in bossen alleen vóór aanplant, meestal bij kaalslag, mogelijk is. Toch zijn er enkele onderzoeken naar ecologisch/natuurlijk herstel gedaan en enkele naar mechanische ingrepen.

Ecologisch/natuurlijk herstel

Er zijn drie verschillende bekende, van nature voorkomende, processen die een herstellend effect hebben op bodemverdichting; afwisseling tussen vriezen en dooien, bodemfauna en de verdichting door plantenwortels. Geen van deze effecten bieden echter een permanente oplossing voor verdichting.

Afwisseling tussen vriezen en dooien helpt bodemverdichting tegen te gaan door het zwellen en krimpen van de bodemvocht bij bevriezen en ontdooien. Dit proces helpt voor Nederland alleen in de bovenlaag, omdat hier slechts de oppervlakte bevroert. Daarnaast is het een traag proces dat jaren duurt.

Deverdichting door plantenwortels is mogelijk bij eenjarige planten. Een sterk diep wortelende plant groeit, sterft af en laat een holte achter na verrotting. Dit proces is vooral interessant voor de landbouw waar deze situatie onnatuurlijk snel verloopt door oogst en ploegen.

Pendelwormen, waaronder regenwormen, gaan periodiek (dagelijks) door een zelfgegraven gang op en neer in de bodem. De gangen kunnen tot 100 cm diep zijn. Bij het heen en weer reizen maken de

wormen gangen en verplaatsen zij zandkorrels. Door hun gedrag kunnen pendelwormen bodemdeeltjes verplaatsen en lichte verdichting opheffen door het omwoelen van de bodem. Bij sterk verdichte bodems neemt de populatie regen- en andere wormen echter drastisch af. (Bottinelli et al., 2014)

Als laatste zijn er ook verkennende studies naar mycorrhiza-schimmels gedaan waarbij is onderzocht of deze plantenwortels kunnen ontzien van verdichting stress. Dit lost de bodemverdichting echter niet op. Daarentegen lijken de eerste resultaten erop dat deze schimmels de nadelige effecten van verdichting voor planten kunnen verlichten (Miransari, 2014).

Mechanisch herstel

Ervaringen en onderzoeken uit de landbouw met ploegen, frezen en diepploegen zijn veelvuldig aanwezig. Uit de landbouwonderzoeken wordt direct duidelijk dat zodra er geploegd wordt, er rekening gehouden moet worden met de ploegzool. Door periodiek ploegen ontstaat deze ploegzool net onder de diepte tot waar de bodembewerking uitgevoerd kan worden (van den Akker & de Groot, 2008). De methode om dit op te heffen wordt diepploegen genoemd (Ide, Hofman, Ossemerct, & Van Ruymbeke, 1987).

Bij bosbouw is door overgebleven houtige beworteling, diepe bodembewerking vaak niet aan de orde. Door oppervlakkige bewerking van bosvreezen of een schijveneg neemt natuurlijke verjonging zeer sterk toe mits de bodembewerking wordt uitgevoerd in de juiste periode (de Vos, 2005).

3.5. Conclusies literatuurstudie

Om de literatuurstudie te concluderen is een opsommingen met de belangrijkste conclusies gemaakt.

1. Geschiedenis en oorzaken
 - 1.1. Onderzoek naar bosbodemverdichting begon in de jaren 50 in Amerika.
 - 1.2. Bosbodemverdichting wordt veroorzaakt door harvesters en forwarders.
2. Abiotische gevolgen
 - 2.1. Penetratieweerstand neemt in ruime mate toe door verdichting
 - 2.2. Bulk density neemt sterk toe
 - 2.3. Macroporiën nemen af en meso- en microporiën nemen licht toe
 - 2.4. Door verandering in poriën is er minder lucht en meer vocht
 - 2.5. Chemische samenstelling van de lucht in bodem verandert
3. Biotische gevolgen
 - 3.1. Wortelgroei kan afnemen als gevolg van bodemverdichting
 - 3.2. (Natuurlijk) verjonging neemt af door oppervlakkige bodemverdichting
 - 3.3. Bodemfauna neemt af in individuen en biomassa bij verdichting
 - 3.4. Over bacteriën en schimmels is niet bekend of deze groeiverandering hebben onder invloed van verdichting
4. Herstel
 - 4.1. Ecologisch/natuurlijk herstel, nog geen uitzicht op een toepasbare oplossing voor de bosbouw.
 - 4.2. Mechanisch herstel, zeer positieve resultaten voor natuurlijke verjonging bij oppervlakkige bodembewerking.

4. Praktijkonderzoek

Dit hoofdstuk begint met een algemene omschrijving van de locatie waar het onderzoek is uitgevoerd. In paragraaf 4.1 tot en met 4.3 worden deelvragen 2 tot en met 4 beantwoord. Daarna worden in paragraaf 4.4 de parameters met elkaar vergeleken zodat deelvraag 5 beantwoord kan worden.

Locatie van het onderzoek

Het praktijkonderzoek is uitgevoerd in drie bosvakken waar douglas de hoofdboomsoort is. Alle vakken zijn onderdeel van het gebied Postelsebos, eigendom van gemeente Bergeijk, en worden beheerd door Staro.



Figuur 7 Postelsebos met bosvakken en de onderzoeksbomen

De methode is eerst getest in bosvak 336 in figuur 7 weergegeven door de wit/grijze stippen. Alle reguliere meetbomen zijn paars van kleur, de blauwe stippen zijn bomen die gepland stonden om ook nog gemeten te worden maar dit is niet gelukt vanwege onder andere stormschade en materiaalpech.

Bodem

Alle onderzochte bosvakken hebben een haarpodzol als bodem, dit betekent dat de bossen op kalkloze leemarme zandgronden staan met een diepe grondwaterstand.

Om dit te bevestigen zijn er in het veld ook proefgaten gegraven zie figuur [8].

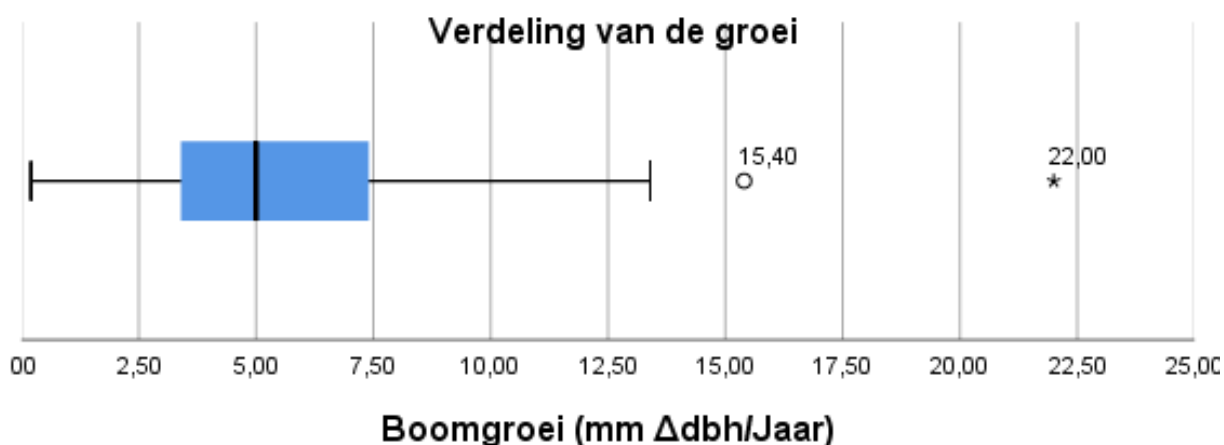
De vegetatie

De hoofdboomsoort van de vakken is douglas met ondergroei van Amerikaanse vogelkers en sporadisch hulst. De douglassen zijn circa 40 jaar oud en circa 18 meter hoog.



Figuur 8 bodem in vak 338

4.1. Parameter 1: Groei van de bomen (uitgedrukt in mm Δdbh /jaar)



Grafiek 3 Boxplot van groeiverdeling van de meetbomen

Er zijn 177 bomen gemeten waarvan de verdeling in grafiek 3 is weergegeven. In tabel 3 zijn de gegevens waar grafiek 3 uit is opgebouwd nog eens in getallen weergegeven. Hier is te zien dat het aantal meetende bomen maar op 175 uitkomt. Dit komt omdat er bij het onderzoek twee bomen zijn gemeten met een negatieve groei. Het is onmogelijk voor bomen om een negatieve groei te hebben. Bomen kunnen niet krimpen. De twee bomen met negatieve groei zijn uit het onderzoek verwijderd. Daarom is het totaal aantal gemeten bomen op 175 uitgekomen.

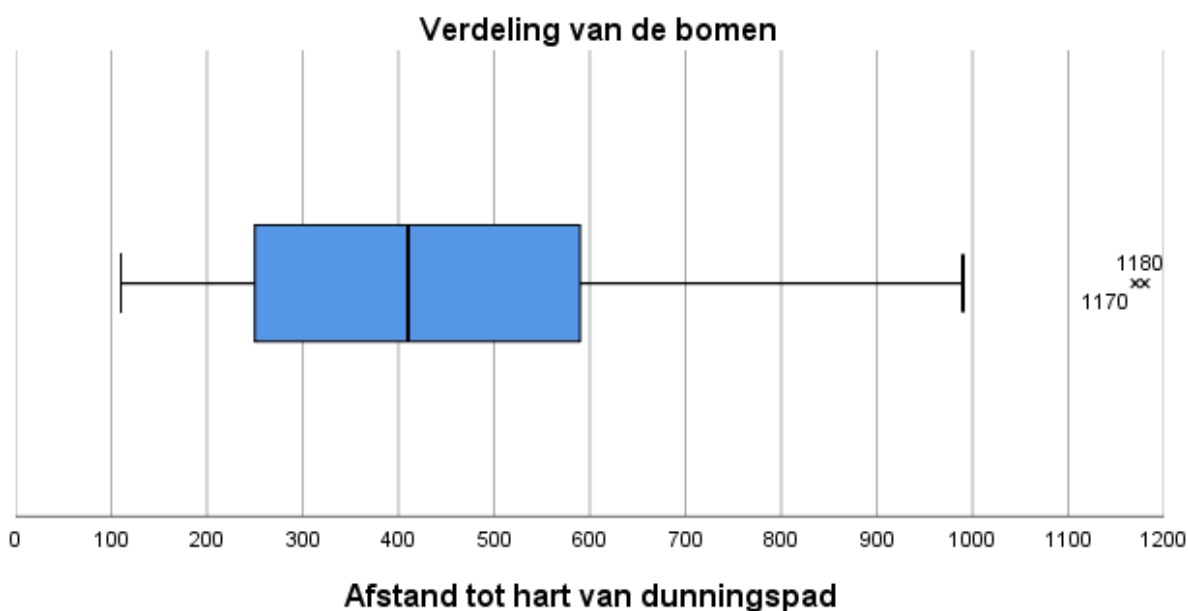
De gemiddelde totale groei van alle 175 geldige bomen is 5,4 mm diameter toename per jaar zie tabel 3. Gemiddelde groei van douglassen in Nederland is 7,0 mm per jaar. Uitgegaan van de opbrengsttabellen van Nederland, leeftijdsklasse: '35 jaar oud' en boniteitsklasse III (Jansen & Oosterbaan, 2018). Vergeleken met het 'landelijke gemiddelde' is te zien dat de meetbomen uit het onderzoek minder gegroeid zijn. Dit is te verklaren door de droge zomers van 2018 en 2019 (Nabuurs & Lerink, 2019).

In grafiek 3 is aan de boxplot te zien dat er een spreiding in de dataset is van tussen de 0,20 en 13 mm diameter toename per jaar. De 2 twee uitschieters zijn 15,4 en 22,0 mm toename per jaar.

Statistieken		
Overzicht van de boomgroei		
N	Valid	175
	Missing	0
Mean		5,4230
Median		5,0000
Std. Deviation		3,01394
Range		21,80
Minimum		0,20
Maximum		22,00

Tabel 3 samengevatte statistiek
Parameter 1: 'boomgroei'

4.2. Parameter 2: Afstand tot dunningspad (gemeten in cm van hart tot boom)



Grafiek 4 Boxplot van de verdeling van bomen ten opzichte van hun afstand tot het pad

Net als bij parameter 1 gaat het bij de afstand tot het pad om 175 bomen. Deze parameter is uitgedrukt in centimeters. Deze parameter is gemeten van boom tot het hart van het dunningspad.

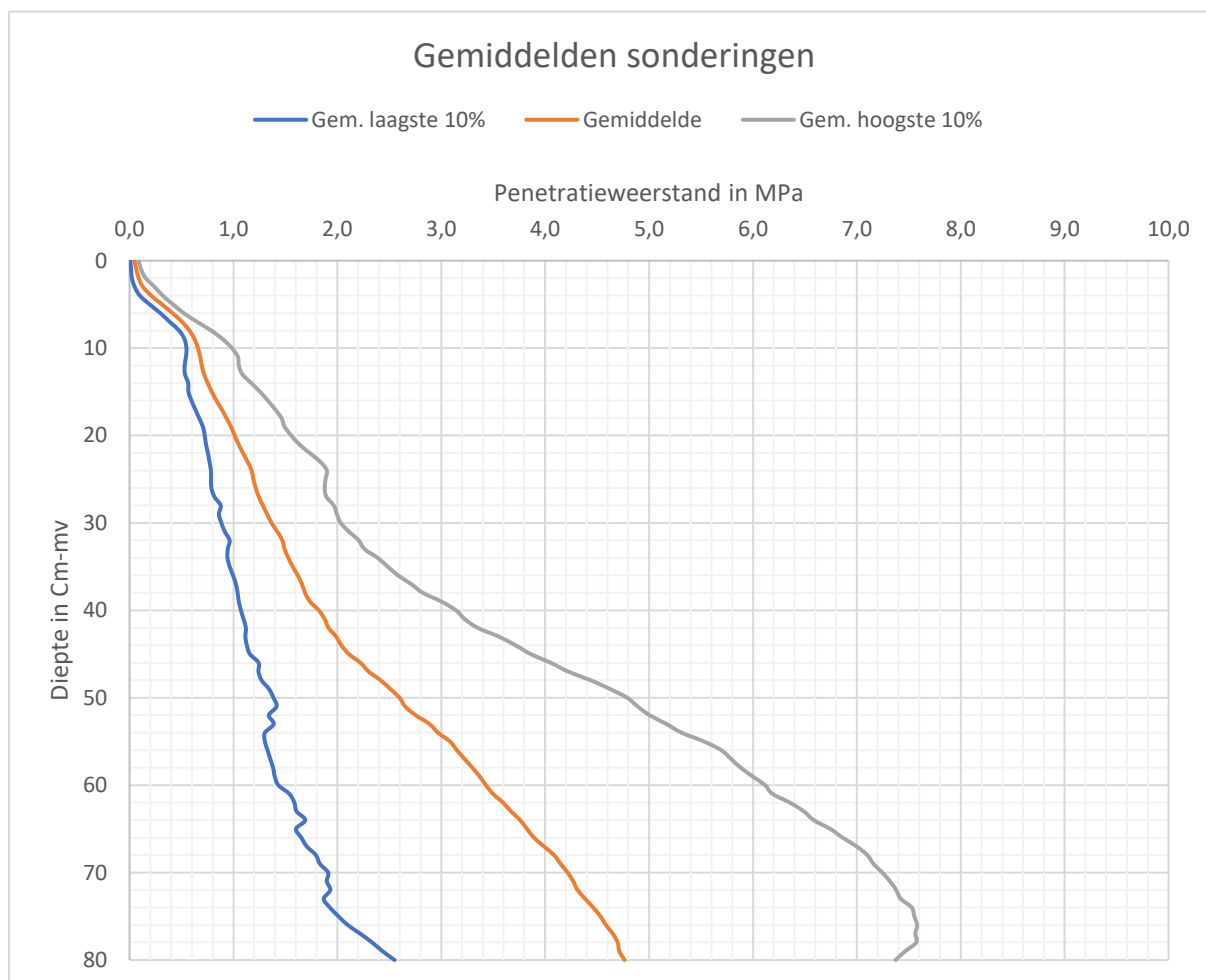
De gemeten bomen hebben een gemiddelde afstand van 457 cm tot het hart van het dunningspad zie tabel 4. De bomen staan tussen de 110 en 1000 cm van het pad verwijderd. Dit komt overeen met het regulier bosbeheer waarbij dunningspaden op 20 meter van elkaar verwijderd liggen. Hierdoor is het in principe niet mogelijk om bomen te meten die verder dan 10 meter vanaf het hart van het dunningspad staan. Maar omdat mensen niet perfect zijn en bosbeheer nog steeds mensenwerk is komt het wel eens voor dat harvesterpaden niet perfect recht uitgezet zijn. Deze oneffenheid heeft het mogelijk gemaakt dat er twee uitschieters zijn die meer dan 10 meter vanaf het harvesterpad verwijderd zijn.

Statistieken		
Overzicht Afstand tot dunningspad		
N	Valid	175
	Missing	0
Mean		456,63
Median		410,00
Std. Deviation		224,414
Range		1070
Minimum		110
Maximum		1180

Tabel 4 samengevatte statistieken
Parameter 2: 'afstand tot dunningspad'

4.3. Parameter 3: Bodemverdichting (gemeten a.d.h.v. Penetratieweerstand)

In totaal zijn er 1312 machinale sonderingen gedaan. In grafiek 5 zijn drie verschillende lijnen getekend. De oranje lijn is het gemiddelde van alle penetraties. De blauwe lijn is het gemiddelde van de 10% penetraties waar de minste weerstand is gevonden. De grijze lijn is het gemiddelde van de 131 penetraties waar de hoogste weerstanden zijn gemeten.

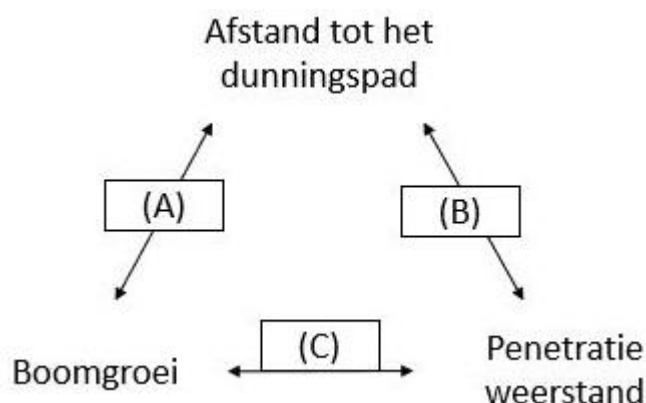


Grafiek 5 Gemiddelde machinale sonderingen

Wat voornamelijk opvalt aan grafiek 5 is dat de penetratieweerstand gemiddeld gezien toeneemt naarmate de sondering dieper in de grond is.

4.4. Vergelijking tussen de parameters

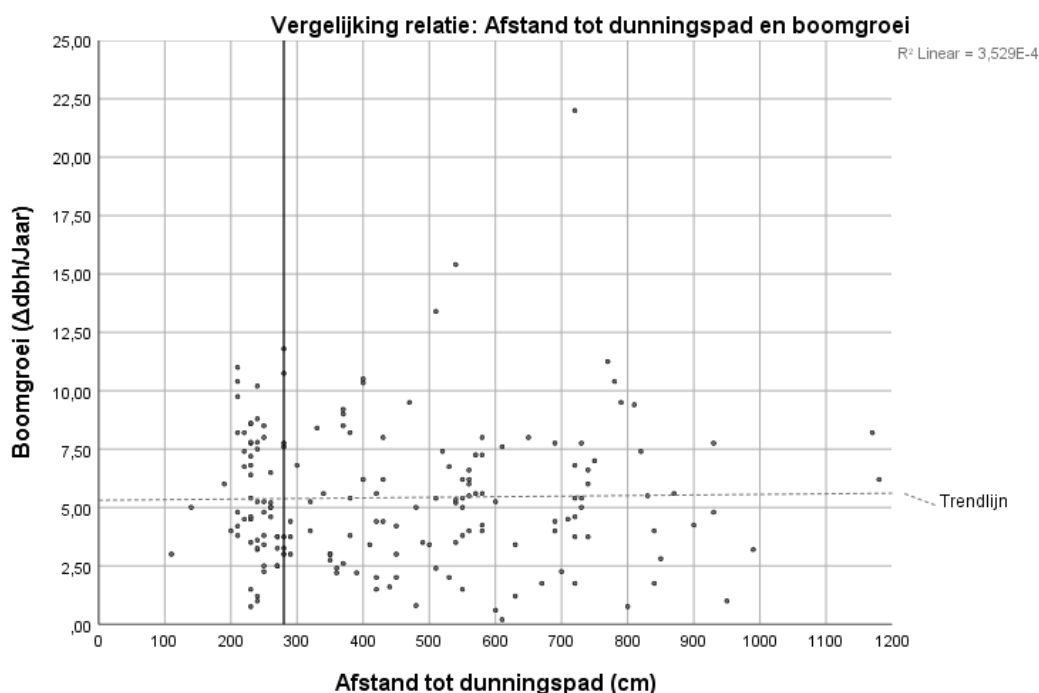
Hieronder staat in figuur 9 de drie parameters in een driehoek getekend. De pijlen tussen de parameters stellen de relaties voor die in deze paragraaf één voor één behandeld worden.



Figuur 9 Parameters en hun relatie tot elkaar

4.4.1. Relatie A: vergelijking van boomgroei en afstand tot het dunningspad

In deze paragraaf wordt de relatie onderzocht tussen boomgroei en afstand tot het dunningspad. Deze parameters zijn weergegeven in grafiek 6. In deze grafiek zien we het volgende; alle stippen stellen een boom voor. Op de X-as staat de afstand tot het hart van het dunningspad in centimeters, op de Y-as de boomgroei uitgedrukt in millimeter toename diameterborsthoogte per jaar.



Grafiek 6 Vergelijking Afstand tot dunningspad en bomgroei

De dataset is op twee verschillende manieren geanalyseerd. Er is een lineaire regressieanalyse gedaan in SPSS, waarbij een trendlijn is berekend, deze is te zien in grafiek 6. Daarnaast is er een T-test uitgevoerd, deze test is te vinden in bijlage 1 onder het kopje T-test.

Lineaire regressieanalyse

Bij een lineaire regressie analyse wordt van een trendlijn berekend tot in hoeverre de lijn representatief is voor de dataset. De waarde wordt uitgedrukt in een getal tussen de 0 en 1 en wordt de P-waarde

genoemd. Voor de trendlijn uit grafiek 6 is de P-waarde 0,805. Voor een significante relatie moet dit getal minder dan 0,05 zijn. De trendlijn is dus niet representatief voor de dataset. Dit betekent dat er geen verband is tussen de parameters; 'afstand tot dunningspad' en 'boomgroei', en dat uit de richting of hoogte van de trendlijn geen conclusies getrokken kunnen worden.

T-test

Vervolgens is er een T-test uitgevoerd waarbij de bomen in twee groepen verdeeld zijn. De ene groep zijn bomen die wortels hebben die tot onder het dunningspad kunnen reiken. De andere groep zijn de bomen waarvan de wortels niet tot onder het dunningspad reiken. De grens van deze twee groepen is bepaald op 280. Deze keuze is gemaakt omdat bomen die verder dan 280 cm vanaf het hart van het dunningspad staan geen wortels hebben die tot onder het dunningspad reiken. Omdat er wordt uitgegaan van een wortelkluit met een straal van één meter en het dunningspad eindigt op 180 cm vanaf het midden van het pad zie afbeelding 1.

In grafiek 6 zijn deze twee groepen gescheiden door de verticale zwarte lijn. Als de bomen wel invloed hadden gehad van het dunningspad was er te verwachten geweest dat de groep links van de lijn minder hard gegroeid was dan de groep aan de rechter kant van de lijn.

Bij het testen van de twee groepen met een T-test, blijkt dat er geen verschil is in groei. De P-waarde van deze vergelijking is 0,896 dit betekent dat er geen significant verschil is tussen de twee groepen.

Conclusie relatie A

Beide manieren van analyseren laten zien dat er geen verband aangetoond kan worden tussen de parameter 'boomgroei' en 'afstand tot dunningspad'.

Dit betekent dat de 175 bomen die in dit onderzoek zijn gemeten geen relatie hebben tussen de afstand tot het dunningspad en hun groei.

4.4.2. Relatie B: vergelijking van penetratieweerstand en afstand tot het dunningspad

Bij het vergelijken van de afstand tot het dunningspad en de penetratieweerstand is er meer te zien dan bij de vorige relatie. In tabel 5 worden per vak gemiddelden weergegeven van penetratieweerstanden in MPa. Op de Y-as zijn de dieptes met intervallen van 10 cm onder het maaiveld weergegeven. En op de X-as staat de afstand tot het dunningspad van alle verschillende meetpunten die gedaan zijn met de penetrologger. Het bruine vakje bovenaan de tabel markeert het bandenspoor. Onder dit bandenspoor is de verdichting duidelijk te zien in verhoogde penetratieweerstanden. Om de verbanden statistisch te onderbouwen zijn er lineaire regressie analyses gedaan en T-tests uitgevoerd.

Lineaire regressie analyses

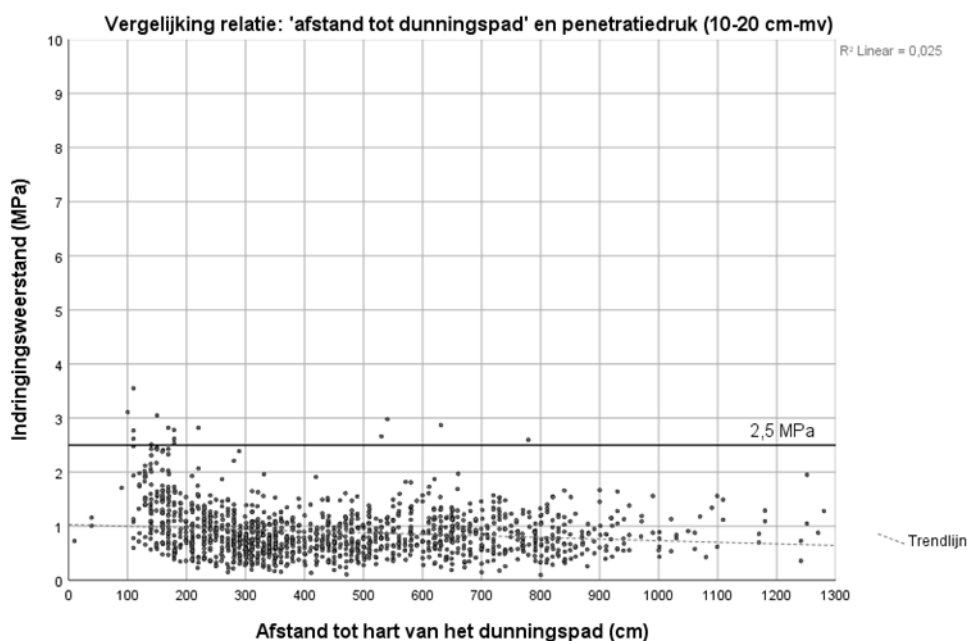
De regressie analyses voor het onderzoeken van deze relatie zijn opgedeeld in stappen van 10 cm-mv. Dit resulteert in 8 verschillende grafieken en analyses namelijk één grafiek voor iedere 10 cm-mv. Deze zijn te vinden in bijlage 2.

Op de dieptes 10 cm-mv tot 20 cm-mv is het effect van de dunningspaden het beste te zien, daarom wordt

deze hier weergegeven in grafiek 7. Op de Y-as is de penetratieweerstand in MPa weergegeven, op de X-as wordt de afstand van dezelfde penetratie tot het hart van het pad weergegeven. Het bandenspoor bevindt zich tussen de 60 en 180 cm op de x-as. Op het bandenspoor is een duidelijke groep te zien met een verhoogde penetratieweerstand. Wanneer voor de hele dataset een trendlijn wordt berekend is dit dan ook een licht dalende lijn die de dataset significant weergeeft met een P-waarde van <0,0005.

	<60	180	300	400	500	600	700	800	900	1000	>1000
0-10	0,28	0,46	0,32	0,34	0,30	0,33	0,36	0,31	0,34	0,31	0,36
11-20	0,97	1,42	0,87	0,74	0,77	0,88	0,87	0,86	0,81	0,89	0,94
21-30	1,19	1,73	1,24	1,07	1,24	1,35	1,24	1,24	1,06	1,36	1,33
31-40	1,64	2,05	1,68	1,47	1,61	1,73	1,71	1,47	1,45	1,72	1,59
41-50	2,19	2,65	2,35	2,11	2,13	2,28	2,26	2,06	2,15	2,20	1,99
51-60	2,46	3,42	3,30	3,16	2,66	3,13	3,17	2,98	3,15	2,81	2,56
61-70	2,18	4,14	4,18	4,14	3,35	3,65	3,64	3,74	4,29	3,68	3,05
71-80	2,49	4,74	4,75	4,55	4,32	4,21	4,26	4,67	4,81	4,77	4,81

Tabel 5 model van de bodem in penetratieweerstand (uitgedrukt in MPa)



Grafiek 7 Vergelijking relatie afstand tot dunningspad en Penetratieweerstand bij 10-20 cm-mv

Van alle andere dieptes zijn de getekende trendlijnen significant behalve van de dataset 70-80 cm-mv. Alle trendlijnen vertonen een lichte daling in penetratieweerstand naarmate de afstand toeneemt. De trendlijnanalyses en grafieken van de overige dieptes zijn te vinden in bijlage 2.

T-tests

Uit de grafieken in bijlage 2 en grafiek 7 blijkt dat de verhoging van penetratieweerstand vooral voorkomt onder het bandenspoor. Daarom zijn ook bij deze relatie T-tests uitgevoerd waarbij de groepen 'in het spoor' en 'naast het spoor' apart vergeleken worden. Bij het vergelijken van twee groepen wordt een T-test gebruikt om verschil tussen de groepen aan te tonen. De gemiddelden van deze twee groepen worden in tabel 6 weergegeven en worden uitgedrukt in megapascal. De linker groep zijn de gemiddelden van alle penetraties die een afstand hebben van tussen de 60 tot 180 cm vanaf het hart van het pad. De rechter groep uit tabel 6; 'naast spoor', bestaat uit alle overige penetraties. De derde kolom van de tabel geeft de P-waarde weer van de T-test. Wanneer deze onder de 0,05 is, geeft dit weer dat er tussen de twee datasets een significant verschil is.

De vijf sets die tussen de 0 en 50 cm onder het maaiveld zitten hebben significante verschillen. Dit betekent dat het verschil tussen de verhoogde penetratieweerstand, 'in het spoor' en 'naast het spoor' niet op toeval zijn gebaseerd. Dieper dan 50 cm onder het maaiveld is het verschil tussen de twee sets niet significant. Hier worden gemiddeld gezien wel hogere weerstanden gemeten maar dit zou ook toeval kunnen zijn.

Conclusie relatie B

Er is een duidelijke significante relatie tussen de hoeveelheid penetratieweerstand en de afstand tot het dunningspad op de meetlocaties. Met name op de dieptes tot 50 cm-mv. Dieper dan deze diepte is er wel een verschil te zien maar deze wordt niet onderbouwt door de data en kan daarom ook op toeval berusten.

	In Spoor	Naast	P-waarde	Significant?
0-10	0,46	0,33	<0,001	JA
11-20	1,41	0,83	<0,001	JA
21-30	1,73	1,21	0,002	JA
31-40	2,05	1,60	0,001	JA
41-50	2,65	2,20	0,001	JA
51-60	3,42	3,08	0,407	NEE
61-70	4,14	3,86	0,772	NEE
71-80	4,74	4,52	0,845	NEE

Tabel 6 T-tests, vergelijking, 'In spoor' en 'naast spoor', weerstanden uitgedrukt in MPa

4.4.3. Relatie C: vergelijking van groei en penetratieweerstand

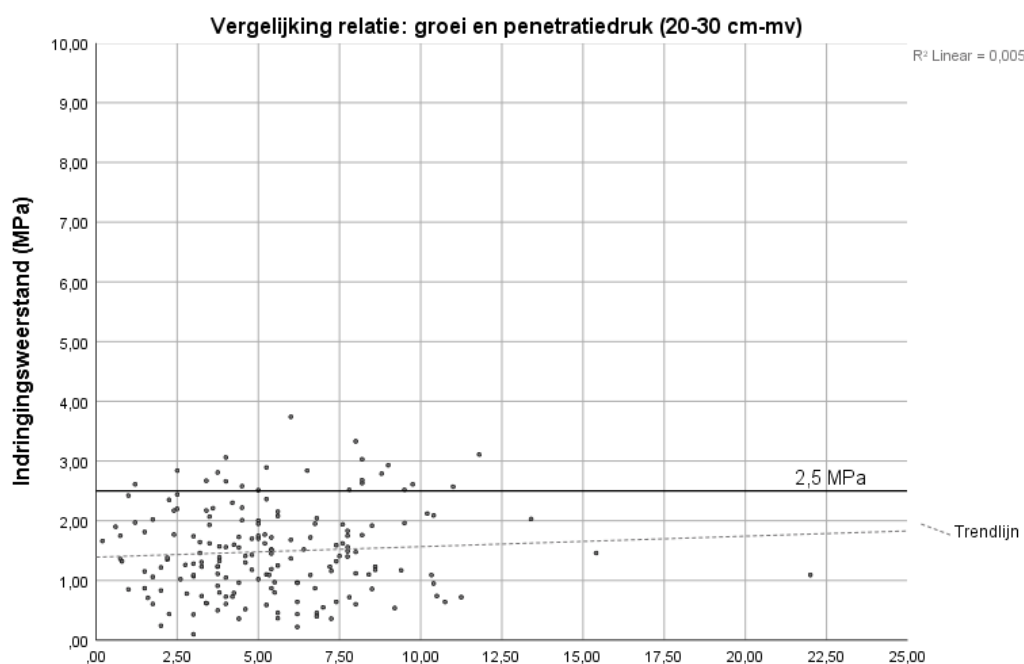
Bij het onderzoeken van deze relatie zijn de groei van de bomen en de gemiddelde penetratieweerstand met elkaar vergeleken. Dit is wederom gedaan door het uitvoeren van meerdere lineaire regressie analyses en meerdere T-tests.

Lineaire regressie analyses

De regressie analyses voor het onderzoeken van deze relatie zijn opgedeeld in stappen van 10 cm-mv. Dit resulteert in 8 verschillende grafieken en analyses; namelijk één grafiek voor iedere 10 cm-mv. Deze zijn te vinden in bijlage 3. Voor iedere verschillende dieptecategorie is gekeken naar de groei van de boom in relatie met hoeveel druk er op die diepte is.

In grafiek 8 is de relatie te zien tussen de boomgroei en penetratieweerstand op 20-30 cm-mv. Hier is te zien dat er geen duidelijke relatie is, omdat de puntenwolk willekeurig lijkt. Daarnaast valt op dat de trendlijn, die niet significant is, het tegenovergestelde effect weergeeft, dan dat verwacht wordt. De trendlijn suggereert dat de boomgroei toeneemt naarmate de penetratieweerstand ook toeneemt.

Ook bij de andere grafieken is een trendlijn berekend. Geen van deze trendlijnen heeft een P-waarde die suggereert dat de lijn een significante weergave is van de dataset. De richtingen van de trendlijnen variëren behoorlijk; sommigen stijgen, sommigen zijn vlak en anderen dalen. Dit betekent dat de parameters geen verband met elkaar houden. Alle verschillende grafieken en analyses zijn terug te vinden in bijlage 3.



Grafiek 8 Vergelijking Penetratieweerstand en groei bij 20-30 cm-mv

T-tests

In de literatuurstudie in hoofdstuk 3 komt naar voren dat wortels geen bodem meer kunnen penetreren wanneer de penetratieweerstand hoger is dan 2,5 MPa. Minder wortels zouden kunnen lijden tot minder boomgroei. Daarom worden de meetgegevens onderverdeeld in twee groepen: de bomen die groeien in een bodem met penetratieweerstand van minder dan 2,5 MPa en bomen die groeien in een bodem met een penetratieweerstand van meer dan 2,5 MPa. Hierbij wordt wederom per 10 cm-mv één T-test gedaan.

In grafiek 8 worden de groepen visueel gescheiden door een horizontale lijn. Bij alle T-tests is geen significant verschil gevonden tussen de hoeveelheid boomgroei boven en onder de 2,5 MPa. Deze T-tests zijn te vinden in bijlage 3. Behalve bij een diepte van 0-10 cm-mv omdat hier nog geen waarden hoger dan 2,5 MPa gemeten zijn en dan valt er ook niets te vergelijken.

Conclusie relatie C

Zowel met lineaire regressie analyse als met T-tests op 8 verschillende dieptes kunnen geen significante relaties gevonden worden tussen de twee parameters. Er lijkt dus geen verband te bestaan tussen boomgroei en penetratieweerstand op de gemeten locaties.

5. Conclusie

De conclusie van dit onderzoek zal het antwoord op de hoofdvraag omvatten. Maar eerst in het kort de antwoorden op de deelvragen.

1. Wat is er al bekend over de gevolgen van bodemverdichting?

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat bij bodemverdichting de macroporiën afnemen en de meso- en microporiën toenemen. Dit heeft een verhoogde penetratieweerstand en toegenomen bulk density tot gevolg. Door de verandering in poriënsamenstelling blijft er meer water in de bodem hangen en neemt de gasuitwisseling met de atmosfeer drastisch af. Door activiteit van bacteriën neemt de zuurstof af en de koolstofdioxide toe. De vermindering in zuurstof heeft als gevolg dat onder harvesterpaden minder haarwortels voorkomen. Daarnaast heeft bodemverdichting tot gevolg dat bodemfauna drastisch afneemt. Over schimmel- en bacteriepopulaties is nog weinig bekend. Er is nog geen zicht op het herstellen van diepe bodemverdichting in bossen.

2. Hoeveel zijn de douglassen op de Noord-Brabantse zandgronden gegroeid?

Gemiddeld over alle gemeten bomen is er een toename van 5,4 mm dbh per jaar over de afgelopen 5 jaar gemeten. Dit is minder dan wanneer dit met het landelijke model uit de opbrengsttabellen vergeleken wordt. Deze algemene minder snelle groei is te verklaren door de droge zomers van 2018 en 2019.

3. Hoeveel invloed hebben de dunningspaden op de bodemverdichting?

Het dunningspad is van duidelijke invloed op de bodemverdichting. Dit is vooral te zien wanneer naar relatie B gekeken wordt. Wanneer de penetratieweerstand en de afstand tot het pad met elkaar vergeleken worden zijn de bandensporen duidelijk weer te zien in toegenomen penetratieweerstand in de bodem.

4. Wat is de hoeveelheid penetratieweerstand op de meetlocaties?

De hoeveelheid penetratieweerstand verschilt veel per locatie maar over het algemeen kan gezegd worden dat de weerstand toeneemt naarmate er dieper de grond in gepenetreerd wordt.

5. Wat is het verband tussen de verschillende parameters?

De conclusie van de laatste deelvraag is in de drie verschillende relaties opgesplitst. Te zien in figuur 10.

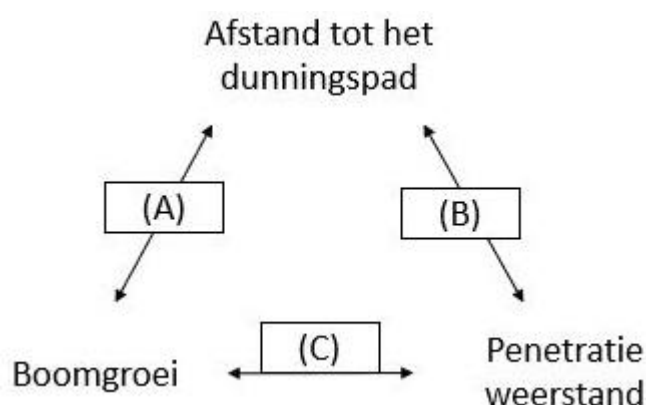
Relatie A

De twee verschillende manieren van analyseren laten zien dat er geen verband aangetoond kan worden tussen de parameter 'boomgroei' en 'afstand tot dunningspad'.

Dit betekent dat de 175 bomen die in dit onderzoek zijn gemeten geen relatie hebben tussen de afstand tot het pad en hun groei.

Relatie B

Er is een duidelijke significante relatie tussen de hoeveelheid penetratieweerstand en de afstand tot het dunningspad op de meetlocaties. Met name op de dieptes tot 50 cm-mv. Dieper dan deze diepte is er wel een verschil te zien maar deze wordt niet onderbouwt door de data en kan daarom ook op toeval berusten.



Figuur 10 Parameters en hun relaties

Relatie C

Zowel met lineaire regressie analyse als met T-tests, op 8 verschillende dieptes kunnen geen significante relaties gevonden worden tussen de twee parameters. Er lijkt dus geen verband te bestaan tussen boomgroei en penetratieweerstand op de gemeten locaties.

Antwoord hoofdvraag

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt: Hoeveel effect heeft bodemverdichting op de groei van douglassen (*Pseudotsuga menziesii*) op de Noord-Brabantse zandgronden?

Het antwoord op de hoofdvraag is: Er is geen aantoonbaar effect van bodemverdichting op de groei van douglassen op de Noord-Brabantse zandgronden.

Er is geen significante relatie gevonden tussen de parameters 'boomgroei' en 'afstand tot het dunningspad'. Ook is er geen relatie gevonden tussen 'boomgroei' en 'penetratieweerstand'.

Wat wel statistisch aangetoond kan worden is de relatie tussen 'afstand tot dunningspad' en 'penetratieweerstand'. Dit betekent dat 'penetratieweerstand' een aantoonbare parameter is voor bodemverdichting onder dunningspaden.

6. Discussie en aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In de discussie wordt gereflecteerd op de methode en worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

Vervolgonderzoek met dezelfde methode

Er is geen verband gevonden tussen boomgroei en bodemverdichting, dit kan onder andere komen door ruis in de parameter boomgroei. De oude dbh die is gebruikt om het verschil te meten is gemeten in afgeronde centimeters, in dit onderzoek is gemeten in millimeters. Dit betekent dat in de oude gegevens een meetonzekerheid zit van 0,9 cm. Dit betekent voor de uiteindelijke groeicijfers die in dit onderzoek gebruikt zijn een onzekerheid van zo'n 20% zie tabel 7.

In tabel [7] wordt een voorbeeld weergegeven van de groei van een boom. In de eerste kolom staat een dbh van 18 cm. De tweede kolom geeft weer wat de dbh kan zijn in millimeters, namelijk tussen 17,5 cm en 18,4 cm. De derde kolom is de gemeten dbh in 2019. De vierde kolom stelt de hoeveelheid groei voor. De vijfde kolom is de groeiwaarde gebruikt in dit onderzoek. Hier is te zien dat de boom in dit voorbeeld ergens tussen de 8,6 en 10,4 mm per jaar is gegroeid. In het onderzoek is uitgegaan van een groei van 9,4 mm per jaar.

	Dbh voorjaar 2015	Eigenlijke waarde	dbh najaar 2019	Absolute groei	Δ dbh/jaar	Vershil
	cm	cm	cm	cm	mm	%
Min.		17,5	22,7	5,2	10,4	110,64%
Methode	18		22,7	4,7	9,4	100%
Max.		18,4	22,7	4,3	8,6	91,49%

Tabel 7 Uitleg meetonzekerheid parameter 'boomgroei'.

In dit onderzoek is ervan uitgegaan dat de meetonzekerheid die ontstaat door het afronden op centimeters niet van grote invloed is geweest, omdat er waarschijnlijk net zo vaak naar boven als naar onder afgerond is.

De aanbevelingen voor vervolgonderzoek over dit onderwerp zijn dan ook als volgt:

- 'Meet dbh te alle tijden op in mm.'
- 'Herhaal dit onderzoek over vijf jaar, op dezelfde locaties met dezelfde bomen.' Zodat de dbh's uit 2019 vergeleken kunnen worden met gegevens uit 2025.

Vervolgonderzoek met alternatieve methode

In dit onderzoek is alleen gekeken naar kwaliteitsbomen dit had als nadeel dat de groei bepaald moest worden door dbh metingen en niet door middel van de gangbare aanwasboor omdat dit de houtkwaliteit van de kwaliteitsbomen aantast.

Bij vervolgonderzoek wordt aanbevolen niet alleen maar kijken naar kwaliteitsbomen, maar te werken vanuit één geheel bosvak. Bijvoorbeeld een vlakdekkend puntenraster uitzetten en daar alle penetratiegegevens van verzamelen. Op een dergelijke oppervlakte is op meerdere manieren groei te kwantificeren bijvoorbeeld door aanwas te boren in 'niet-' kwaliteitsbomen, topscheutlengte te meten of bijgroei te berekenen. Zo kan een vervolgonderzoek mogelijk tot nauwkeurigere resultaten komen.

Boomsoort

Bij vervolgonderzoek wordt aanbevolen om opnieuw te meten bij de boomsoort douglas (*Pseudotsuga menziesii*). Dit wordt aangeraden omdat wanneer vervolgonderzoek gedaan wordt naar

bodemverdichting en volwassen boomgroei bij een andere boomsoort, de gegevens uit dit onderzoek niet vergeleken kunnen worden.

Machinale bodem penetraties

In dit onderzoek is de penetrologger niet handmatig maar machinaal geopereerd. De ervaringen met machinale bodempenetraties zijn met zeer grote bevrediging volbracht en hebben tot preciezere meetgegevens geleid. De machine voor de machinale penetraties moet echter nog doorontwikkeld worden om hoofdzakelijk ergonomische redenen.

7. Literatuurlijst

- Akker van den, J. J. H., & Groot de, W. J. M. (2008). *Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavelen* (1450). Geraadpleegd van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/367173>
- Ampoorter, E., de Frenne, P., Hermy, M., & Verheyen, K. (2011). Impact of forest soil compaction on growth and survival of tree saplings. *Impact of forest soil compaction on growth and survival of tree saplings*. Geraadpleegd van <http://hdl.handle.net/1854/LU-4207561>
- Ampoorter, E., Goris, R., Cornelis, W. M., & Verheyen, K. (2007). Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. *Forest Ecology and Management*, 241(1–3), 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.019>
- Ares, A., Terry, T. A., Miller, R. E., Anderson, H. W., & Flaming, B. L. (2005). Ground-Based Forest Harvesting Effects on Soil Physical Properties and Douglas-Fir Growth. *Soil Science Society of America Journal*, 69(6), 1822–1832. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0331>
- Baaij de, G. (1999 januari). 1974: 25 jaar actuele mechanisatie. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*. Geraadpleegd van <https://edepot.wur.nl/267123>
- Bol, Ir. M. M. G. R. (1972, 13 september). *Gezichtspunten uit de bosbouwtechniek* [rede]. Geraadpleegd op 20 januari 2020, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/245421>
- Bottinelli, N., Capowiez, Y., & Ranger, J. (2014). Slow recovery of earthworm populations after heavy traffic in two forest soils in northern France. *Applied Soil Ecology*, 73, 130–133. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.017>
- Cate ten, J. A. M., Holst van, A. F., Kleijer, H., & Stolp, J. (1995). *Handleiding bodemgeografisch onderzoek richtlijnen en voorschriften* (380637). Geraadpleegd van <http://edepot.wur.nl/380637>
- Cambi, M., Certini, G., Neri, F., & Marchi, E. (2015). The impact of heavy traffic on forest soils: A review. *Forest Ecology and Management*, 338, 124–138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>
- Doneen, L. D., Henderson, D. W., & Ferry, G. V. (1952 september). *Soil Compaction by Tractors*. Geraadpleegd op 27 januari 2020, van <http://calag.ucanr.edu/archive/?type=pdf&article=ca.v006n09p7>
- Grandjean, A. J. (1960). *De Bosbouw in Nederland* (268128). Geraadpleegd van <http://edepot.wur.nl/268128>
- Greacen, E., & Sands, R. (1980). Compaction of forest soils. A review. *Australian Journal of Soil Research*, 18(2), 163–189. <https://doi.org/10.1071/sr9800163>
- Harry, J., & Smith, G. (1964). Root spread can be estimated from crown width of Douglas fir, lodgepole pine, and other British Columbia tree species. *The Forestry Chronicle*, 40(4), 456–473. <https://doi.org/10.5558/tfc40456-4>
- Ide, G., Hofman, G., Ossemerct, C., & Van Ruymbeke, M. (1987). Subsoiling: Time dependency of its beneficial effects. *Soil and Tillage Research*, 10(3), 213–223. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(87\)90029-8](https://doi.org/10.1016/0167-1987(87)90029-8)

- Jansson, K. J., & Johansson, J. (1998). Soil changes after traffic with a tracked and a wheeled forest machine: a case study on a silt loam in Sweden. *Forestry*, 71(1), 57–66. <https://doi.org/10.1093/forestry/71.1.57>
- John Deere. (2020). *1470G Wheeled Harvester*. Geraadpleegd op 27 januari 2020, van <https://www.deere.com/en/wheeled-harvesters/1470g/>
- Jong de, J. J., Akker van de, J. J. H., & Kiestra, E. (2007). *Bodembeschadiging bij houtoogst met harvesters* (Alterra-rapport 1476). Geraadpleegd van <http://edepot.wur.nl/40540>
- Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R., & Or, D. (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research*, 194, 104293. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>
- Kozłowski, T. T. (1999). Soil Compaction and Growth of Woody Plants. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14(6), 596–619. <https://doi.org/10.1080/02827589908540825>
- Kremers, J., & Boosten, M. (2018). *Soil compaction and deformation in forest exploitation*. Geraadpleegd van http://probos.nl/images/pdf/rapporten/Rap2018_soil_compaction_and_deformation_in_forest_exploitation.pdf
- Lull, H. W. (1959). *Soil Compaction on Forest and Range Lands*. Geraadpleegd van <https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=OSsuAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=forest+soil+compaction&ots=WMqIToghSA&sig=G20mT9ozkvyqDNZdhrUvDJU7NQg#v=onepage&q&f=false>
- Nabuurs, G. J. M. M., & Lerink, B. (2019, 13 augustus). *Grove den en Douglasspar niet gegroeid door droogte 2018*. Geraadpleegd op 10 februari 2020, van <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/show-wenr/Grove-den-en-Douglasspar-niet-gegroeid-door-droogte-2018-Bas-Lerink-bij-NOS-Journaal-over-de-impact.htm>
- Marshall, V. G. (2000). Impacts of forest harvesting on biological processes in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133(1–2), 43–60. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(99\)00297-2](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(99)00297-2)
- Miransari, M. (2014). Mycorrhizal Fungi to Alleviate Compaction Stress on Plant Growth. *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses*, 165–174. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0721-2_10
- Olsen, H. J. (1988). Technology showcase electronic penetrometer for field tests. *Journal of Terramechanics*, 25(4), 287–293. [https://doi.org/10.1016/0022-4898\(88\)90042-0](https://doi.org/10.1016/0022-4898(88)90042-0)
- Potvliet, G., & Delforterie, W. (2016). *Impact van gemechaniseerde houtoogst op de bosbodem & effecten van het werken met dunningspaden*. Geraadpleegd van <https://bosgroepen.nl/wp-content/uploads/2016/02/Rapport-dunningspaden.pdf>
- Schäffer, J. (2002 januari). Befahren von Waldböden – ein Kavaliersdelikt? *Der Waldwirt*, 29(12). Geraadpleegd van https://www.waldwissen.net/technik/holzernte/boden/fva_kavaliersdelikt/index_DE
- Schjønning, P., Lamandé, M., Munkholm, L. J., Lyngvig, H. S., & Nielsen, J. Aa. (2016). Soil precompression stress, penetration resistance and crop yields in relation to differently-trafficked, temperate-region sandy loam soils. *Soil and Tillage Research*, 163, 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.003>

Soane, B. D., & Ouwerkerk, C. (1994). *Soil Compaction in Crop Production*. Amsterdam, Nederland: Elsevier.

Unger, P. W., & Kaspar, T. C. (1993). Soil Compaction and Root Growth: A Review. *Agronomy Journal*, 86(5), 759–766. <https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600050004x>

Vos de, B. (2005). *Bodemverdichting en de invloed op de natuurlijke verjonging van Beuk in het Zoniënwood*. Geraadpleegd van <https://www.vlaanderen.be/publicaties/bodemverdichting-en-de-invloed-op-de-natuurlijke-verjonging-van-beuk-inhet-zonienwoud>

Vreken van de, P., Holm van, L., Diels, J., & Orshoven van, J. (2009). *Bodemverdichting in Vlaanderen en afbakening van risicogebieden voor bodemverdichting*. Geraadpleegd van <https://www.vlaanderen.be/publicaties/bodemverdichting-in-vlaanderen-en-afbakening-van-risicogebieden-voor-bodemverdichting>

Vries de, G., & Soesbergen van, G. A. (1980). *Een literatuuronderzoek naar bodemverdichting, hun karakteristieken en hun invloed op wortelgroei* (6599). Geraadpleegd van <https://edepot.wur.nl/342709>

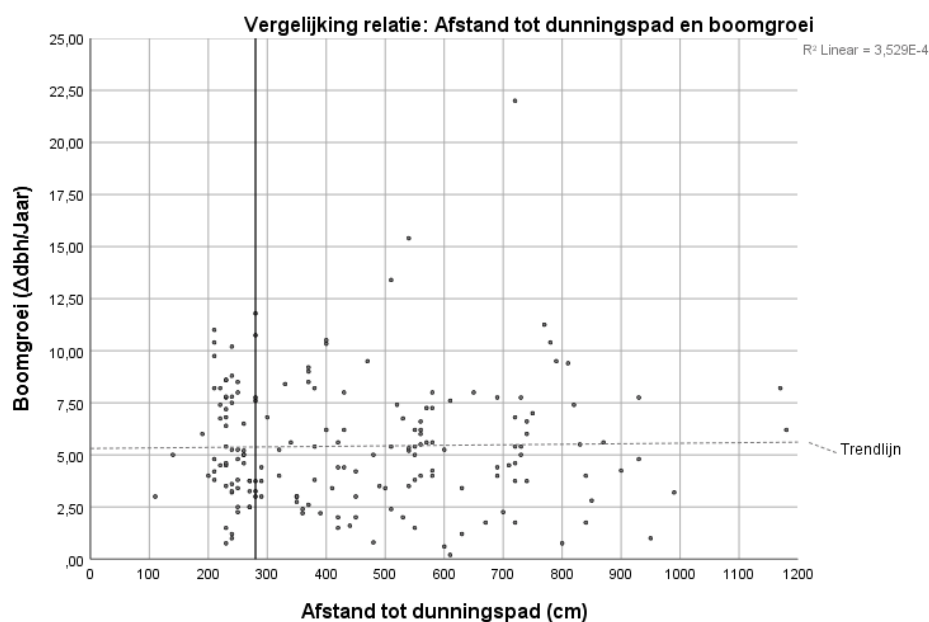
Wilhelm, G. J., & Rieger, H. (2013). *Naturnahe Waldwirtschaft : mit der QD-Strategie : eine Strategie für den qualitätsgeleiteten und schonenden Gebrauch des Waldes unter Achtung der gesamten Lebewelt*. Hohenheim, Deutschland: Ulmer.

Yashiro, Y., Kadir, W. R., Okuda, T., & Koizumi, H. (2008). The effects of logging on soil greenhouse gas (CO₂, CH₄, N₂O) flux in a tropical rain forest, Peninsular Malaysia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(5), 799–806. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.01.010>

Youngberg, C. T. (1959). The Influence of Soil Conditions, Following Tractor Logging, on the Growth of Planted douglas-Fir Seedlings¹. *Soil Science Society of America Journal*, 23(1), 76. <https://doi.org/10.2136/sssaj1959.03615995002300010028x>

Bijlagen

Bijlage 1: Data-analyse relatie A: boomgroei en afstand tot pad



Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Afstand_tot_dunningspad ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: toenamedbhperjaar

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,019 ^a	,000	-,005	3,02211

a. Predictors: (Constant), Afstand_tot_dunningspad

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,558	1	,558	,061	,805 ^b
	Residual	1580,030	173	9,133		
	Total	1580,588	174			

a. Dependent Variable: toenamedbhperjaar

b. Predictors: (Constant), Afstand_tot_dunningspad

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	5,308	,519			10,224	,000
	Afstand_tot_dunningspad	,000	,001	,019		,247	,805

a. Dependent Variable: toenamedbhperjaar

T-test

Groep Selected= bomen die wortels hebben onder het bandenspoor= afstand tot dunningspad <280

Groep Not Selected= bomen waarvan de wortel niet groeien onder het bandenspoor afstand tot pad > 280

Group Statistics

Group Statistics					
	Afstand_tot_dunningspad			Std.	Std. Error
	> 280 (FILTER)	N	Mean	Deviation	Mean
toenamedbhperjaar	Selected	112	5,3426	3,19342	,30175
	Not Selected	63	5,5659	2,68389	,33814

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Toename dbh per jaar	Equal variances assumed	,017	,896	-,469	173	,639	-,22331	,47572	-1,16227	,71564
	Equal variances not assumed			-,493	147,735	,623	-,22331	,45320	-1,11891	,67228

Geen significante relatie SIG. <0,05 Wanneer de bomen verdeeld worden in twee groepen.

Bijlage 2: Data-analyse relatie B: afstand tot pad en penetratieweerstand

	<100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	>1000	
0	0.05	0.01	0.02	0.00	0.06	0.04	0.06	0.14	0.03	0.21	0.18	0.03	0.06	0.01	0.15	0.07	0.16	0.07	0.03	0.01	0.03	0.06	0.08	0.08	0.06	0.08	0.05	0.09	0.03	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	0.00	0.08	
1	0.05	0.01	0.02	0.00	0.13	0.08	0.07	0.23	0.04	0.25	0.18	0.03	0.08	0.01	0.18	0.10	0.22	0.09	0.06	0.01	0.06	0.08	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.05	0.09	0.08	0.07	0.07	0.00	0.11	
2	0.48	0.05	0.05	0.05	0.18	0.15	0.11	0.30	0.09	0.29	0.23	0.03	0.14	0.04	0.20	0.14	0.23	0.11	0.08	0.05	0.13	0.14	0.14	0.12	0.14	0.15	0.12	0.16	0.11	0.11	0.11	0.05	0.09	0.10	0.10	0.08	0.18
3	0.53	0.40	0.08	0.09	0.28	0.22	0.15	0.39	0.20	0.41	0.28	0.10	0.19	0.06	0.25	0.18	0.28	0.22	0.20	0.15	0.18	0.24	0.23	0.20	0.20	0.22	0.19	0.26	0.26	0.15	0.18	0.17	0.15	0.17	0.15	0.27	
4	0.53	0.42	0.47	0.16	0.40	0.31	0.25	0.44	0.36	0.54	0.41	0.19	0.28	0.15	0.33	0.22	0.39	0.30	0.30	0.25	0.24	0.35	0.34	0.28	0.33	0.29	0.29	0.42	0.34	0.25	0.30	0.28	0.23	0.26	0.22	0.33	
5	0.50	0.56	0.52	0.37	0.48	0.44	0.42	0.57	0.49	0.58	0.50	0.27	0.38	0.23	0.37	0.36	0.49	0.37	0.46	0.32	0.40	0.43	0.44	0.37	0.39	0.39	0.42	0.52	0.46	0.36	0.42	0.46	0.33	0.40	0.28	0.41	
6	0.70	0.77	0.83	0.55	0.79	0.72	0.61	0.73	0.59	0.64	0.55	0.36	0.58	0.31	0.45	0.50	0.59	0.42	0.62	0.43	0.49	0.53	0.53	0.46	0.45	0.50	0.57	0.55	0.46	0.53	0.59	0.47	0.49	0.33	0.51		
7	0.78	1.21	1.08	0.83	1.07	1.02	0.74	0.94	0.74	0.74	0.67	0.46	0.69	0.41	0.58	0.60	0.69	0.48	0.64	0.50	0.52	0.57	0.59	0.53	0.50	0.57	0.63	0.63	0.54	0.60	0.67	0.58	0.58	0.52	0.63		
8	0.82	1.47	1.23	0.92	1.22	1.19	0.91	1.03	0.86	0.82	0.74	0.57	0.74	0.49	0.65	0.63	0.79	0.56	0.67	0.58	0.53	0.63	0.63	0.57	0.55	0.58	0.66	0.65	0.64	0.59	0.68	0.72	0.67	0.63	0.55	0.66	
9	0.90	1.57	1.27	1.05	1.28	1.29	1.02	1.10	0.95	0.84	0.78	0.63	0.81	0.58	0.72	0.70	0.91	0.63	0.69	0.59	0.54	0.66	0.64	0.60	0.57	0.63	0.74	0.65	0.67	0.60	0.72	0.72	0.69	0.70	0.65	0.68	
10	0.85	1.74	1.32	1.12	1.29	1.30	1.05	1.16	1.00	0.81	0.84	0.64	0.91	0.66	0.80	0.78	0.92	0.72	0.74	0.60	0.54	0.67	0.67	0.64	0.59	0.62	0.79	0.64	0.69	0.63	0.74	0.71	0.67	0.71	0.72	0.71	
11	0.88	1.79	1.40	1.16	1.32	1.37	1.10	1.16	1.04	0.77	0.88	0.67	0.95	0.75	0.83	0.80	0.92	0.75	0.77	0.57	0.68	0.66	0.64	0.61	0.65	0.75	0.66	0.69	0.63	0.77	0.72	0.68	0.76	0.80	0.74		
12	0.98	1.84	1.47	1.24	1.31	1.42	1.14	1.10	1.12	0.83	0.87	0.73	0.99	0.78	0.82	0.80	0.84	0.78	0.78	0.58	0.54	0.68	0.68	0.66	0.64	0.74	0.78	0.72	0.69	0.73	0.77	0.73	0.70	0.73	0.97	0.75	
13	0.98	1.95	1.55	1.29	1.45	1.55	1.23	1.28	1.18	0.90	0.88	0.80	1.00	0.86	0.83	0.80	0.84	0.78	0.78	0.63	0.61	0.69	0.70	0.67	0.67	0.80	0.83	0.81	0.74	0.81	0.76	0.73	0.76	0.74	0.93	0.80	
14	1.18	2.06	1.65	1.32	1.49	1.59	1.30	1.32	1.19	0.96	0.97	0.83	1.16	0.90	0.88	0.80	0.83	0.87	0.82	0.71	0.65	0.71	0.71	0.69	0.72	0.86	0.87	0.85	0.79	0.85	0.80	0.76	0.81	0.79	0.93	0.89	
15	1.23	2.13	1.78	1.35	1.54	1.60	1.30	1.36	1.21	1.02	0.92	0.87	1.28	0.91	0.90	0.78	0.89	0.91	0.86	0.80	0.66	0.73	0.73	0.77	0.91	0.92	0.93	0.88	0.94	0.79	0.78	0.86	0.88	1.00	0.97		
16	1.38	2.12	1.87	1.50	1.57	1.60	1.33	1.37	1.25	1.04	0.92	0.90	1.35	0.96	0.92	0.85	0.97	0.88	0.89	0.86	0.75	0.77	0.77	0.87	0.91	1.01	1.01	0.94	1.00	0.83	0.82	0.87	0.95	1.08	1.06		
17	1.33	2.12	1.90	1.53	1.58	1.64	1.44	1.43	1.28	0.97	0.89	0.95	1.41	0.97	0.99	0.96	1.01	0.96	0.91	0.97	0.73	0.79	0.79	0.84	0.94	0.96	1.05	1.07	0.99	1.08	0.88	0.87	0.92	1.07	1.15	1.15	
18	1.40	2.17	1.95	1.57	1.65	1.68	1.53	1.49	1.30	1.00	0.95	1.03	1.46	1.00	1.06	0.97	1.07	1.03	0.88	1.01	0.85	0.84	0.81	0.91	0.98	1.02	1.09	1.07	1.05	1.14	0.90	0.94	0.93	1.27	1.16		
19	1.43	2.14	2.13	1.58	1.66	1.70	1.59	1.54	1.32	1.09	1.03	1.04	1.49	1.05	1.13	0.98	1.10	1.13	0.89	1.04	0.90	0.88	0.85	0.95	1.01	1.07	1.13	1.07	1.09	1.20	0.92	0.96	0.94	1.08	1.30	1.16	
20	1.40	2.09	2.15	1.61	1.67	1.69	1.62	1.57	1.31	1.15	1.09	1.04	1.53	1.08	1.19	1.00	1.07	1.14	1.07	0.99	0.90	0.89	0.89	1.06	1.15	1.18	1.10	1.10	1.28	1.00	0.95	0.97	1.12	1.32	1.18		
21	1.40	2.08	2.18	1.60	1.72	1.71	1.64	1.63	1.30	1.18	1.15	1.09	1.54	1.13	1.21	1.06	1.06	1.22	0.96	1.03	1.04	0.96	0.93	1.06	1.09	1.22	1.27	1.15	1.12	1.32	1.01	0.92	0.98	1.24	1.30	1.23	
22	1.50	1.97	2.17	1.60	1.79	1.77	1.66	1.67	1.37	1.32	1.13	1.20	1.54	1.19	1.26	1.13	1.09	1.32	0.98	1.02	1.15	1.00	0.97	1.16	1.11	1.27	1.30	1.18	1.16	1.36	1.03	0.96	1.02	1.27	1.35	1.28	
23	2.15	2.00	2.13	1.56	1.75	1.74	1.66	1.63	1.43	1.37	1.11	1.23	1.59	1.23	1.29	1.19	1.11	1.36	1.01	1.05	1.19	1.04	1.00	1.24	1.16	1.31	1.33	1.21	1.25	1.35	1.08	1.02	1.04	1.28	1.37	1.29	
24	2.28	2.03	2.13	1.57	1.78	1.76	1.67	1.65	1.46	1.39	1.12	1.21	1.60	1.20	1.29	1.23	1.16	1.37	1.01	1.09	1.19	1.04	1.04	1.24	1.12	1.32	1.34	1.20	1.22	1.35	1.11	1.03	1.07	1.31	1.50	1.33	
25	2.30	2.00	2.10	1.61	1.79	1.78	1.73	1.64	1.49	1.44	1.15	1.19	1.70	1.22	1.30	1.21	1.29	1.35	1.02	1.10	1.19	1.05	1.14	1.31	1.24	1.37	1.34	1.20	1.26	1.35	1.12	1.04	1.10	1.39	1.42	1.32	
26	1.83	2.04	2.08	1.61	1.85	1.85	1.78	1.71	1.49	1.50	1.22	1.19	1.79	1.27	1.40	1.23	1.18	1.43	1.03	1.15	1.14	1.05	1.23	1.36	1.27	1.41	1.37	1.24	1.26	1.33	1.13	1.10	1.10	1.45	1.38	1.34	
27	1.75	2.03	2.13	1.63	1.88	1.92	1.86	1.72	1.41	1.60	1.25	1.25	1.78	1.30	1.48	1.25	1.15	1.47	1.02	1.21	1.11	1.11	1.22	1.41	1.28	1.46	1.41	1.33	1.36	1.36	1.17	1.13	1.07	1.45	1.35	1.37	
28	1.88	2.00	2.20	1.65	1.91	1.91	1.94	1.71	1.39	1.65	1.25	1.36	1.81	1.36	1.58	1.38	1.23	1.56	1.06	1.34	1.14	1.13	1.28	1.45	1.29	1.49	1.44	1.39	1.34	1.38	1.23	1.20	1.50	1.20	1.41		
29	1.78	2.15	2.37	1.67	1.98	1.96	2.01	1.72	1.46	1.69	1.23	1.38	1.93	1.36	1.46	1.41	1.34	1.58	1.11	1.38	1.14	1.17	1.34	1.49	1.33	1.54	1.50	1.46	1.39	1.41	1.26	1.19	1.13	1.55	1.18	1.61	
30	1.78	2.12	2.43	1.73	2.06	2.04	1.98	1.71	1.59	1.73																											

[illegible]

<2,5 Mpa Goed doorwortelbaar

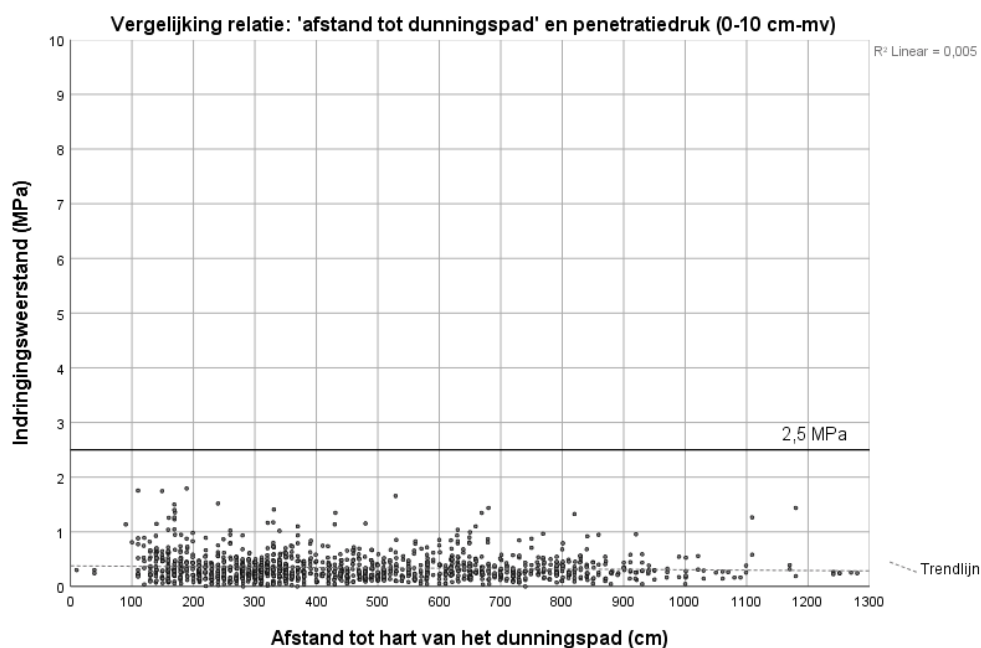
>2,5 MPa Wortels kunnen problemen ondervinden

>3 MPa Wortels ondervinden groeiproblemen

>5 MPa Ondoorswortelbaar

	<60	180	300	400	500	600	700	800	900	1000	>1000		In	Naast
Gem.0	0,00	0,04	0,06	0,05	0,05	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04	0,08	Gem.0	0,05	0,05
Gem.1	0,00	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04	0,08	Gem.1	0,07	0,07
Gem.2	0,00	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,07	0,08	0,06	0,11		Gem.2	0,10	0,09
Gem.3	0,03	0,15	0,12	0,14	0,13	0,14	0,14	0,10	0,09	0,10	0,18	Gem.3	0,15	0,13
Gem.4	0,10	0,24	0,19	0,24	0,20	0,21	0,26	0,16	0,16	0,17	0,27	Gem.4	0,23	0,21
Gem.5	0,23	0,33	0,28	0,34	0,31	0,29	0,39	0,28	0,27	0,25	0,33	Gem.5	0,34	0,31
Gem.6	0,37	0,47	0,38	0,44	0,38	0,40	0,50	0,39	0,42	0,38	0,41	Gem.6	0,47	0,41
Gem.7	0,53	0,66	0,48	0,53	0,46	0,50	0,56	0,50	0,55	0,46	0,51	Gem.7	0,65	0,51
Gem.8	0,60	0,89	0,57	0,58	0,51	0,57	0,63	0,58	0,64	0,57	0,63	Gem.8	0,86	0,58
Gem.9	0,60	1,03	0,63	0,63	0,56	0,62	0,65	0,63	0,70	0,61	0,66	Gem.9	0,99	0,63
Gem.10	0,63	1,12	0,68	0,65	0,58	0,67	0,66	0,66	0,71	0,69	0,68	Gem.10	1,08	0,66
Gem.11	0,60	1,18	0,73	0,67	0,61	0,70	0,66	0,68	0,70	0,71	0,71	Gem.11	1,12	0,68
Gem.12	0,60	1,22	0,75	0,67	0,63	0,69	0,67	0,73	0,71	0,77	0,74	Gem.12	1,15	0,70
Gem.13	0,73	1,28	0,76	0,68	0,65	0,76	0,71	0,75	0,72	0,78	0,75	Gem.13	1,21	0,72
Gem.14	0,87	1,37	0,80	0,69	0,67	0,81	0,78	0,79	0,74	0,78	0,80	Gem.14	1,29	0,75
Gem.15	1,07	1,42	0,85	0,71	0,71	0,86	0,82	0,83	0,78	0,82	0,89	Gem.15	1,34	0,79
Gem.16	1,13	1,45	0,89	0,73	0,75	0,91	0,91	0,87	0,80	0,91	0,97	Gem.16	1,36	0,84
Gem.17	1,17	1,49	0,93	0,76	0,82	0,97	0,98	0,92	0,84	0,98	1,06	Gem.17	1,41	0,89
Gem.18	1,17	1,54	0,97	0,79	0,90	1,00	1,03	0,98	0,89	1,01	1,15	Gem.18	1,45	0,93
Gem.19	1,17	1,60	1,02	0,83	0,95	1,05	1,06	1,02	0,94	1,05	1,16	Gem.19	1,50	0,98
Gem.20	1,17	1,63	1,06	0,87	0,98	1,10	1,07	1,07	0,95	1,13	1,16	Gem.20	1,55	1,01
Gem.21	1,13	1,64	1,09	0,90	1,02	1,16	1,10	1,15	0,96	1,18	1,18	Gem.21	1,57	1,05
Gem.22	1,07	1,66	1,13	0,95	1,08	1,24	1,13	1,18	0,94	1,25	1,23	Gem.22	1,59	1,09
Gem.23	1,10	1,69	1,18	0,99	1,13	1,28	1,17	1,21	0,98	1,28	1,28	Gem.23	1,63	1,14
Gem.24	1,23	1,69	1,22	1,03	1,20	1,32	1,21	1,23	1,02	1,29	1,29	Gem.24	1,63	1,17
Gem.25	1,20	1,72	1,23	1,04	1,23	1,33	1,22	1,24	1,04	1,35	1,33	Gem.25	1,65	1,19
Gem.26	1,23	1,74	1,24	1,08	1,28	1,36	1,23	1,25	1,06	1,39	1,32	Gem.26	1,68	1,22
Gem.27	1,27	1,76	1,27	1,11	1,31	1,39	1,24	1,10	1,44	1,34		Gem.27	1,71	1,24
Gem.28	1,27	1,78	1,31	1,15	1,35	1,44	1,28	1,11	1,46	1,37		Gem.28	1,74	1,28
Gem.29	1,23	1,80	1,38	1,18	1,36	1,47	1,37	1,32	1,16	1,44	1,41	Gem.29	1,76	1,32
Gem.30	1,13	1,86	1,40	1,23	1,40	1,52	1,43	1,35	1,18	1,48	1,61	Gem.30	1,81	1,37
Gem.31	1,17	1,88	1,46	1,28	1,44	1,62	1,49	1,36	1,23	1,60	1,64	Gem.31	1,85	1,42
Gem.32	1,57	1,87	1,56	1,31	1,46	1,66	1,55	1,43	1,24	1,64	1,60	Gem.32	1,85	1,47
Gem.33	1,93	1,91	1,57	1,34	1,50	1,65	1,58	1,43	1,27	1,68	1,59	Gem.33	1,92	1,49
Gem.34	1,93	1,97	1,61	1,39	1,52	1,63	1,46	1,34	1,68	1,56		Gem.34	2,00	1,53
Gem.35	1,90	1,99	1,65	1,44	1,57	1,69	1,72	1,45	1,37	1,68	1,53	Gem.35	2,03	1,57
Gem.36	1,63	2,00	1,70	1,51	1,61	1,73	1,81	1,48	1,42	1,62	1,51	Gem.36	2,04	1,62
Gem.37	1,50	2,13	1,73	1,57	1,68	1,75	1,79	1,52	1,51	1,72	1,56	Gem.37	2,14	1,66
Gem.38	1,50	2,21	1,77	1,59	1,73	1,77	1,78	1,53	1,59	1,83	1,59	Gem.38	2,19	1,69
Gem.39	1,53	2,25	1,81	1,61	1,79	1,85	1,83	1,58	1,69	1,88	1,64	Gem.39	2,23	1,74
Gem.40	1,77	2,30	1,91	1,70	1,88	1,91	1,91	1,64	1,79	1,91	1,70	Gem.40	2,32	1,82
Gem.41	1,83	2,31	1,99	1,75	1,91	1,98	1,89	1,72	1,94	1,98	1,76	Gem.41	2,37	1,88
Gem.42	1,93	2,34	2,02	1,79	1,93	2,05	1,92	1,80	1,91	2,07	1,79	Gem.42	2,35	1,91
Gem.43	2,03	2,42	2,08	1,87	1,96	2,13	2,02	1,95	1,94	2,13	1,86	Gem.43	2,40	1,99
Gem.44	2,10	2,51	2,12	1,95	1,98	2,17	2,07	2,01	2,00	2,15	1,92	Gem.44	2,49	2,04
Gem.45	2,10	2,59	2,22	2,06	1,99	2,19	2,18	2,05	2,05	2,18	1,96	Gem.45	2,58	2,11
Gem.46	2,17	2,70	2,35	2,16	2,14	2,29	2,32	2,15	2,11	2,25	1,99	Gem.46	2,71	2,22
Gem.47	2,27	2,78	2,48	2,23	2,16	2,35	2,42	2,18	2,23	2,34	2,00	Gem.47	2,81	2,30
Gem.48	2,33	2,86	2,62	2,33	2,29	2,46	2,51	2,30	2,36	2,30	2,05	Gem.48	2,88	2,42
Gem.49	2,47	2,92	2,77	2,41	2,43	2,54	2,59	2,34	2,42	2,31	2,21	Gem.49	2,95	2,51
Gem.50	2,70	3,01	2,85	2,53	2,50	2,67	2,67	2,43	2,49	2,39	2,35	Gem.50	3,05	2,60
Gem.51	2,70	3,09	2,82	2,64	2,51	2,72	2,75	2,53	2,55	2,40	2,41	Gem.51	3,08	2,65
Gem.52	2,73	3,20	2,82	2,74	2,51	2,90	2,84	2,71	2,71	2,71	2,48	Gem.52	3,19	2,75
Gem.53	2,80	3,34	3,04	2,88	2,60	3,05	2,95	2,91	2,89	2,57	2,56	Gem.53	3,32	2,89
Gem.54	2,80	3,38	3,15	2,97	2,57	3,17	3,02	2,98	3,04	2,73	2,64	Gem.54	3,39	2,97
Gem.55	2,47	3,36	3,29	3,16	3,22	3,14	3,05	3,20	2,78	2,69		Gem.55	3,38	3,08
Gem.56	2,50	3,45	3,31	3,27	2,69	3,20	3,30	3,07	3,31	2,80	2,71	Gem.56	3,42	3,15
Gem.57	2,27	3,47	3,40	3,38	2,71	3,26	3,39	3,14	3,37	2,96	2,48	Gem.57	3,45	3,22
Gem.58	2,23	3,54	3,52	3,45	2,77	3,30	3,49	3,21	3,38	3,09	2,50	Gem.58	3,52	3,30
Gem.59	2,13	3,65	3,69	3,53	2,80	3,33	3,43	3,33	3,47	3,11	2,51	Gem.59	3,64	3,37
Gem.60	2,10	3,72	3,85	3,59	2,87	3,23	3,39	3,42	3,58	3,21	2,55	Gem.60	3,72	3,43
Gem.61	2,10	3,78	3,95	3,68	2,97	3,28	3,27	3,52	3,38	3,29	2,57	Gem.61	3,79	3,50
Gem.62	2,10	3,92	4,04	3,79	3,04	3,41	3,33	3,58	3,36	3,46	2,61	Gem.62	3,92	3,60
Gem.63	1,97	3,99	4,12	3,84	3,20	3,51	3,47	3,47	3,46	3,37	2,63	Gem.63	3,99	3,67
Gem.64	1,98	4,07	4,27	4,06	3,19	3,57	3,56	3,50	4,30	3,44	2,74	Gem.64	4,06	3,76
Gem.65	1,97	4,15	4,16	4,14	3,25	3,68	3,72	3,66	4,16	3,58	2,84	Gem.65	4,15	3,82
Gem.66	2,03	4,26	4,14	4,24	3,38	3,67	3,72	3,77	4,39	3,76	2,99	Gem.66	4,26	3,89
Gem.67	2,27	4,26	4,24	4,29	3,45	3,77	3,81	3,92	4,56	3,84	3,22	Gem.67	4,26	3,99
Gem.68	2,23	4,28	4,29	4,41	3,63	3,81	3,85	4,09	4,62	3,93	3,44	Gem.68	4,29	4,09
Gem.69	2,57	4,32	4,35	4,47	3,72	3,92	3,79	4,22	4,63	4,04	3,65	Gem.69	4,34	4,15
Gem.70	2,57	4,40	4,44	4,48	3,81	3,90	3,94	4,27	4,65	4,19	3,96	Gem.70	4,43	4,22
Gem.71	2,63	4,49	4,53	4,46	3,94	3,95	4,05	4,28	4,65	4,09	4,28	Gem.71	4,54	4,27
Gem.72	2,73	4,58	4,55	4,48	4,10	3,97	4,01	4,36	4,60	4,15	4,56	Gem.72	4,63	4,31
Gem.73	2,71	4,62	4,60	4,53	4,25	4,08	4,04	4,42	4,59	4,30	4,85	Gem.73	4,68	4,39
Gem.74	2,51	4,66	4,67	4,56	4,26	4,20	4,14	4,63	4,71	4,56	4,84	Gem.74	4,72	4,46
Gem.75	2,57	4,69	4,75	4,54	4,29	4,36	4,26	4,79	4,81	4,79	4,70	Gem.75	4,72	4,46
Gem.76	2,43	4,75	4,83	4,65	4,31	4,16	4,39	4,82	4,81	4,92	4,96	Gem.76	4,78	4,59
Gem.77	2,30	4,79	4,91	4,69	4,43	4,24	4,38	4,89	4,87	5,09	5,01	Gem.77	4,82	4,65
Gem.78	2,30	4,95	4,95	4,95	4,63	4,48	4,40	4,44	5,08	5,04	5,12	Gem.78	5,01	4,70
Gem.79	2,33	5,03	4,96	4,53	4,63	4,32	4,48	5,13	5,02	5,38	4,99	Gem.79	5,09	4,71
Gem.80	2,30	5,01	4,97	4,49	4,63	4,45	4,61	5,18	5,21	5,41	5,19	Gem.80	5,07	4,76

	<60	180	300	400	500	600	700	800	900	1000	>1000		In Spoor	Naast
0-10	0.28	0.46	0.32	0.34	0.30	0.33	0.36	0.31	0.34	0.31	0.36	0-10	0.46	0.33
11-20	0.97	1.42	0.87	0.74	0.77	0.88	0.87	0.86	0.81	0.89	0.94	11-20	1.41	0.83
21-30	1.19	1.73	1.24	1.07	1.24	1.35	1.24	1.24	1.06	1.36	1.33	21-30	1.73	1.21
31-40	1.64	2.05	1.68	1.47	1.61	1.73	1.71	1.47	1.45	1.72	1.59	31-40	2.05	1.60
41-50	2.19	2.65	2.35	2.11	2.13	2.28	2.26	2.06	2.15	2.20	1.99	41-50	2.65	2.20
51-60	2.46	3.42	3.30	3.16	2.66	3.13	3.17	2.98	3.15	2.81	2.56	51-60	3.42	3.08
61-70	2.18	4.14	4.18	4.14	3.35	3.65	3.64	3.74	4.29	3.68	3.05	61-70	4.14	3.86
71-80	2.49	4.74	4.75	4.55	4.32	4.21	4.26	4.67	4.81	4.77	4.81	71-80	4.74	4.52



Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Gem_0tot10 ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,071 ^a	,005	,004	238,210

a. Predictors: (Constant), Gem_0tot10

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	374222,218	1	374222,218	6,595	,010 ^b
	Residual	74334722,562	1310	56744,063		
	Total	74708944,780	1311			

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

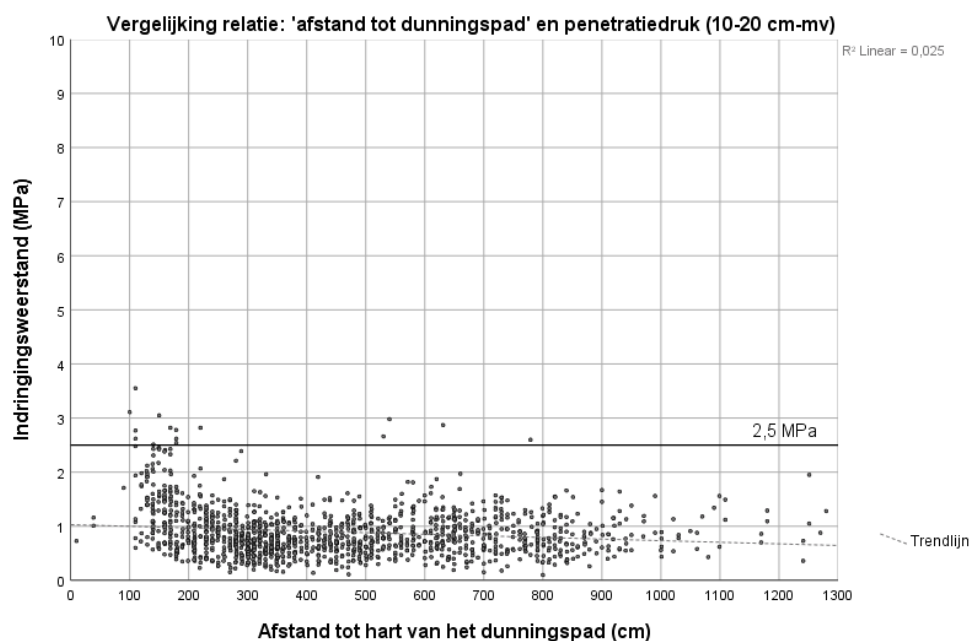
b. Predictors: (Constant), Gem_0tot10

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	480,731	11,591		41,474	,000
	Gem_0tot10	-71,090	27,682	-,071	-2,568	,010

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

Trendlijn voor 0-10 is significant



Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Gem_11tot20 ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,157 ^a	,025	,024	235,829

a. Predictors: (Constant), Gem_11tot20

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1852684,518	1	1852684,518	33,312	,000 ^b
	Residual	72856260,263	1310	55615,466		
	Total	74708944,780	1311			

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

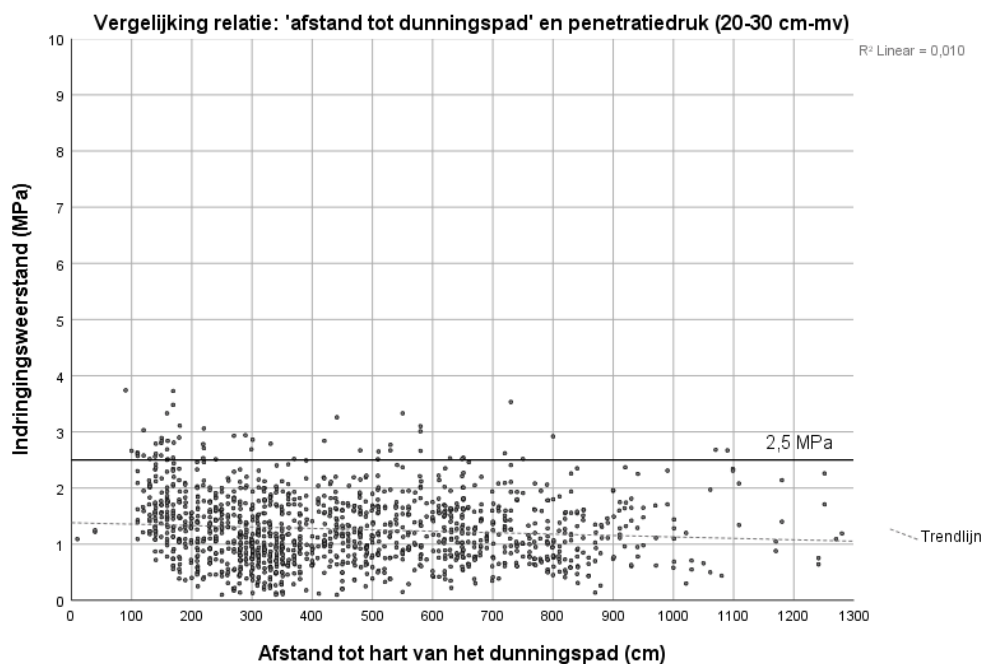
b. Predictors: (Constant), Gem_11tot20

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	531,261	14,541		36,536	,000
	Gem_11tot20	-83,891	14,535	-,157	-5,772	,000

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

Dit is een significante trendlijn



Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Gem_21tot30 ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,099 ^a	,010	,009	237,632

a. Predictors: (Constant), Gem_21tot30

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	734703,459	1	734703,459	13,011	,000 ^b
	Residual	73974241,322	1310	56468,887		
	Total	74708944,780	1311			

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

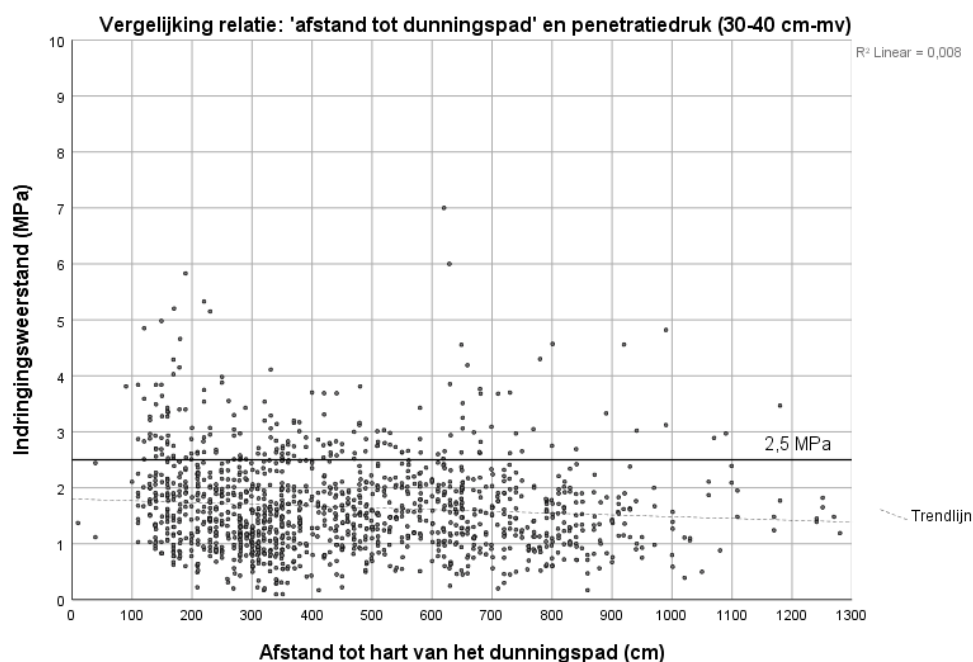
b. Predictors: (Constant), Gem_21tot30

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	505,517	15,160		33,345	,000
	Gem_21tot30	-38,918	10,789	-,099	-3,607	,000

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

Deze is ook significant



Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Gem_31tot40 ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,092 ^a	,008	,008	237,853

a. Predictors: (Constant), Gem_31tot40

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	629233,267	1	629233,267	11,122	,001 ^b
	Residual	74055600,039	1309	56574,179		
	Total	74684833,306	1310			

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

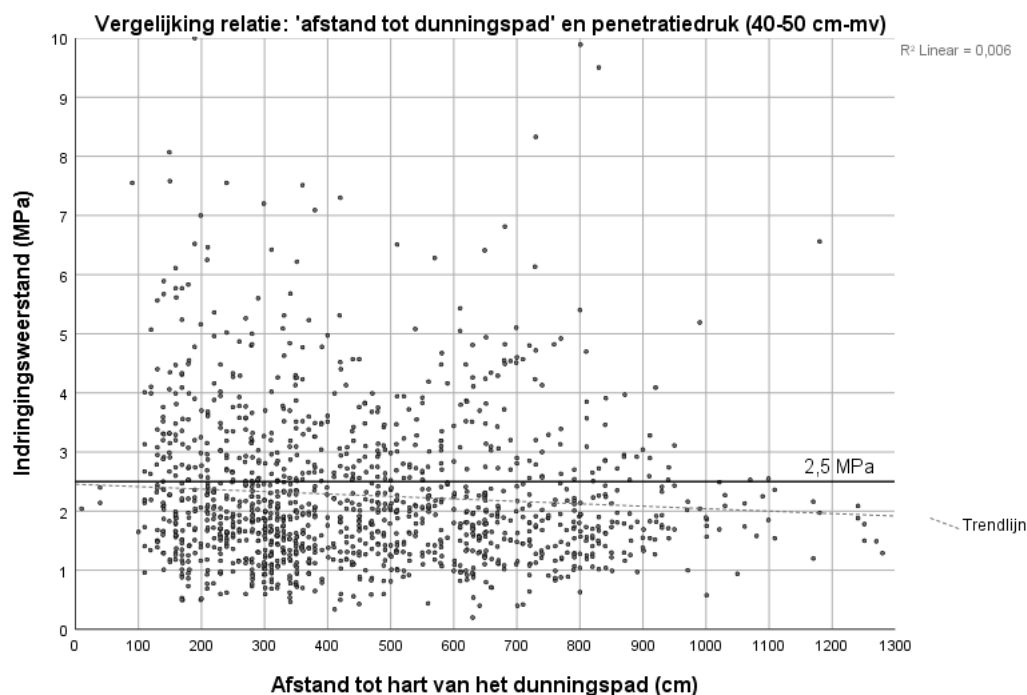
b. Predictors: (Constant), Gem_31tot40

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	500,414	14,759		33,906	,000
	Gem_31tot40	-26,628	7,984	-,092	-3,335	,001

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

Deze is ook significant



Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Gem_41tot50 ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,078 ^a	,006	,005	238,313

a. Predictors: (Constant), Gem_41tot50

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	458019,049	1	458019,049	8,065	,005 ^b
	Residual	74058415,074	1304	56793,263		
	Total	74516434,123	1305			

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

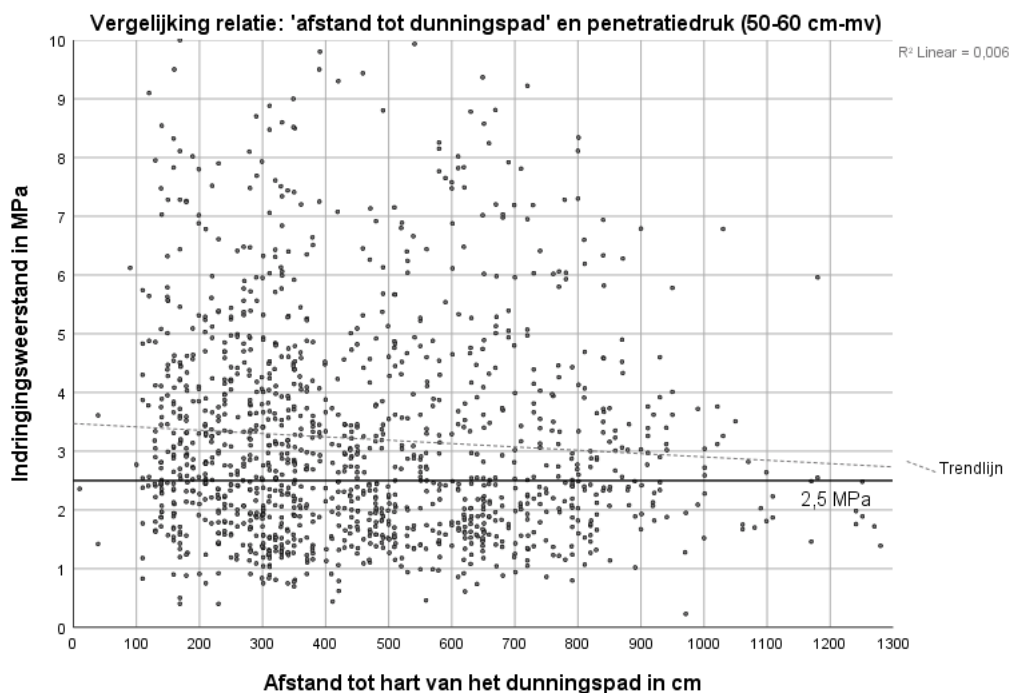
b. Predictors: (Constant), Gem_41tot50

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	489,779	13,566		36,102	,000
	Gem_41tot50	-14,854	5,231	-,078	-2,840	,005

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

Wel significant



Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Gem_51tot60 ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,074 ^a	,006	,005	238,636

a. Predictors: (Constant), Gem_51tot60

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	409056,415	1	409056,415	7,183	,007 ^b
	Residual	73347769,861	1288	56947,026		
	Total	73756826,276	1289			

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

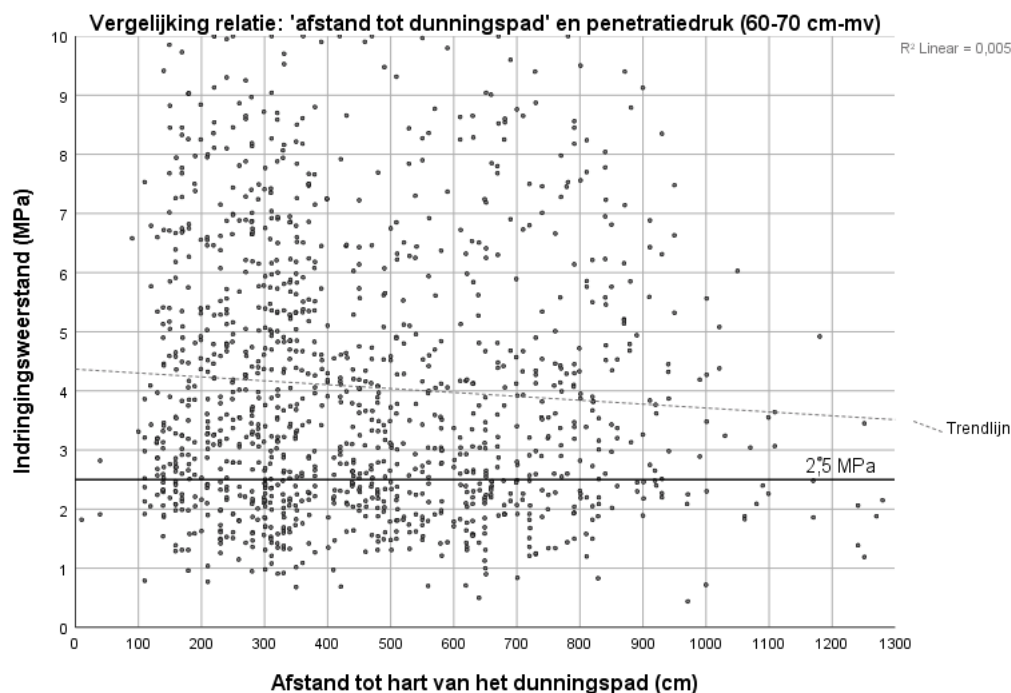
b. Predictors: (Constant), Gem_51tot60

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	488,541	13,456		36,306	,000
	Gem_51tot60	-9,768	3,644	-,074	-2,680	,007

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

significante trendlijn



Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Gem_61tot70 ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,073 ^a	,005	,004	240,751

a. Predictors: (Constant), Gem_61tot70

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	372750,032	1	372750,032	6,431	,011 ^b
	Residual	70538568,446	1217	57961,026		
	Total	70911318,477	1218			

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

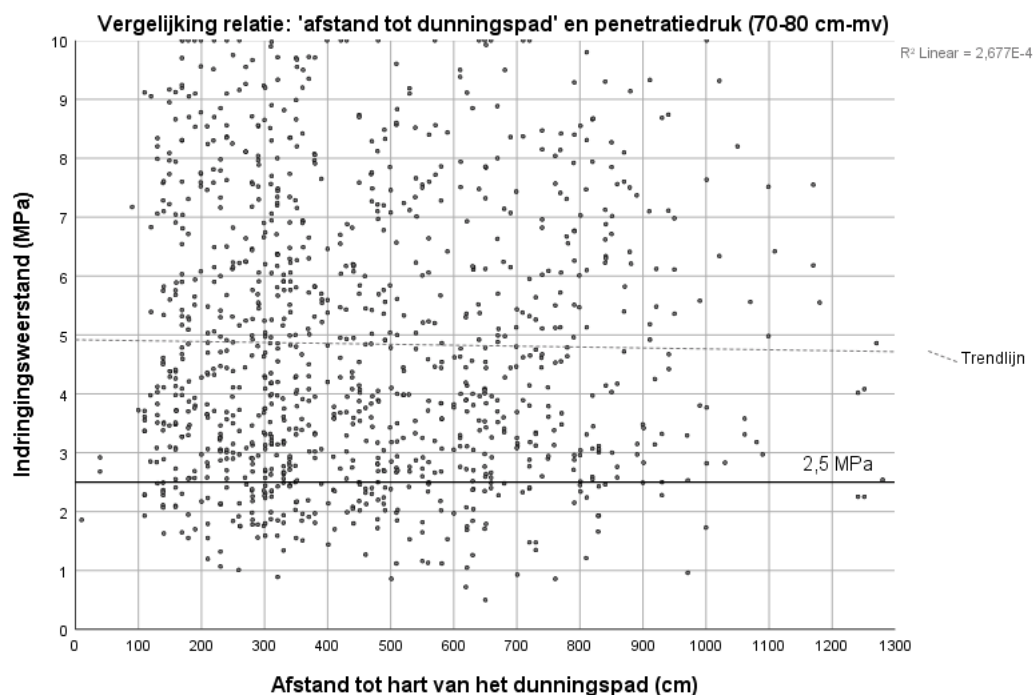
b. Predictors: (Constant), Gem_61tot70

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	489,853	14,569		33,622	,000
	Gem_61tot70	-8,003	3,156	-,073	-2,536	,011

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

Wel significant



Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Gem_71tot80 ^b		Enter

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,016 ^a	,000	-,001	243,293

a. Predictors: (Constant), Gem_71tot80

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	17100,637	1	17100,637	,289	,591 ^b
	Residual	63867848,057	1079	59191,703		
	Total	63884948,694	1080			

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

b. Predictors: (Constant), Gem_71tot80

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	466,191	17,221		27,070	,000
	Gem_71tot80	-1,724	3,208	-,016	-,537	,591

a. Dependent Variable: Afstand_Pad

= Geen significant

T-test wanneer, Alle penetraties in twee groepen zijn verdeeld. Groep INSpoor is alle afstand tot dunningspad tussen de 60 en 180. Alle buitenspoor zijn de gegevens van 0-60 en 180+

Group Statistics

	Afstand_Pad > 180 OR Afstand_Pad < 60 (FILTER)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Gem_0tot10	INSpoor	148	,46	,339	,028
	Buitenspoor	1164	,33	,217	,006
Gem_11tot20	INSpoor	148	1,42	,653	,054
	Buitenspoor	1164	,83	,365	,011
Gem_21tot30	INSpoor	148	1,73	,692	,057
	Buitenspoor	1164	1,21	,570	,017
Gem_31tot40	INSpoor	148	2,05	,971	,080
	Buitenspoor	1163	1,60	,789	,023
Gem_41tot50	INSpoor	148	2,65	1,477	,121
	Buitenspoor	1158	2,22	1,223	,036
Gem_51tot60	INSpoor	147	3,55	1,946	,161
	Buitenspoor	1143	3,17	1,804	,053
Gem_61tot70	INSpoor	138	4,22	2,180	,186
	Buitenspoor	1081	4,05	2,187	,067
Gem_71tot80	INSpoor	129	5,06	2,311	,203
	Buitenspoor	952	4,82	2,307	,075

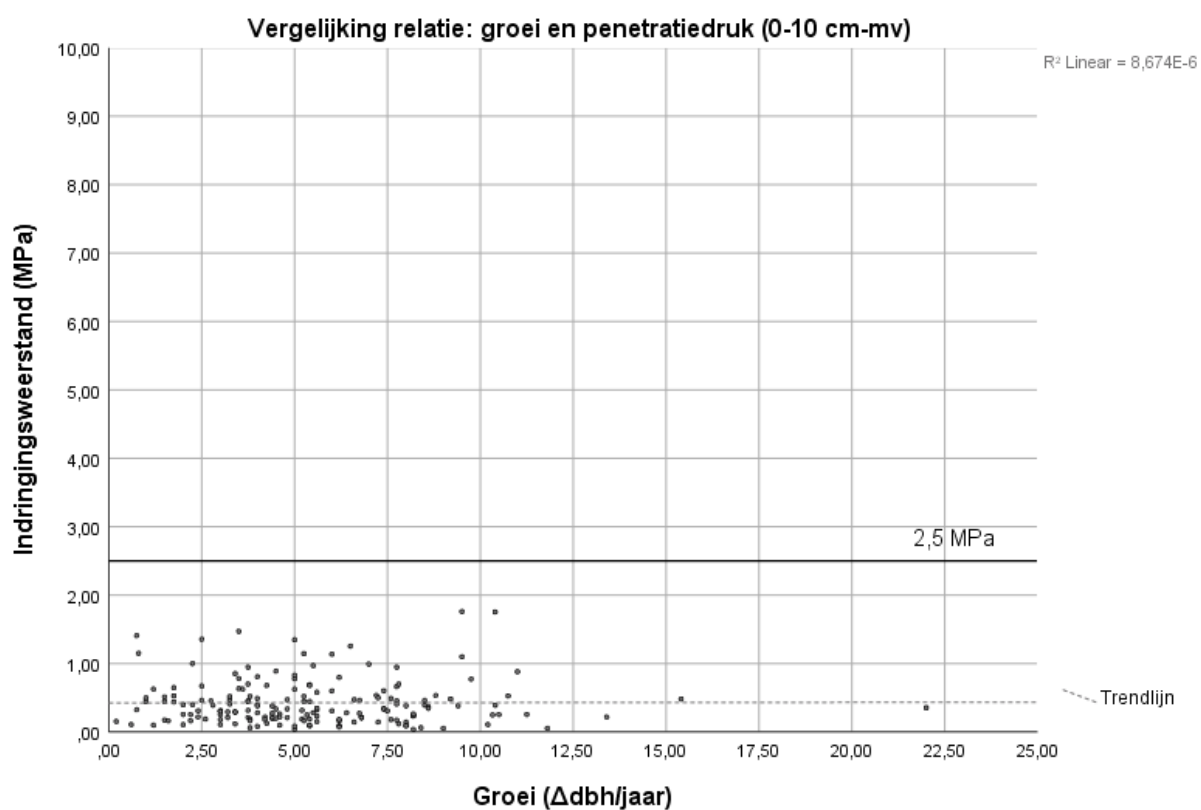
	In Spoor	Naast	P-waarde	Significant?
0-10	0,46	0,33	<0,001	JA
11-20	1,41	0,83	<0,001	JA
21-30	1,73	1,21	0,002	JA
31-40	2,05	1,60	0,001	JA
41-50	2,65	2,20	0,001	JA
51-60	3,42	3,08	0,407	NEE
61-70	4,14	3,86	0,772	NEE
71-80	4,74	4,52	0,845	NEE

Independent Samples Test

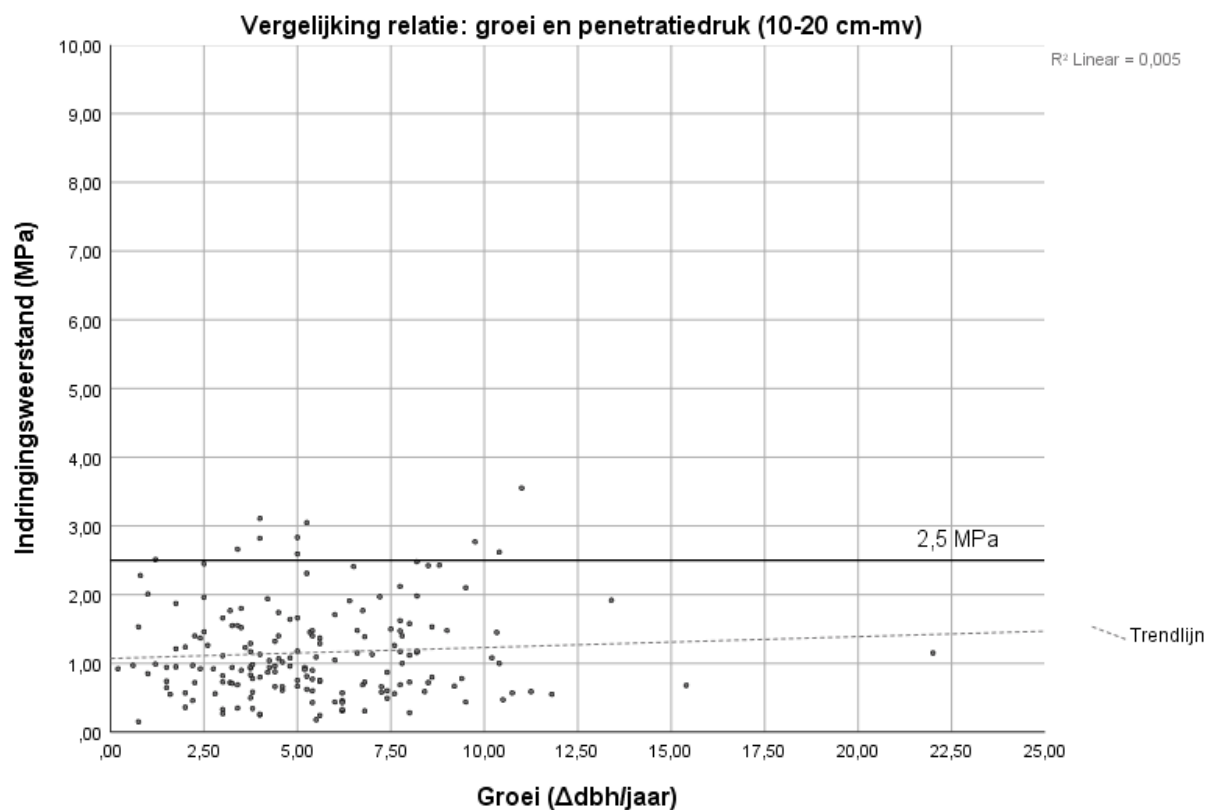
Levene's Test for Equality of Variances			t-test for Equality of Means							
F			Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Gem_0tot10	Equal variances assumed	49,032	,000	6,390	1310	,000	,131	,020	,090	,171
	Equal variances not assumed			4,563	162,665	,000	,131	,029	,074	,187
Gem_11tot20	Equal variances assumed	115,969	,000	16,583	1310	,000	,590	,036	,520	,660
	Equal variances not assumed			10,773	158,865	,000	,590	,055	,482	,698
Gem_21tot30	Equal variances assumed	9,387	,002	10,275	1310	,000	,525	,051	,425	,625
	Equal variances not assumed			8,852	173,325	,000	,525	,059	,408	,642
Gem_31tot40	Equal variances assumed	12,136	,001	6,303	1309	,000	,446	,071	,307	,585
	Equal variances not assumed			5,368	172,536	,000	,446	,083	,282	,610
Gem_41tot50	Equal variances assumed	11,757	,001	3,945	1304	,000	,432	,109	,217	,647
	Equal variances not assumed			3,412	173,733	,001	,432	,127	,182	,682
Gem_51tot60	Equal variances assumed	,687	,407	2,398	1288	,017	,382	,160	,070	,695
	Equal variances not assumed			2,261	179,749	,025	,382	,169	,049	,716
Gem_61tot70	Equal variances assumed	,084	,772	,867	1217	,386	,171	,198	-,216	,559
	Equal variances not assumed			,869	174,078	,386	,171	,197	-,218	,560
Gem_71tot80	Equal variances assumed	,038	,845	1,109	1079	,268	,240	,216	-,185	,665
	Equal variances not assumed			1,108	164,492	,270	,240	,217	-,188	,668

Wanneer een T-test gedaan wordt over de totale gemiddelden voor binnen en buiten het pad zien we dat het verschil significant is voor 0- 50 cm

Bijlage 3: Data-analyse relatie C: boomgroei en penetratieweerstand



geen T-test mogelijk omdat geen enkel geval boven de 2,5 MPa uitkomt.



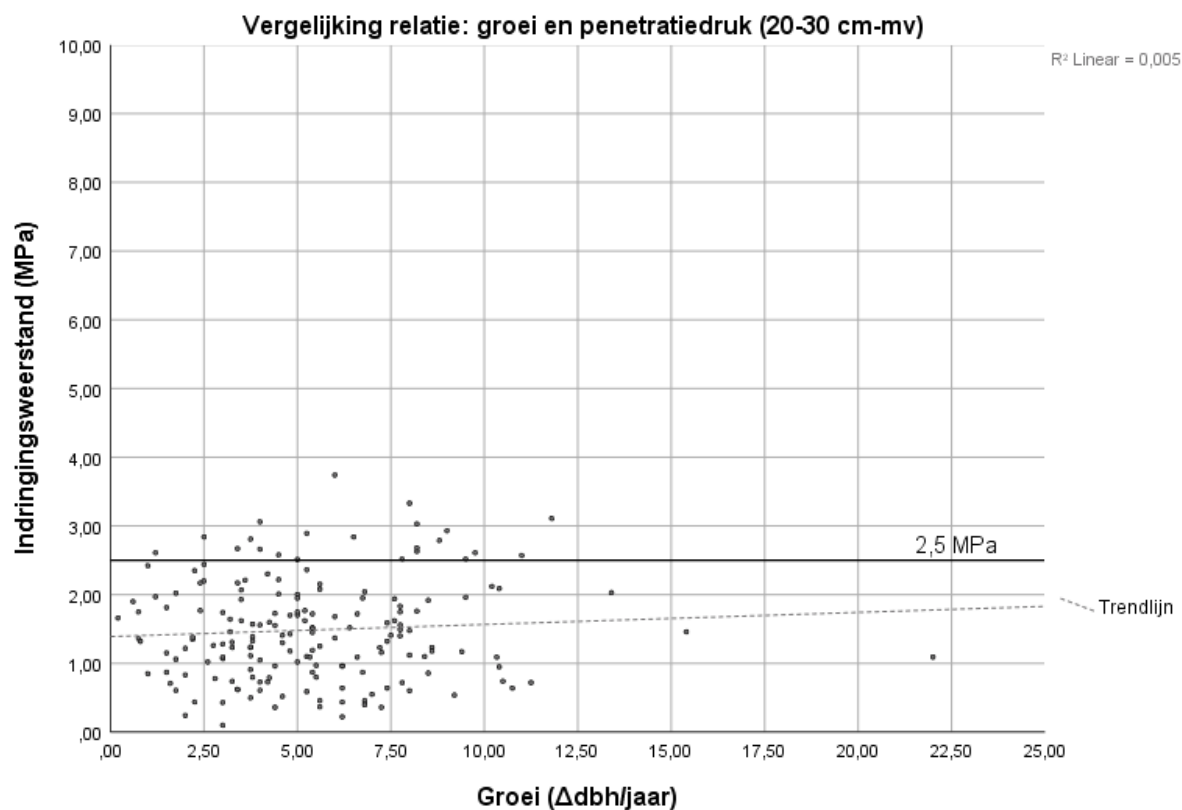
Group Statistics

		Pen1_10tot20 > 2.5 (FILTER)			
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
toenamedbhperjaar	Not Selected	165	5,3940	3,00354	,23383
	Selected	10	5,9000	3,31134	1,04714

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference Lower Upper
toenamedbhperjaar	Equal variances assumed	,440	,508	-,514	173	,608	-,50596	,98363	-2,44742 1,43550
	Equal variances not assumed			-,472	9,919	,647	-,50596	1,07293	-2,89926 1,88734

Uit de rood gemarkeerde P-waarde blijkt dat er geen verschil is wanneer de groepen hoger en lager dan 2,5 Mpa worden vergeleken. Want P-waarde > 0,05.



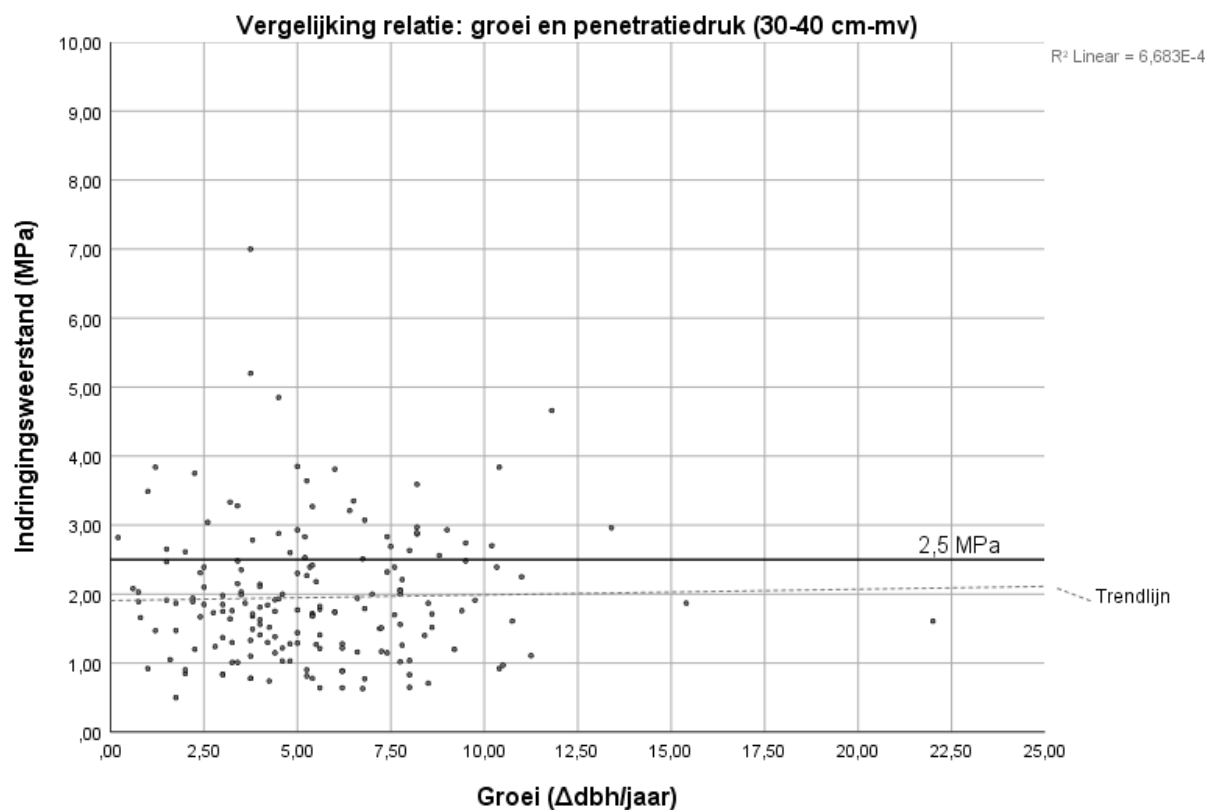
Group Statistics

		Pen1_20tot30 > 2.5 (FILTER)			
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
toenamedbhperjaar	Not Selected	153	5,2462	3,00131	,24264
	Selected	22	6,6523	2,87325	,61258

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Differen ce	95% Confidence Interval of the Difference	
toenamedbh perjaar	Equal variances assumed	,307	,580	-2,065	173	,040	-1,40609	,68086	-2,74995	-,06222
	Equal variances not assumed			-2,134	28,011	,042	-1,40609	,65888	-2,75572	-,05645

P-Waarde ver boven 0,05



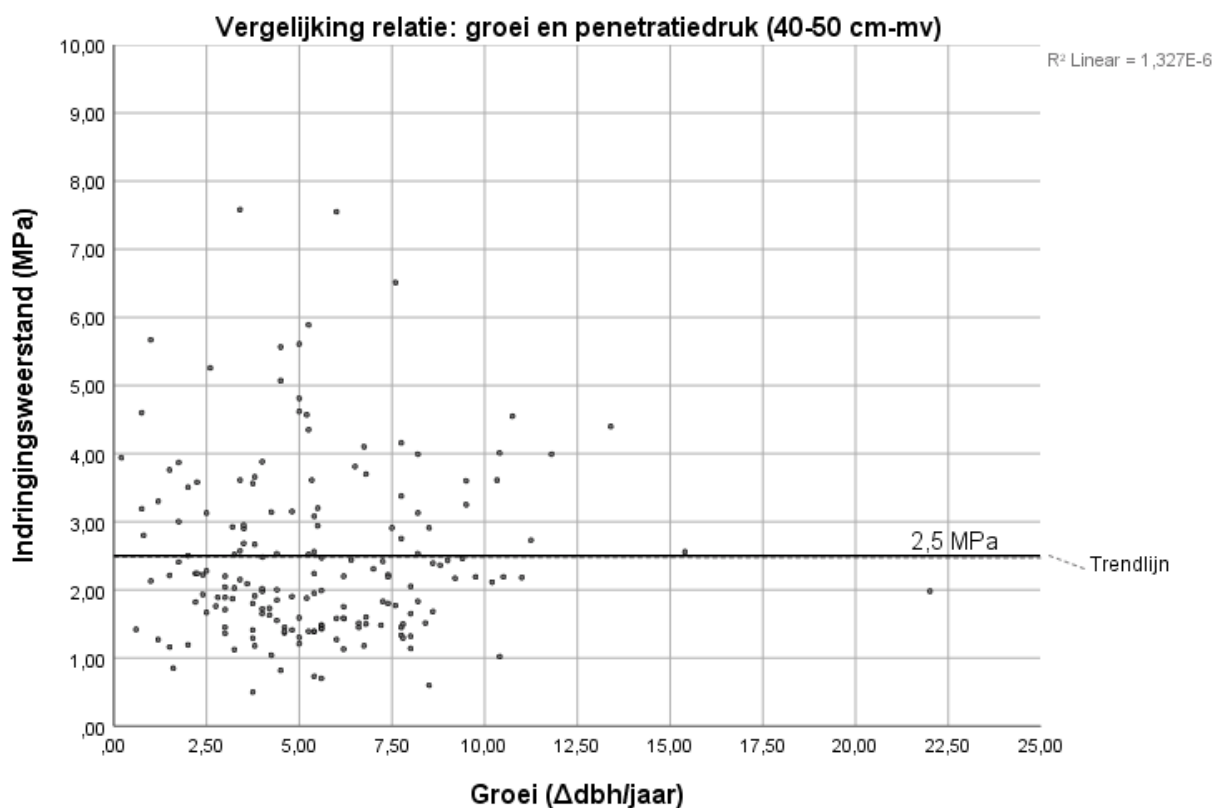
Group Statistics

		Pen1_30tot40 > 2.5 (FILTER)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
toenamedb hperjaar	Not Selected		135	5,2909	2,99756	,25799
	Selected		40	5,8688	3,06445	,48453

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Differen ce	Std. Error Differen ce	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
toenamedb hperjaar	Equal variances assumed	,596	,441	- 1,06 6	173	,288	-,57789	,54236	- 1,64838	,49261
	Equal variances not assumed			- 1,05 3	62,7 79	,296	-,57789	,54894	- 1,67492	,51915

Geen Significantie P-waarde > 0,05



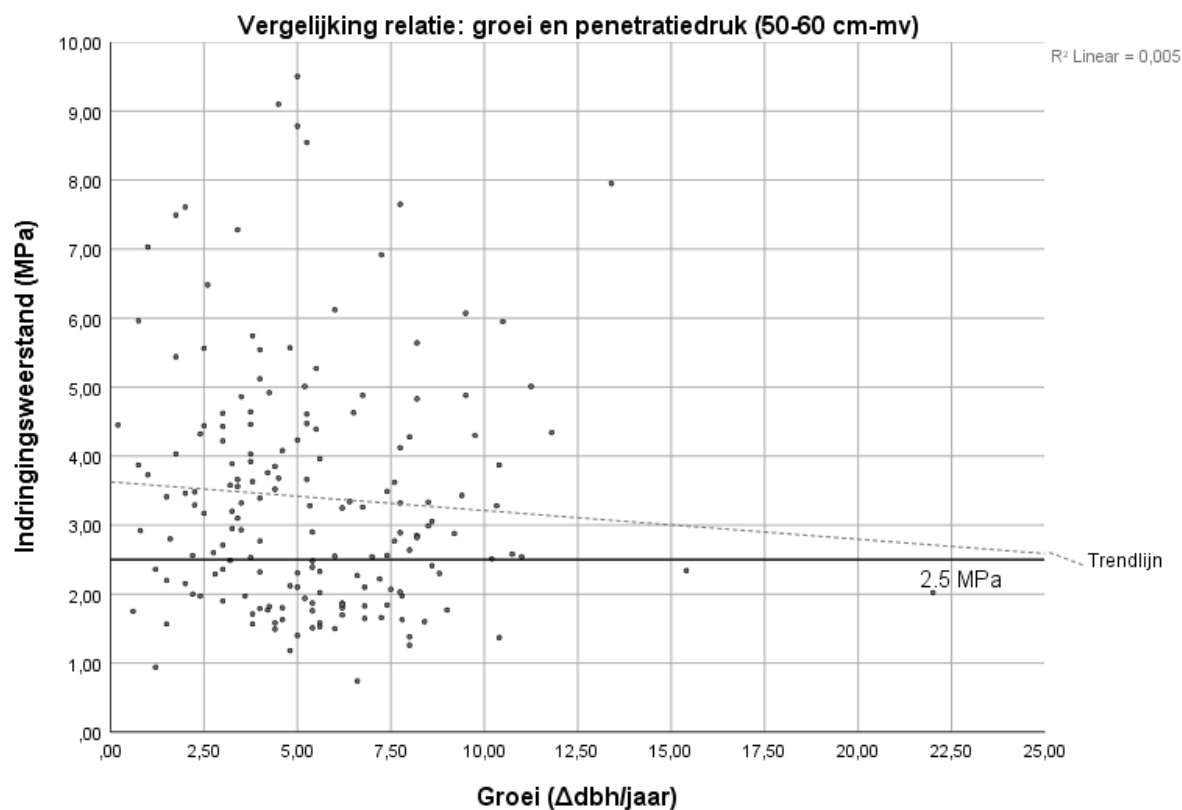
Group Statistics

		Pen1_40tot50 > 2.5 (FILTER)			
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
toenamedbhperjaar	Not Selected	110	5,4395	2,88571	,27514
	Selected	64	5,4206	3,26131	,40766

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Differe nce	Std. Error Differe nce	95% Confidence Interval of the Difference	
toenamed bhperjaar	Equal variances assumed	1,425	,234	,040	172	,968	,01897	,47615	-,92088	,95882
	Equal variances not assumed			,039	119, 175	,969	,01897	,49183	-,95488	,99282

Geen significantie



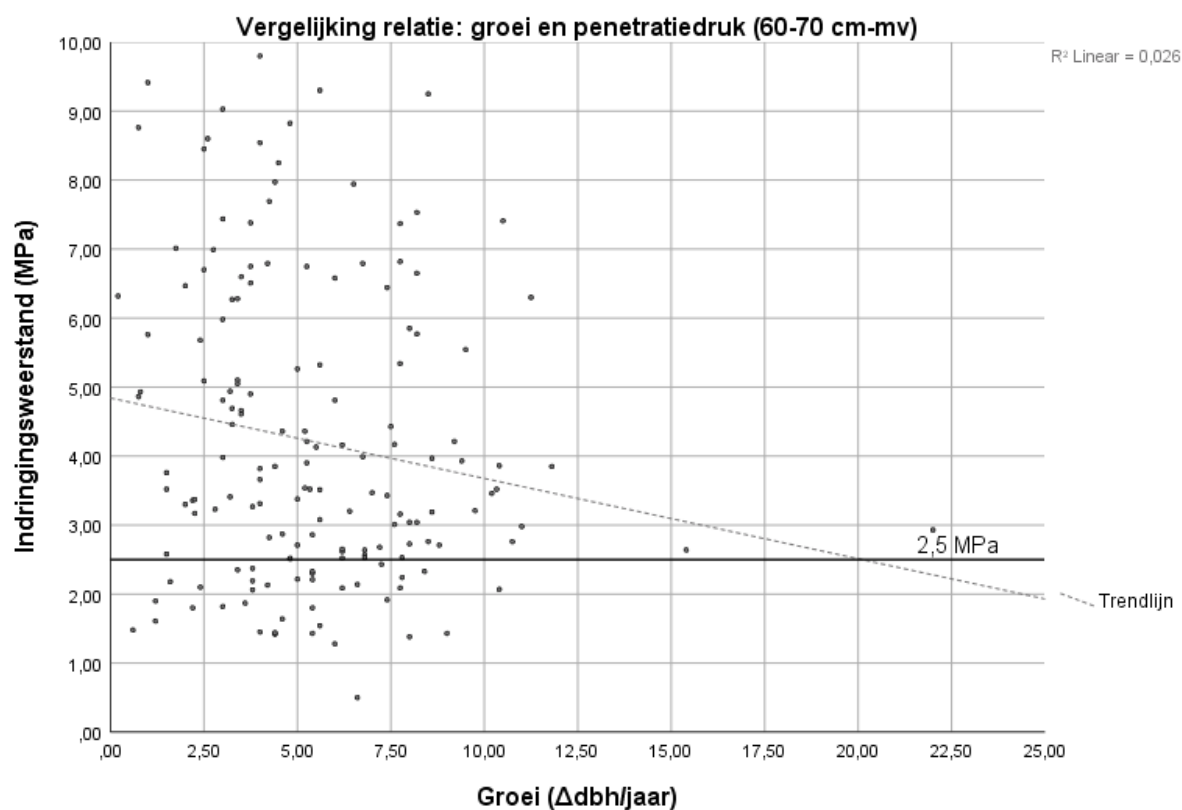
Group Statistics

		Pen1_50tot60 > 2.5 (FILTER)			
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
toenamedbhperjaar	Not Selected	64	5,7055	3,23190	,40399
	Selected	109	5,2809	2,90527	,27827

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Differen ce	Std. Error Differen ce	95% Confidence Interval of the Difference	
toenamedbh perjaar	Equal variances assumed	,928	,337	,890	171	,375	,42458	,47711	-,51721	1,36637
	Equal variances not assumed			,866	121,0 67	,388	,42458	,49055	-,54659	1,39576

P-waarde >0,05 Geen significantie



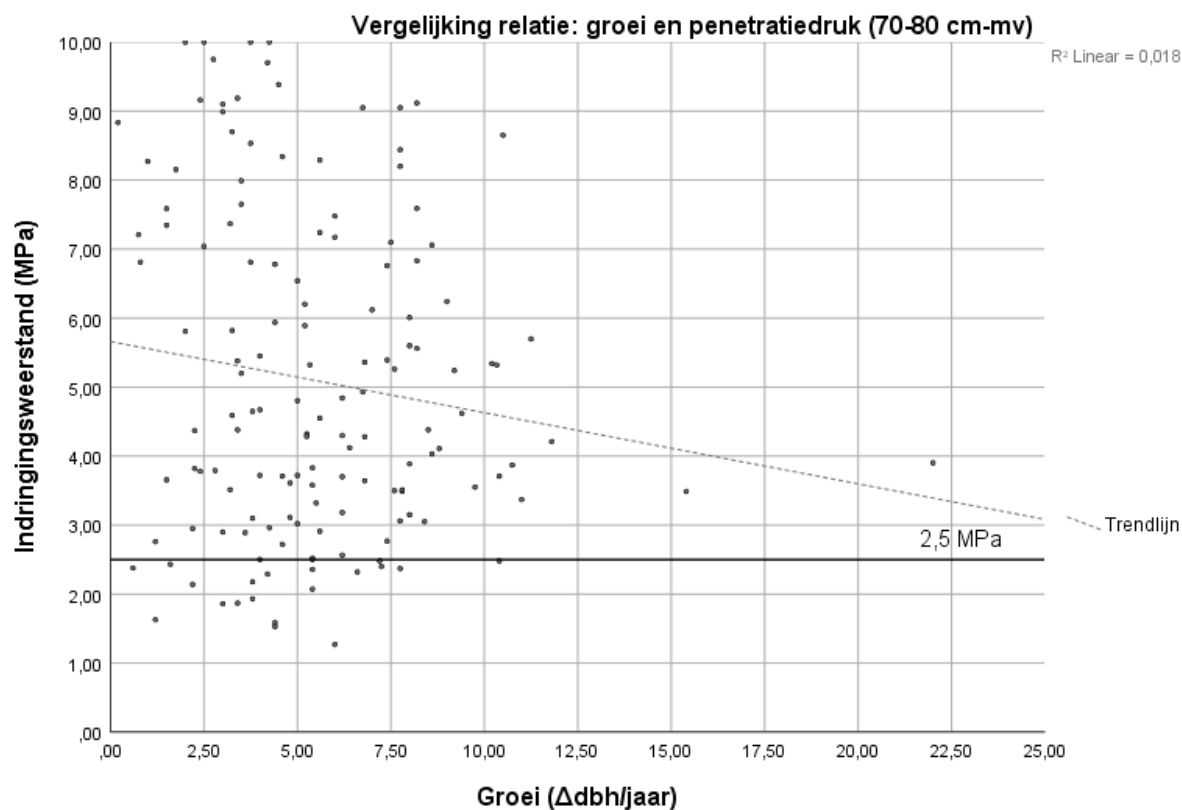
Group Statistics

		Pen1_60tot70 > 2.5 (FILTER)			
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
toenamedbhperjaar	Not Selected	36	5,0333	2,33229	,38871
	Selected	125	5,5593	3,17808	,28426

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Differenc e	Std. Error Differenc e	95% Confidence Interval of the Difference	
toenamedbh perjaar	Equal variances assumed	2,552	,112	-,923	159	,357	-,52600	,56979	-1,65133	,59933
	Equal variances not assumed			-,923	76,28	,278	-,52600	,48156	-1,48505	,43305
				1,092	5					

Het lijkt opeens iets te gaan doen maar niets blijkt minder waar nog steeds geen verschil: P-waarde>0,05



Group Statistics

		Pen1_70tot80 > 2.5 (FILTER)			
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
toenamedbhperjaar	Not Selected	21	4,6667	2,38046	,51946
	Selected	124	5,6997	3,13669	,28168

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Differen ce	Std. Error Differen ce	95% Confidence Interval of the Difference	
toenamedbh perjaar	Equal variances assumed	1,413	,236	-1,439	143	,152	-1,03306	,71789	-2,45211	,38598
	Equal variances not assumed			-1,748	33,027	,090	-1,03306	,59092	-2,23526	,16913

Geen significantie bij het vergelijken van de groei bij meer of minder dan 2,5 MPa

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Pen1_70tot80, Pen1_30tot40, Pen1_0tot10, Pen1_50tot60, Pen1_10tot20, Pen1_20tot30, Pen1_40tot50, Pen1_60tot70 ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: toenamedbhperjaar

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,202 ^a	,041	-,016	3,07730

a. Predictors: (Constant), Pen1_70tot80, Pen1_30tot40, Pen1_0tot10,

Pen1_50tot60, Pen1_10tot20, Pen1_20tot30, Pen1_40tot50, Pen1_60tot70

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	54,776	8	6,847	,723	,671 ^b
	Residual	1287,893	136	9,470		
	Total	1342,670	144			

a. Dependent Variable: toenamedbhperjaar

b. Predictors: (Constant), Pen1_70tot80, Pen1_30tot40, Pen1_0tot10, Pen1_50tot60, Pen1_10tot20,

Pen1_20tot30, Pen1_40tot50, Pen1_60tot70

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	5,874	,893		6,578	,000
	Pen1_0tot10	-1,058	,987	-,108	-1,073	,285
	Pen1_10tot20	,650	,586	,141	1,109	,269
	Pen1_20tot30	,018	,595	,004	,030	,976
	Pen1_30tot40	-,102	,531	-,026	-,192	,848
	Pen1_40tot50	,296	,370	,112	,799	,426
	Pen1_50tot60	-,137	,403	-,055	-,340	,735
	Pen1_60tot70	,150	,398	,086	,377	,706
	Pen1_70tot80	-,258	,230	-,200	-1,123	,264

a. Dependent Variable: toenamedbhperjaar

Significantie? Niet één. Van de trendlijnen alle trendlijnen zijn in één analyse vergeleken.