

BODEMVERDICHTING IN KAART



Bron: (Waterschap, 2017)

*Martijn de
Ruiter*

Aeres Hogeschool

11-11-2019

Bodemverdichting in kaart

Scriptie over de relatie tussen gewasgroei, wortelgroei en ondergrondverdichting bij gras en hoe ondergrondverdichting effectief gemeten kan worden.

Auteur gegevens:

Naam: Martijn de Ruiter
Tel. nr.: +31 6 14 65 37 65
E-mail: 3023141@aeres.nl
Opleiding: Dier- en veehouderij
Instantie: Aeres Hogeschool Dronten

Begeleider/afstudeer docent:

Naam: Kees Westerdijk
Instantie: Aeres Hogeschool
Functie: Docent/onderzoeker
E-mail: k.westerdijk@aeres.nl

Opdrachtgevers:

Naam: Tijn van Orsouw
Instantie: Aeres Hogeschool
Functie: Promovendus/docent bodem
E-mail: t.van.orsouw@aeres.nl

Naam: Sylvan Nysten
Instantie: Aeres Hogeschool
Functie: Docent/ onderzoeker
E-mail: s.nysten@aeres.nl

DISCLAIMER

Dit rapport is gemaakt door een student van Aeres Hogeschool als onderdeel van zijn/haar opleiding. Het is géén officiële publicatie van Aeres Hogeschool. Dit rapport geeft niet de visie of mening van Aeres Hogeschool weer. Aeres Hogeschool aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade voortvloeiend uit het gebruik van de inhoud van dit rapport.

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie over “de relatie tussen gewasgroei, wortelgroei en ondergrondverdichting bij gras en hoe ondergrondverdichting effectief gemeten kan worden”. Deze scriptie is geschreven in het kader van het afstuderen aan de Aeres Hogeschool in Dronten.

Tijdens mijn afstudeerstage bij het lectoraat Duurzaam Bodembeheer aan de Aeres Hogeschool ben ik in aanraking gekomen met het onderwerp bodemverdichting waar de laatste tijd veel belangstelling voor is. Hieruit is mijn interesse gegroeid om onderzoek te doen naar bodemverdichting en hier mijn scriptie over te schrijven. De opdrachtgevers van dit onderzoek zijn de docent/onderzoekers dhr. T.L. van Orsouw en dhr. S. Nysten.

Tot slot wil ik de mensen die betrokken zijn geweest bij het opstellen/meewerken aan deze scriptie bedanken. In het bijzonder wil ik de ondernemer dhr. de Ruiter bedanken voor het beschikbaar stellen van het perceel voor onderzoek. Daarnaast wil ik dhr. K. Westerdijk bedanken voor de begeleiding tijdens het vooronderzoek en de uitwerking van de scriptie.

Ik wens u veel leesplezier!

Martijn de Ruiter

Dronten, November 2019

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
Summary	5
H1. Inleiding.....	6
1.1 Nooit meer honger	6
1.2 Structuur van de bodem.....	6
1.3 Opbouw van de bodem	7
1.4 Bodemverdichting	8
1.5 Machines en bodemverdichting.....	11
1.6 Hoofd- en deelvragen	12
H2. Materiaal en methode	13
2.1 Literatuur onderzoek.....	13
2.2 Materiaal	13
2.3 Onderzoeksmethode	14
2.4 Methode deelvragen	15
2.5 Statistische analyse	16
H3. Resultaten	17
3.1 De relatie tussen de gewasstand en de wortelgroei.....	17
3.2 De relatie tussen bulkdichtheid, indringingsweerstand en wortelmassa in de verdichte laag..	18
3.3 De correlatie tussen de fysieke bodemmetingen	21
H4. Discussie.....	24
4.1 De relatie tussen de gewasstand en de wortelgroei.....	24
4.2 De relatie tussen bulkdichtheid, indringingsweerstand en wortelmassa in de verdichte laag...	25
4.3 De correlatie tussen de fysieke bodemmetingen	26
H5. Conclusie en Aanbevelingen	27
Literatuurlijst	28
.....	30
.....	31
.....	32

Samenvatting

Een gezonde landbouwbodem is voor zowel de akkerbouw als de veehouderij een belangrijke productiefactor. Echter zijn er verschillende invloeden/factoren die de gezondheid van de bodem kunnen aantasten. Zo kan door gebruik te maken van zware machines, berijding tijdens natte omstandigheden of regelmatig grondbewerkingen op de zelfde diepte bodemverdichting ontstaan.

Bodemverdichting is ongewenst in verband met infiltratie problemen en capillaire opstijging van water. Hierdoor kunnen gewasbeschermingsmiddelen en voedingsstoffen afspoelen naar het oppervlakte water. Tevens is bodemverdichting beperkend voor de groei van de gewassen. Door de verdichting kunnen de planten niet optimaal wortelen en zo niet aan het benodigde vocht en voedingsstoffen komen. Deze beperking zorgt voor een lage productie ten opzichte van het potentieel van de gewassen.

De doelstelling van dit onderzoeksrapport is het verkrijgen van meer inzicht in de relatie tussen gewasgroei, wortelgroei en ondergrondverdichting en hoe dit het meest effectief en praktisch gemeten kan worden.

In het onderzoek is er gebruik gemaakt van satellietdata om variatie in gewasgroei kenbaar te maken en is er gebruik gemaakt van verschillende methoden om bodemverdichting meetbaar te maken. Doormiddel van satellietdata is er gekeken of de wortelmassa invloed heeft op de gewasstand. Om de indringingsweerstand van de grond te meten is er gebruik gemaakt van de penetrologger. De bulkdichtheid van de grond is gemeten met behulp van ringmonsters en de RhoC. Met de verworven data is er statistisch berekend of er ook relaties aanwezig zijn tussen de verschillende manieren van bodemverdichting meten en de wortelgroei. Tot slot is er onderzocht wat de relaties zijn tussen de verschillende meetmethoden van bodemverdichting meten en welke meetmethode praktische en efficiënt is.

Aan de hand van de verkregen data zijn de uitslagen geanalyseerd en ter discussie gesteld. Middels het beantwoorden van de deelvragen wordt er een antwoord op de hoofdvraag geformuleerd. De conclusie is dat de bodem te complex is en er geen juiste meetmethoden voor handen zijn om bodemverdichting te meten. Hierdoor is blijft de hoofdvraag onbeantwoord.

Een gezonde grond is van groot belang voor de agrarisch ondernemer, hierdoor is het van belang dat de ondernemer goed in beeld heeft wat bodemverdichting is, hoe het makkelijk en praktisch gemeten kan worden.

Summary

A healthy soil is an important production factor for arable farming and livestock farming. However, there are various influences/factors that can affect the health of the soil. For example using heavy machinery, tilling during wet conditions or soil tilling at the same depth can provide soil compaction.

Soil compaction leads to problems with infiltration, capillary rise of groundwater and runoff of crop protection agents and nutrients to surface water.

Soil compaction is also limiting for the growth of roots. Because of this, crops are limited in getting moisture and nutrients. This limitation results in a low production compared to the potential of the crops.

The objective of this research report is to gain more insight into the relationship between crop growth, root growth and soil compaction and how this can be measured most effectively and practically.

In the study, satellite data is used to indicate variation in crop growth, and various methods were used to make soil compaction measurable. Satellite data is used to determine whether the root mass influences the crop status. The penetrometer was used to measure the penetration resistance of the soil. The bulk density of the soil was measured using ring samples and the ρ_c . With the acquired data, there is calculated if there is a relationship between the different ways of mapping soil compaction and root growth. And we investigated the relations between the different measurement methods of soil compaction measurement and which measurement method is practical and efficient.

The results have been analyzed and discussed. By answering the sub questions, an answer to the main question is formulated. The conclusion is that the soil is too complex and there are no proper measuring methods available to measure soil compaction. As a result, the main question remains unanswered.

A healthy soil is important for the agricultural entrepreneur, so it is important that the entrepreneur has a good view about what soil compaction is, how it easy and practical can be measured.

H1. Inleiding

In de inleiding wordt vanuit het breder kader toegewerkt naar het beschrijven van de hoofd- en deelvragen. Hierbij wordt begonnen met de historie van de huidige landbouw, de opbouw van de bodem, bodemverdichting en de gevolgen en omvang van bodemverdichting.

1.1 Nooit meer honger

Na de 2^e Wereldoorlog werd er gestuurd op een verhoging in productie van agrarische producten middels subsidies en schaalvergroting. “Nooit meer honger” is een bekende zin, die door Sicco Mansholt, toenmalig minister van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening is uitgesproken (Nefs, 2014). Door deze productieverhoging en schaalvergroting is aangestuurd op efficiënter telen van gewassen om sneller en goedkoper te kunnen produceren. Deze verandering kan negatieve gevolgen hebben voor de bodem. Om efficiënter te kunnen werken zijn de machines groter en zwaarder geworden door de jaren heen.

De bodem is de belangrijkste basis voor de akkerbouw en veehouderij, hierop wordt direct of indirect ons dagelijkse voedsel geproduceerd. De agrariërs hebben verschillende mogelijkheden wat betreft het bouwplan, ofwel het korte- of langtermijnbelang. Lage productprijzen in relatie met hoge grond- en pachtprijzen leiden tot kortetermijnbelangen. Deze kortetermijnbelangen zorgen voor een intensief bouwplan met hoog salderende gewassen en steeds zwaarder en groter wordende machines om voldoende capaciteit te halen en dure arbeid te besparen. Maar niet alleen agrariërs staan voor dit dilemma, ook loonwerkers hebben er mee te kampen. Het dilemma waar zij voor staan is dat er voldoende capaciteit is om de wensen van de agrariërs in te willigen. Dit heeft als resultaat dat de machines ingesteld zijn op veel capaciteit en dat de bodem wordt belast middels hoge wielbelasting. Tegelijkertijd heeft ook het veranderende klimaat gevolgen voor de bodem, meer extreme perioden van natte omstandigheden spelen hierin een grote rol. Deze punten resulteren in een intensief bodemgebruik dat schade aanbrengt aan de landbouwbodems.

1.2 Structuur van de bodem

Een landbouwbodem met goede fysische eigenschappen is opgebouwd met zowel kleine als grote poriën. In de kleine poriën bevindt zich het vocht dat wordt vastgehouden en de grote poriën zorgen voor de aanvoer van lucht en voor de afvoer van het overtollige water. De ideale bodem bestaat voor ongeveer de helft uit grote- en kleine poriën en de andere helft zijn vaste bodemdeeltjes. Bij deze ideale bodem hebben wortels niet veel last van de weerstand van de bodem. Dit heeft als resultaat dat het wortelstel goed kan ontwikkelen omdat er voldoende water en nutriënten in de bodem aanwezig zijn (Commissie bemesting akkerbouw/vollegrondsgroententeelt, nd).

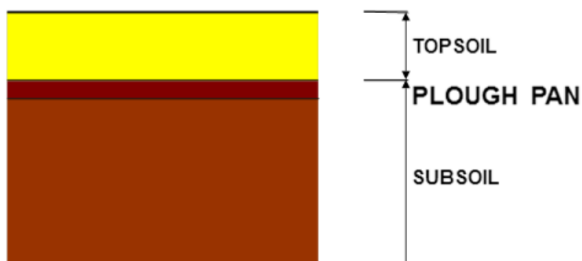
De manier waarop de bodemdeeltjes samenhangen met elkaar bepaalt de structuur van de bodem. Bodemdeeltjes die aan elkaar kleven worden aggregaten genoemd. Door de aanwezige mineralen en organische materialen in de grond kleven de gronddelen aan elkaar, hoe kleiner de kluiten hoe beter de bodemstructuur is (Vandinter semo, 2016). In de loop van het jaar kan de bodemstructuur veranderen. Dit kan komen door wisselende weeromstandigheden, toevoeging organisch materiaal, de wortels en door het bodemleven. Ook grondbewerking heeft invloed op de bodemstructuur (Vlm, 2015). In figuur 1.1 is de bodemstructuur in gradaties te zien. Op de afbeelding aan de linkerkant is de bodemstructuur goed, op de middelste afbeelding is er een matige bodemstructuur te zien. De meest rechtse afbeelding geeft een slechte bodemstructuur weer.



Figuur 1.1 Grootte en verhouding tussen deeltjes bepaalt de structuur (Shepherd, 2000)

1.3 Opbouw van de bodem

Om bodem en bodemverdichting duidelijk in beeld te krijgen is het van belang dat er begrepen wordt dat de bodem systematisch in 2 delen kan worden opgedeeld: de bouwvoor en de ondergrond. Tussen deze lagen kan een ploegzool aanwezig zijn die veroorzaakt wordt door tijdens het ploegen door de voor te rijden of gedurende meerdere jaren op de zelfde diepte grondbewerking uit te voeren (Sukkel & Pulleman, 2016). De ploegzool zorgt voor een hogere indringingsweerstand op de diepte waar de grond niet bewerkt wordt, dus net onder de ploeg waar de scharen overheen lopen. De ploegzool zorgt ervoor dat het water niet goed kan infiltreren in de ondergrond. Waardoor de bovengrond langer nat blijft en werken de drains niet optimaal werken. Op figuur 1.2 is de ploegzool (plough pan) te zien onder de bouwvoor (topsoil) en boven de ondergrond (subsoil).



Figuur 1.2 Opbouw bodem met ploegzool (Akker v. J., 2018)

Uit de bovenste laag, de bouwvoor, haalt het gewas het grootste gedeelte van de benodigde voedingsstoffen voor ontwikkeling. De ondergrond is van belang voor de afvoer van water en de capillaire opstijging van grondwater. De bouwvoor heeft een dikte van ongeveer 15 tot 30 centimeter en wordt het meest intensief bewerkt. In deze laag kan er verdichting voorkomen, maar deze verdichting is machinaal relatief makkelijk te herstellen (Holm, Merckx, Orshoven, Diels, & Elsen, 2011). De meeste schade aan landbouwbodems komt door verdichting in de ondergrond. Deze verdichting in de ondergrond komt voor op een diepte van ongeveer 30 centimeter en dieper. Dit is afhankelijk van de bewerkingdiepte van de grondbewerking. In Nederland zijn er verschillende grondsoorten met verschillende texturen. Deze variatie in texturen hebben verschillende gevoeligheden voor verdichting. Het risico op verdichting hangt daarom nauw samen met de

gevoeligheid voor verdichting en het grondgebruik (Akker, Vries, Vermeulen, Hack-ten Broeke, & Schouten, 2013).

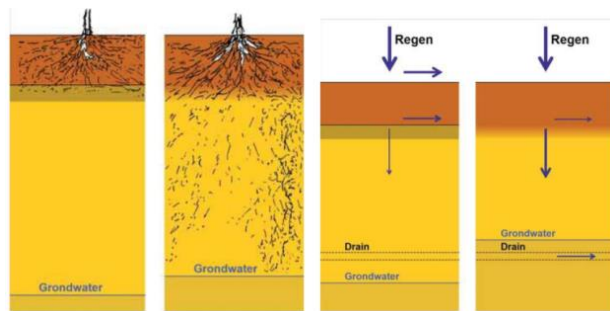
1.4 Bodemverdichting

Omdat grote delen van het intensief gebruikte landbouwareaal wereldwijd elk jaar meer verdicht raakt, wordt er veel moeite gedaan om de effecten van bodemverdichting op plantengroei te verminderen. Enige mate van verdichting kan noodzakelijk zijn voor de groei van de plant, maar hoge mate van verdichting kan schadelijk zijn (Miransari, Bahrami, Rejali, & Malakouti, 2008). De bodempenetratieweerstand, bulkdichtheid en verdichtbaarheid zijn de belangrijkste te meten waarden om verdichting in de bodem te bepalen (Rakkar & Blanco-Canqui, 2018). De bodempenetratieweerstand is een indicator van de weerstand van de grond tegen penetratie door plantenwortels. Bulkdichtheid is een begrip dat wordt gedefinieerd als drooggewicht van de grond per eenheid volume. De bulkdichtheid bepaalt de mate van hoe los de bodem is. Een toename van bulkdichtheid wordt gerekend als een toename van bodemverdichting (Shah et al., 2017).

Bodemverdichting zorgt voor een vermindering in de macroporositeit, bodembeluchting en waterinfiltratie. Bovendien veroorzaakt bodemverdichting ongunstige omstandigheden voor de microbiële activiteiten in de bodem. Ook de nutriënttransformatie (mineralisatie) die voor de bodemproductiviteit zorgt wordt verhinderd. De mate van verdichting hangt af van de textuur van de grond, de bulkdichtheid, het watergehalte, het organische stofgehalte en het contactoppervlak van de band op de grond. Bodems die grof van structuur zijn, zoals zand, hebben meer bolvormige deeltjes dan gronden met een fijne textuur zoals klei. Bolvormige deeltjes hebben minder contactoppervlak en zijn dus minder samenhangend in vergelijking met plaatvormige deeltjes zoals klei. Omdat kleigronden meer water kunnen vasthouden dan zandgronden, zijn kleiige gronden meer vatbaarder voor verdichting. (Rakkar & Blanco-Canqui, 2018).

Een lichte mate van bodemverdichting kan de bodemstructuur verbeteren, bodemerosie verminderen en voor een beter zaaibed zorgen. Hoge mate van verdichting heeft nadelige invloed op de wortelgroei in de grond, resulterend in verminderde zuurstof en voedingstof opname (Miransari, et al., 2008). Bodemverdichting verhoogt de uitstoot van broeikasgassen en het transport van chemicaliën en verontreinigende stoffen naar het oppervlakte water (Soane & Van Ouwerkerk, 1995). De met water verzadigde bouwvoor leidt tot zuurstoftekort rond de wortels van het ter velde staande gewas en er treedt denitrificatie op. Denitrificatie is een proces waarbij bacteriën in een zuurstofarme bodem nitraat omzetten in stikstofgas (N_2), lachgas (NO_2^-) en stikstofmonoxide (NO). Door deze denitrificatie verdwijnt er voor de plant kostbare stikstof uit de bodem en wordt het milieu belast door de vrijgekomen broeikasgassen. (nutrinorm, nd).

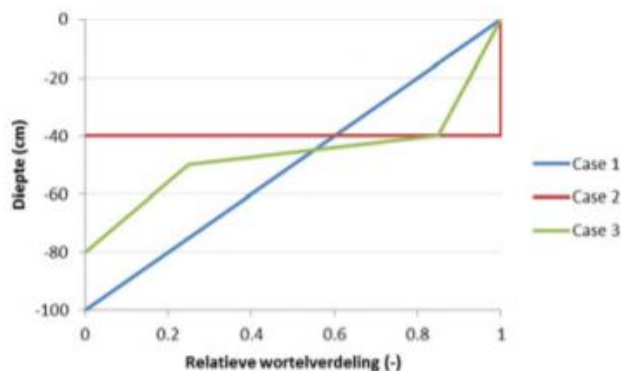
In verdichte bodems heeft de plant meer kans op langere periodes van droogte of wateroverlast (Grzesiak, Grzesiak, Hura, Marcińska, & Rzepka, 2013). Het water dat infiltreert in de bodem wordt door de verdichte laag tegen gehouden waardoor het langer nat blijft. In droge periodes is het voor de plant moeilijker om vocht te krijgen omdat de storende laag de capillaire opstijging van het grondwater tegengaat zoals in figuur 1.3 is te zien. In natte perioden is de waterinfiltratie capaciteit van een bodem met een verdichte laag lager. Bij langdurige/hevige regenval raakt de bouwvoor verzadigd met water, waardoor het water met daarin nutriënten en resten van gewasbeschermingsmiddelen afstroomt naar lager gelegen delen van het perceel zoals in figuur 1.3 is te zien.



Figuur 1.3 Effecten ondergrondverdichting op wortelgroei en regenval (Akker & Hendriks, 2015)

De meest linkse afbeelding in figuur 1.3 geeft de invloed verdichting op de wortelgroei weer, hierbij valt het op dat de wortels niet verder komen dan de verdichte laag. De verdichte laag belemmert de wortels om dieper te wortelen om zo voedingsstoffen/water op te nemen. Bij de afbeelding ernaast is geen verdichting aanwezig waardoor de wortels ongestoord kunnen wortelen en het grondwater kunnen bereiken. Op de 3e afbeelding van figuur 1.3 is het effect van een verdichte laag op de afspoeling van neerslag te zien, hierop wordt weergegeven dat het water oppervlakkig(horizontaal) afstroomt. Op de meest rechtse afbeelding is er geen verdichte laag aanwezig waardoor regenwater de bodem kan indringen.

Zoals in figuur 1.3 is weergegeven heeft de verdichting invloed op de wortelgroei. In de onderstaande figuur 1.4 is een visualisatie van de verschillende wortelprofielen weergegeven.



Figuur 1.4 Visualisatie verschillende wortelprofielen (Groenendijk, Schipper, Hendriks, Akker, & Heinen, 2017)

De verschillende wortelprofielen zijn in figuur 1.4 weer gegeven. Op de y-as is de diepte van de wortels weergegeven, de x-as heeft als aanduiding de relatieve wortelverdeling. De blauwe lijn (case 1) in het figuur geeft een bodem weer waarin geen verdichting aanwezig is. De plantwortels hebben dus de kans om tot 100 cm te wortelen. Bij de rode lijn (case 2) is er verdichting aanwezig op 40 centimeter, de plant kan ook niet dieper wortelen dan de aangegeven 40 centimeter. De groene lijn (case 3) geeft aan dat de meeste wortels boven de verdichte laag aanwezig zijn, waarbij er nog enkele wortels door de verdichte laag heen groeien.

Kleigronden kunnen van nature herstellen door droogte of vorst, hierdoor gaat de grond krimpen en ontstaan er scheuren in de verdichte laag. De andere grondsoorten moeten het herstellend vermogen (veerkracht) vooral hebben van de organische stof in de bodem, een hoog organische stof in de grond zorgt ervoor dat de grond ingedrukt wordt bij een bepaalde druk en daarna weer terug

veert. In figuur 1.4 is de mate van verdichting per gebied te zien. De grondsoort in de gebieden heeft grote invloed op het herstellend vermogen.



Figuur 1.4 Mate van verdichting in Nederland (Akker & Hendriks, 2015)

De laatste jaren is veel onderzoek gedaan naar bodemverdichting. Uit een publicatie die is gedaan door van den Akker en Brus is naar voren gekomen dat naar schatting 43% van de ondergronden van Nederland is verdicht. Deze schatting is gebaseerd op een gestratificeerde steekproef waarvan op 128 locaties is gekeken naar de verdichting (Brus & Van den Akker, 2018). Dit houdt in dat deze gronden onvoldoende herstellend vermogen hebben of ze hebben niet voldoende tijd gehad om zich te herstellen door een intensief teeltplan dat wordt toegepast. Door een intensief teeltplan worden er minder rustgewassen zoals tarwe geteeld, en worden er zware bewerkingen op de grond uitgevoerd. Dit zorgt ervoor dat de grond niet kan herstellen van de schade die is aangebracht door bewerking of bereiding.

Onder grasland heeft bodemverdichting tegengestelde effecten op de opbrengsten. In natte jaren worden er lage opbrengsten behaald, maar deze worden gecompenseerd door hogere opbrengsten in droge jaren, waardoor het netto effect gering is (Zwart, et al., 2011). In een rapport dat is gepubliceerd door het Louis Bolk Instituut staat beschreven dat Engels raaigras 14 maanden na zaaien bij een niet verdichte grond kan wortelen tot ongeveer 80 centimeter (Deru, Eekeren, & Boer, 2010).

Wortels kunnen in verschillende klassen worden opgedeeld afhankelijk van het soort gewas. De wortels van bijvoorbeeld spruiten of luzerne bestaan grofweg uit penwortels en haarwortels. De penwortels zijn sterker en zijn eerder in staat om door een verdichte laag te door te dringen. Haarwortels zijn zwakker en zullen niet doordringen in een bepaalde mate van verdichting zoals penwortels dat kunnen (Zobel & Waisel, 2010).

Er zijn verschillende methoden/apparaten voor handen om bodemverdichting in kaart te brengen. Eén van die apparaten is de penetrologger, het apparaat meet middels een lange pen de indringingsweerstand die de pen ondergaat als het in de grond wordt geduwd. De gemeten indringingsweerstand kan gekoppeld worden aan de weerstand die een wortel ondergaat als het wil wortelen. Bij een indringingsweerstand van minder dan 1,5 MPa (Megapascal) wordt

wortelontwikkeling niet of nauwelijks beïnvloed. Bij een indringingsweerstand boven de 3 MPa is wortelgroei voor de meeste gewassen bijna onmogelijk (Lipiec & Hatano, 2003). Bij een goede bodemstructuur en een gezond, sterk wortelend gewas kan de bovengrens hoger zijn dan 3 MPa (Zwart, et al., 2011). De maximale indringingsweerstand is per gewas verschillend, de indringingsweerstand wordt gemeten als MPa.

Om bodemverdichting aan te tonen kan er gebruik gemaakt worden van ringmonster. Ringmonsters zijn ringvormige monsters die in de grond worden geslagen. De ringmonsters hebben een inhoud van 100 cm^3 , als de ringmonsters zijn gedroogd worden ze gewogen. Aan de hand van de gewichten van de grond kan worden omgerekend of de grond verdicht is. De onderstaande omrekenformule houdt hierbij rekening met het klei percentage in de grond.

Pakkingsdichtheid = Bulkdichtheid + 0.009 x klei% (Jones, Spoor, & Thomasson, 2003)

Met de omrekenformule wordt de pakkingsdichtheid (packing density) berekend. Als bij de ringmonsters het omgerekende gewicht kleiner is dan $1.40 \text{ gram per cm}^3$, dan is de verdichtingsgraad van de bodem heel laag. Wordt er een waarde berekend tussen 1.40 en $1.75 \text{ gram per cm}^3$ dan is er in de bodem verdichting aanwezig, maar hoeft nog niet schadelijk te zijn. Een berekende waarde boven de $1.75 \text{ gram per cm}^3$ grond duidt aan dat de grond zeer verdicht is. (Akker & Groot, 2008)

Een nieuwe methode op bodemverdichting te meten is het gebruik van radioactieve straling. Een voorbeeld hiervan is de RhoC meter, met behulp van de RhoC kan de bulkdichtheid van de bodem worden gemeten. De RhoC meter bepaalt de bodemdichtheid met behulp van een radioactieve bron die met een pen in de bodem wordt aangebracht. De hoeveelheid straling dat afkomstig is uit de bron wordt gemeten door een detector aan het oppervlak. De RhoC meet dan de verzwakking van het signaal door de bodem heen. Daaruit wordt de natte bulkdichtheid (grond/water/lucht) gemeten. Als het vochtgehalte bekend is kan de natte bulkdichtheid omgerekend worden naar de droge bulkdichtheid. (Technieken - Medusa, 2017)

1.5 Machines en bodemverdichting

De druk die op de bodem wordt uitgeoefend middels berijden met machines wordt uitgedrukt in Newton per vierkante centimeter of kilogram per vierkante centimeter (Holm, et al., 2011). De druk per vierkante centimeter is afhankelijk van het contactoppervlak van de band met de grond en het gewicht van de machine. Een machine met brede banden geeft minder druk per vierkante centimeter in het contact oppervlak dan een machine met smalle banden. De spanning in de banden (aantal bar) heeft invloed op de bodem, een band met lage bandenspanning zal platter worden en het contactoppervlak vergroten. Door de bodemverdichting wordt de vorming van bodemaggregaten verminderd. De ruimtelijke ordening van deze aggregaten binnen het bodemprofiel bepalen de mate van het effect op bodemverdichting. (Haan, Schoutsen, Balen, Bussink, & Haas, 2015)

Door berijding van de grond ontstaat er vervorming, maar niet alle vervorming in de grond is bodemverdichting. Bij elastische vervorming veert de grond terug en treedt er geen (extra) verdichting op. Bij plastische vervorming veert de grond niet terug, dit resulteert in verdichting. Bodemverdichting door machines wordt veroorzaakt door de eerste passage van de band over de grond, naarmate er meer wielpassages zijn neemt de verdichting toe. Het soort band en de druk in en op de band bepaalt in grote lijnen de mate van verdichting. De maximale diepte van verdichting in de ondergrond wordt grotendeels bepaald door de wielbelasting. Vaak wordt er verdichting

waargenomen dieper dan 40 cm bij een wielbelasting van meer dan 3 Mg (Megagram= 1 ton). Bij een wielbelasting van meer dan 4 Mg resulteerde dit in een verdichting op ongeveer 1 meter diepte (Håkansson, 2005). In de onderstaande tabel 1.1 zijn de waarden te zien van de om te rekenen eenheden naar de drukeenheid kg per vierkante centimeter.

Tabel 1.1 Omreken eenheden naar kg (per vierkante centimeter)

Drukeenheid	Drukeenheid
1 Bar	1,02 kg/cm ²
1 MPa	10.19 kg/cm ²
1 Megagram	1000 kg

Hoe meer bar er in de band wordt aangebracht middels oppompen hoe strakker de band gaat staan. Dit resulteert in een kleiner contactoppervlak met de grond, dus meer druk per vierkante centimeter vanuit de band op de ondergrond.

1.6 Hoofd- en deelvragen

Er is veel onderzoek gedaan naar bodemverdichting en de gevolgen ervan voor de bodem en de omgeving. In mindere mate is onderzoek gedaan naar weerstand die wortels ondergaan in de verdichte laag en wat de gewasschade daarbij is. Bekend is dat een indringingsweerstand hoger dan 3 MPa een negatief effect heeft op de wortelgroei van het gewas. Deze beperking in de worteldiepte zorgt voor een beperking in de opbrengsten van het gewas.

Wat nog vrijwel onbekend is, is de relatie tussen de gewasgroei, de wortelgroei en de verdichting in de ondergrond en hoe de ondergrond verdichting het effectiefst gemeten kan worden. De vraag die hierdoor centraal staat in dit onderzoek is:

“Wat is de relatie tussen gewasgroei, wortelgroei en ondergrondverdichting bij gras en hoe ondergrondverdichting effectief gemeten kan worden”?

Om op de bovenstaande vraag antwoord te kunnen geven is er gebruik gemaakt van de volgende deelvragen:

- Wat is de relatie tussen de gewasstand en de wortelgroei?
- Welke relatie is er tussen bulkdichtheid, indringingsweerstand en wortelmassa in de verdichte laag onder de bouwvoor?
- Wat is de correlatie tussen de fysieke bodemmetingen?

De doelstelling van dit onderzoeksrapport is het verkrijgen van meer inzicht tussen gewasstand, wortelgroei en ondergrondverdichting. Hiermee samenhangend de juiste, meest betrouwbare en makkelijkste methode om bodemverdichting te meten. Aan de hand van de onderzoeksresultaten kan er na afloop van dit onderzoek geconcludeerd worden wat de mogelijke samenhang is tussen de gewasstand en wortelgroei en de relatie tussen bulkdichtheid, indringingsweerstand en de wortelmassa in de verdichte laag onder de bouwvoor. Ook de meest effectieve manier van bepaling van bodemverdichting wordt onderzocht, vanuit deze inzichten kunnen agrariërs handelen om de verdichting makkelijk te meten, en zo vroegtijdig derving van gewasopbrengsten beperken door maatregelen.

H2. Materiaal en methode

In dit hoofdstuk materiaal en methode wordt ingegaan op de manier waarop het onderzoek is voorbereid en uitgevoerd. Allereerst wordt beschreven hoe het literatuuronderzoek tot stand is gekomen, daarna wordt het materiaal beschreven dat nodig en gebruikt is voor het onderzoek. Als derde wordt de manier van het onderzoek beschreven, waarnaar de methode om de deelvragen te beantwoorden wordt beschreven. Tot slot wordt beschreven wat er met de gegevens wordt gedaan en hoe ze zijn geanalyseerd.

2.1 Literatuur onderzoek

Voor het tot stand komen van de inleiding van het vooronderzoek is gebruik gemaakt van literatuur die beschikbaar is. Deze literatuur betreft voornamelijk tekst uit wetenschappelijke artikelen, rapporten en artikelen uit vakbladen. De literatuur die is gezocht is voornamelijk gevonden via Greeni of de beschikbare wetenschappelijke databanken zoals; science direct, wiley en scholar. Tevens is gebruik gemaakt van een aantal artikelen/publicaties van Wageningen University & Research.

Tijdens de zoektocht naar literatuur is gebruik gemaakt van de volgende zoektermen; bodemverdichting, bodemverdichting en wortel groei, root growth, root development, soil compaction en soil compaction and root growth.

2.2 Materiaal

Om de metingen uit te voeren is gebruik gemaakt van verschillende apparaten, en zijn er verschillende waarnemingen uitgevoerd in het veld:

- Penetrologger: hiermee is de indringingsweerstand van de grond gemeten. Hoe meer druk moet worden uitgeoefend hoe hoger de weerstand van de grond is tegen indringing. Op het scherm van de penetrologger bevindt zich een grafiek met daarin de diepte en de bijbehorende indringingsweerstand. De bijbehorende punt(conus) van de penetrologger om de weerstand van de bodem te meten heeft een oppervlakte van 1 cm^2 .
- Wortelboorset: met deze meting is een koker de grond in geslagen op een diepte waar zich de verdichtlaag ongeveer bevindt. Als de koker met grond is gevuld wordt het weer uit de grond gehaald. De koker van de wortelboor is 7,9 cm breed en 14 cm lang, de totale inhoud van de koker bedraagt $686,23 \text{ cm}^3$. In de koker bevindt zich een monster met grond en eventueel een hoeveelheid wortels dat zich in de verdichte laag bevindt.
- Ringmonsters/hamer: als er een profielkuil is gegraven, wordt er bepaald aan de hand van de penetrologger grafiek op welke diepte de verdichte laag zich bevindt. In deze laag zijn op 2 diepten 2 keer ringen geslagen. Totaal zijn er per profielkuil dus 4 ringmonsters gestoken, de ringmonsters hebben een totale inhoud van 100 cm^3 grond.
- RhoC meting: met deze meting is digitaal de dichtheid van de bodem gemeten. De RhoC meter werkt met een zender en een ontvanger, de ontvanger ontvangt het signaal dat de zender verzendt. Hoe dichter de grond is hoe zwakker het signaal wordt.
- Wetsensor: met deze meting is de hoeveelheid vocht in de bodem gemeten. Het vochtgehalte is later van belang voor het uitrekenen van de RhoC waarden.
- Meetlint: dieptebepaling en worteldiepte meten.

De bovenstaande werktuigen/benodigdheden zijn nodig gebleken om de metingen uit te voeren. Daarnaast zijn nog een schep en een spade gebruikt om de profielkuil te graven.

Naast de bovenstaande benodigdheden waren nog een aantal andere materialen nodig om de metingen in het lab te doen:

- Zeef: om de wortels uit het monster te spoelen

- Weegschaal: om het aantal wortels en de grond te wegen
- Droogstoof: grond drogen om te wegen (dichtheid)

2.3 Onderzoeksmethode

De metingen is uitgevoerd op een perceel met een bepaalde grondsoort, voorkeur ging uit naar een lichte/zware zavel of een lichte kleigrond, omdat deze gronden minder zijn gescheurd op een natuurlijke manier door de droogte van afgelopen zomer in vergelijking met een zware kleigrond. De keuze van het perceel werd niet alleen bepaald door de grondsoort, maar ook het gewas dat er op staat. Dat heeft invloed op de wortelgroei in de verdichte laag.

Het ter velde staande gewas is gras, dit gewas is in staat om tot ongeveer 80 centimeter te wortelen zoals in het vooronderzoek is beschreven. De eis daarbij is dat het grasland minimaal 14 maanden oud moet zijn om de diepte te bereiken. Als deze diepte niet is bereikt zijn er andere oorzaken waardoor het gewas is gehinderd, een voor de hand liggende oorzaak kan bodemverdichting zijn.

Om een goed beeld te krijgen van hoe het gewas het afgelopen jaar is gegroeid is gebruik gemaakt van beelden van satellietdataportaal zoals op figuur 2.1 is te zien. Het betreffende perceel is gearceerd met een blauwe lijn zoals op de afbeelding is te zien. Binnen het perceel is met behulp van een zwarte lijn een stuk afgebakend, dit is gedaan omdat in het overige stuk van het perceel een diepe grondbewerking is uitgevoerd, hierdoor kunnen de resultaten anders zijn. Met behulp van punten zijn de profielkuilen op de afbeelding weergegeven. Iedere profielkuil heeft een eigen nummer en locatie zoals op afbeelding 2.1 is te zien.



Figuur 2.1 Beeld van perceel via satelliet dataportaal (satellietdataportaal, 2018)

Door het goed bestuderen van de satellietbeelden en waarnemingen met het oog konden er variaties in het gewas worden opgemerkt. Het vooraf geplande gesprek met de ondernemer over het perceel zorgde voor meer inzicht over slechte en goede plekken, bijvoorbeeld natte plekken na buien. Deze variaties zouden kunnen duiden op bodemverdichting of verslemping. Op de plekken waar bodemverdichting werd vermoed/verwacht is er met een prikstok geprikt om het aan te tonen.

Als er met de prikstok waargenomen werd dat er verdichting aanwezig is, werd er een profielkuil gegraven. De profielkuilen zijn uitgegraven tot een diepte van ongeveer 75 centimeter. Dit is diep genoeg om de metingen uit te voeren, aangezien de meeste verdichting voorkomt op ongeveer 20-40 centimeter zoals in het vooronderzoek is beschreven.

Om het onderzoek meer betrouwbaar te maken zijn er meerdere metingen in het perceel gedaan. Er zijn totaal 10 profielkuilen gegraven om de metingen uit te voeren. Meer kuilen waren niet mogelijk in verband met de tijdsplanning.

De metingen aan de (boven)grond zijn uitgevoerd zoals ze in onderstaande volgorde(stappen) zijn beschreven:

1. Als de locatie van het onderzoek bekend is dan werd deze gemarkeerd met een oranje bordje met daarop het locatienummer van de meting.
2. Rond dit bordje is met de penetrologger de indringingsweerstand van de bodem gemeten. Door met de penetrologger 6 x te steken in een driehoek op een oppervlakte van een halve vierkante meter. Deze 6 herhalingen geven een indicatie van de indringingsweerstand per locatie.
3. In de driehoek die is ontstaan door de penetrologgermetingen zijn er met behulp van de wortelboor 3 monsters gestoken op de diepte waar de verdichting voorkomt. Dit betrof een diepte van 21 tot 40 centimeter.
4. Na deze meting wordt de profielkuil gegraven tot een diepte van ongeveer 75 centimeter.

De penetrologger maakt aan de hand van de weerstand die de sensor ondervindt een lijngrafiek. De grafiek van de weerstand die het ondervindt staat op het beeldscherm van de logger. Ter plekke kan dus bepaald worden op welke diepte de penetrologger de meeste weerstand ondervindt. Op deze diepte kan het monster van de wortelboor worden gestoken.

In de profielkuil zijn op verschillende diepten metingen uitgevoerd met de RhoC en de wetsensor. De diepte van de metingen betreft 15, 25, 35 en 45 centimeter onder het maaiveld. Aan weersijden van het wortelboommonster zijn totaal 4 ringenmonsters geslagen voor het bepalen van de dichtheid, deze dichtheid is gemeten aan de hand van het drooggewicht van de grond in de ringen(volume).

De grondmonsters uit de ringmonsters zijn eerst gedroogd 48 uur gedroogd in de droogstoof en daarna gewogen om het gewicht van de grond te bepalen. Hoe hoger het gewicht was hoe meer grond er in de ringen zit. Dit houdt in dat de grond compacter is en er meer verdichting aanwezig is.

2.4 Methode deelvragen

Aan de hand van het beantwoorden van de verschillende deelvragen is er naar een antwoord op de hoofdvraag gezocht. Om de verschillende deelvragen te kunnen beantwoorden, zijn er binnen het onderzoek verschillende meetbare punten onderzocht. Hoe en welke meting is gedaan is voor elke deelvraag verschillend. De verschillende methodes waarop dit wordt gedaan zijn in de volgende onderdelen beschreven.

Wat is de relatie tussen de gewasstand en de wortelgroei?

Om op deze deelvraag antwoord te geven is gebruik gemaakt van satellietbeelden en waarnemingen in het perceel. De beelden worden verworven door een satelliet die eens in de anderhalve maand overvliegt en foto's neemt vanuit de ruimte. Deze beelden zijn uit te vergroten en zijn zo gebruikt als data voor het onderzoek. De beelden die zijn gebruikt dateren uit het groeiseizoen van 2018. Door de satellietbeelden goed te bestuderen konden er verschillen in gewasgroei worden opgemerkt, door de verschillen van de satellietbeelden en de waarneming in het veld samen te voegen zijn er

plekken/locaties naar voren gekomen waarop verschillen in gewasopstand te zien waren. De tien aangewezen locaties zijn opgedeeld in twee varianten van gewasstand namelijk goed en slecht.

Op de aangewezen locaties zijn profielkuilen gegraven waarna metingen zijn gedaan naar de wortelmassa. Per locatie zijn er 3 metingen gedaan met de wortelboor. Na het monstren is het grondmonster uit de wortelboor doorgespoeld met water met behulp van een zeef, deze handeling is in het lab uitgevoerd. De grond is weggespoeld en de wortels blijven achter, de achtergebleven wortels zijn naderhand gedroogd en gewogen.

Met behulp van Genstat is berekend of er een relatie aanwezig is tussen de gewasstand en de wortelmassa per locatie.

Welke relatie is er tussen bulkdichtheid, indringingsweerstand en de wortelmassa in de verdichte laag onder de bouwvoor?

Er zijn verschillende manieren om bodemverdichting in kaart te brengen. De gebruikelijke waarden die gemeten worden betreffen de indringingsweerstand en de (bulk)dichtheid van de grond. De indringingsweerstand wordt gemeten met behulp van de penetrologger de (bulk)dichtheid wordt gemeten middels de RhoC meter en de ringmonsters. Daarnaast wordt de wortelmassa gemeten met behulp van de wortelboor.

Door de bovengenoemde waarden te onderzoeken is met behulp van Genstat berekend of er relatie aanwezig is tussen de waarden van bodemverdichting, namelijk indringingsweerstand en (bulk)dichtheid. Deze waarden zijn ook vergeleken met de massa aan wortels die bij de locaties is gemeten middels de wortelboor.

Wat is de correlatie tussen de fysieke bodemmetingen

Bij deze deelvraag worden de metingen uitgevoerd in de profielkuil. Om de bulkdichtheid van de grond te meten worden monsterringen in de verdichte laag geslagen, dit is gebeurd op 2 diepten met totaal 4 ringen zoals in de onderzoeksmethode is beschreven. Daarnaast is er met behulp van de RhoC in de profielkuil op verschillende diepten de dichtheid gemeten. Ook zijn de metingen van de penetrologger gebruikt om de samenhang tussen de meetmethoden te berekenen.

De data die is verzameld middels het meten van de bodemverdichting is naderhand in een Excelbestand geplaatst om geanalyseerd te worden op een eventuele samenhang tussen de methoden. Daarnaast is keken welke methode van meten het meest efficiënt is en welke makkelijk in de praktijk toegepast kan worden.

2.5 Statistische analyse

Om de data te analyseren wordt gebruikt gemaakt van het programma Genstat. Zowel de bulkdichtheid, indringingsweerstand en gewasstand zijn schaalvariabelen en de meting van het totaal aantal wortels in de wortelboor ook. Om de samenhang/correlatie tussen de variabelen te berekenen wordt een correlatie berekening uitgevoerd.

H3. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de verkregen resultaten van het onderzoek in beeld gebracht. De opgestelde deelvragen zullen worden beantwoordt om zo tot een antwoord op de hoofdvraag te komen. De resultaten zullen in het nakomende hoofdstuk discussie verder worden uitgewerkt en bekritiseert.

Uit de veldmetingen, satellietbeelden en nabehandeling van de grondmonsters zijn verschillende gegevens verkregen die inzicht geven in bodemverdichting en wortelgroei. Om een zo duidelijk mogelijk beeld te creëren van de uitslagen worden de deelvragen stuk voor stuk uitgewerkt aan de hand van grafieken en tabellen.

3.1 De relatie tussen de gewasstand en de wortelgroei

Om op deze deelvraag antwoord te geven is gebruik gemaakt van het satellietbeeld van het perceel zoals op figuur 2.1 in hoofdstuk 2 is weergegeven. Aan de hand van het satellietbeeld en enige kennis van het perceel zijn de locaties voor het bemonsteren/veldwerk gekozen. In tabel 3.1 zijn de locaties opgedeeld in 2 varianten van gewasstand namelijk goed en slecht. Daarachter zijn de bijbehorende wortelgewichten in grammen per 686,23 cm³ weergegeven.

Tabel 3.1 Locaties opgedeeld in variaties is gewasgroei en de 3 bijbehorende gemeten wortelgewichten per locatie op 21 tot 40 centimeter diepte

Locatie grasgroei goed	Wortelgewicht	Locatie grasgroei slecht	Wortelgewicht(gram)
1	1,2514	3	0,8008
1	1,2395	3	0,8681
1	1,6118	3	1,0187
2	0,7456	4	0,4745
2	0,5263	4	0,4806
2	1,187	4	0,9218
6	0,3465	5	0,3992
6	0,3137	5	0,3073
6	0,3046	5	1,0799
7	0,204	9	0,1479
7	0,1897	9	0,1671
7	0,2282	9	0,3442
8	0,168	10	0,0754
8	0,1561	10	0,0554
8	0,2715	10	0,1332

Om aan te tonen of een significant verschil aanwezig is tussen de locaties met een goede grasgroei en locaties met een slechte grasgroei zijn de locaties en de bijbehorende wortelmassa's statistische geanalyseerd door Genstat. In de onderstaande tabel 3.2 zijn de uitslagen van de Genstat analyse weergegeven.

Tabel 3.2 Genstat uitslag van de variaties in gewasgroei per locatie

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Locatie stratum					
Stand	1	0,07201	0,07201	0,13	0,726
Residual	8	4,37281	0,5466	12,63	
Locatie.*Units* stratum	20	0,86523	0,04326		
Total	29	5,31004			

Tabel 3.2 geeft de uitslag van Genstat weer, hierbij zijn de locaties opgedeeld in gewasstand. Het getal bij uitslag F pr. namelijk 0.73 geeft de waarde weer of de locaties significant van elkaar verschillen of niet.

3.2 De relatie tussen bulkdichtheid, indringingsweerstand en wortelmassa in de verdichte laag

Om op deze deelvraag antwoord te kunnen geven zijn de indringingsweerstand gemeten met de penetrologger, de (bulk)dichtheid van de grond gemeten met de RhoC en de ringmonsters en het wortelgewicht uit het wortelboormonster statistische geanalyseerd. De uitslag van de samenhang (correlatie) tussen de waarden is weergegeven in tabel 3.3

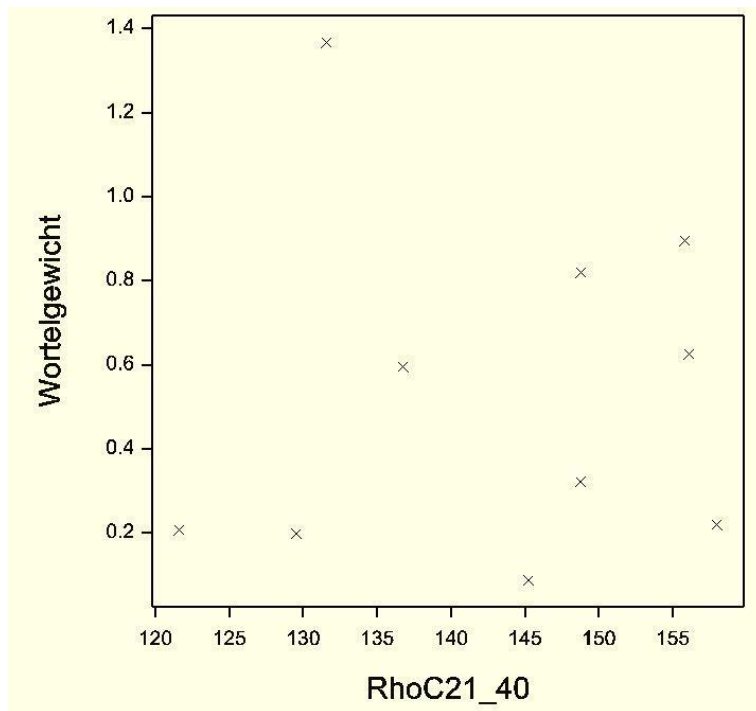
Tabel 3.3 Uitslagen correlaties met betrekking tot penetrologgermeting, RhoC meting, ringmonsters en wortelmassa

Meetmethode	Nummer	Correlatie	Correlatie	Correlatie	Correlatie
Penetrologger	1	-	-	-	-
RhoC	2	0.1488	-	-	-
Ringmonsters	3	0.393	0.0233	-	-
Wortelgewicht	4	0.3437	0.0467	- 0.1905	-
Nummer	-	1	2	3	4

Om de bovenstaande correlatiegetallen van wortelgewicht in samenhang met de indringingsweerstand of (bulk)dichtheid van de grond inzichtelijk te maken zijn onderstaand 3 scatterplots weergegeven. In een scatterplot wordt de relatie tussen de 2 variabelen weergegeven middels punten. Elk punt in de scatterplot staat voor een respondent met de bepaalde score voor bodemweerstand/dichtheid en wortelgewicht, welke staan weergegeven op de x- en y-as.

De diepte waarop de metingen van de RhoC, ringmonsters en de penetrologgermetingen zijn uitgevoerd betreft 21 tot 40 centimeter onder maaiveld. Op deze zelfde diepte is ook het wortelboormonster gestoken. Op de x-as staat de methode van hoe de bodemweerstand/dichtheid is gemeten met daarachter de diepte waarvan de data is gebruikt, namelijk 21 tot en met 40 centimeter onder het maaiveld.

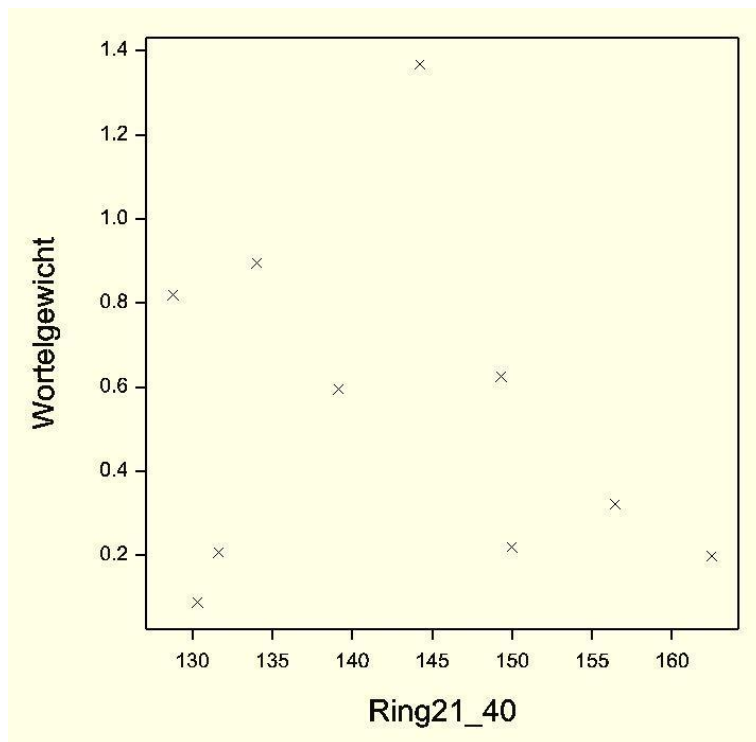
In het onderstaande scatterplot figuur 3.1 wordt de relatie tussen de variabelen RhoC gemeten in bulkdichtheid en het wortelgewicht gemeten met het wortelboormonster weergegeven.



Figuur 3.1 Scatterplot weergave van wortelgewicht op de y-as en bulkdichtheid van de grond middels de RhoC meting op de x-as

De variatie in ligging van de punten die op figuur 3.1 zijn afgebeeld verschillen van elkaar. De 10 punten op de afbeelding geven de 10 locaties weer die zijn onderzocht. Het wortelgewicht op de y-as geeft de massa van het aantal wortels weer dat in het wortelboormonster aanwezig was. De variatie in wortelgewicht varieerde per locatie erg zoals op de y-as is te zien. De x-as geeft de waarde van de penetrologer weer op een diepte van 21 tot 40 centimeter onder maaiveld.

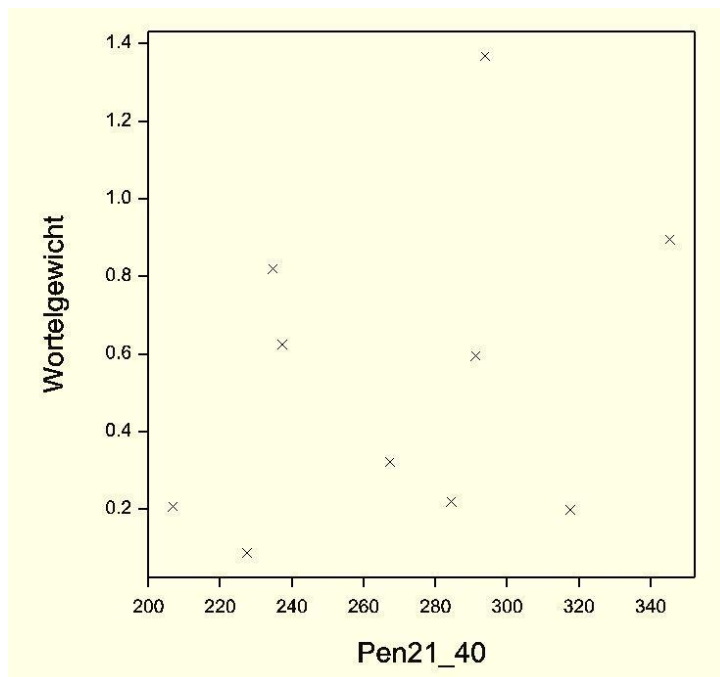
In het onderstaande scatterplot figuur 3.2 wordt de relatie tussen de variabelen wortelgewicht en de bodemdichtheid weergegeven. De bodemdichtheid is gemeten in grammen per 100 cm³ grond met behulp van de ringmonsters.



Figuur 3.2 Scatterplot weergave van wortelgewicht op de y-as en bulkdichtheid gemeten middels de ringmonsters op de x-as

De 10 punten op figuur 3.2 geven de locaties weer die zijn gebruikt voor het onderzoek. Op de y-as is een weergave van het massa wortels dat is gemeten weergegeven. Op de x-as zijn de gewichten van de ringmonsters weergegeven, de ringmonsters zijn gestoken op een diepte tussen de 21 en 40 centimeter onder maaiveld.

In de onderstaande figuur 3.3 is de scatterplot weergegeven van het wortelgewicht, gestoken met de wortelboor en de indringingsweerstand gemeten met de penetrologger.



Figuur 3.3 Scatterplot weergave van wortelgewicht op de y-as en indringingsweerstand gemeten met de penetrologger op de x-as

Zoals op figuur 3.3 is weergegeven betreft ook de vergelijking tussen wortelgewicht en penetrologger 10 verschillende punten van waarneming. Het wortelgewicht is op de y-as weergegeven, de penetrologger waarden zijn op de x-as weergegeven. De diepte van de penetrologger waarnemingen betreft 21 tot 40 centimeter onder maaiveld

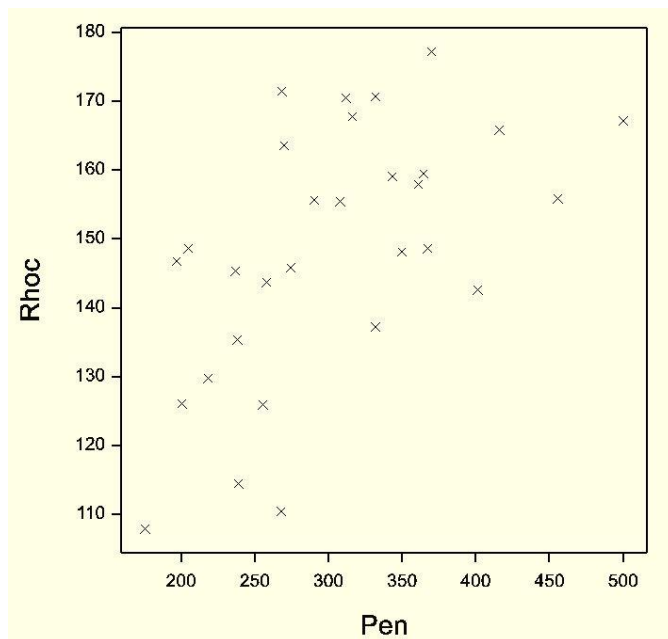
3.3 De correlatie tussen de fysieke bodemmetingen

Om op deze deelvraag een antwoord te verkrijgen is de data dat uit de meetsystemen is verkregen geanalyseerd op een eventuele samenhang. In tabel 3.4 zijn de correlaties weergegeven die tussen de meetsystemen aanwezig zijn.

Tabel 3.4 Weergave van correlaties tussen de gebruikte meetmethoden

Meetmethode	Nummer	Correlatie	Correlatie	Correlatie
Penetrologger	1	-	-	-
RhoC	2	0.5663	-	-
Ringmonsters	3	0.6453	0.5289	-
Nummer		1	2	3

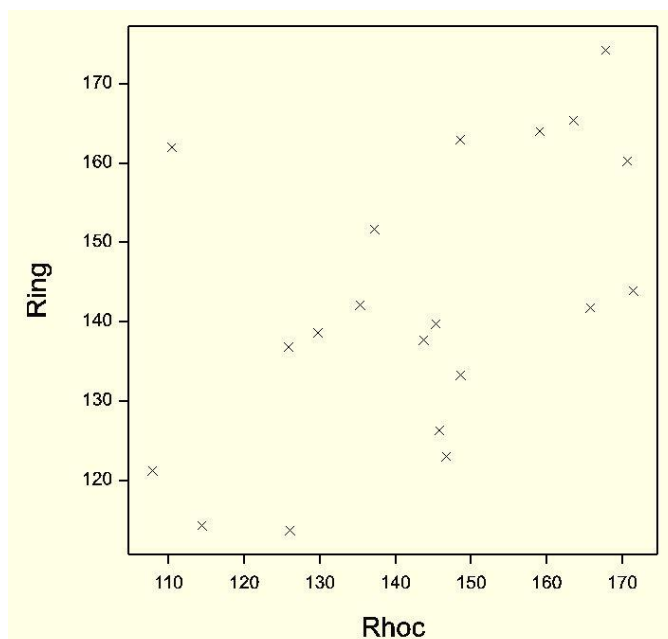
Bij elke correlatie die in tabel 3.4 aanwezig is hoort een scatterplot. In figuur 3.4 is de scatterplot van de waarden van de RhoC op de y-as te zien en de waarden van de penetrologger op de x-as. De waarden op de y-as zijn uitgedrukt in grammen per 100 cm³ grond. De penetrologger waarden zijn uitgedrukt in megapascaldruk die de penetrologger heeft ondervonden.



Figuur 3.4 Scatterplot van penetrologger op de x-as en de waarden van de RhoC op de y-as

In de bovenstaande scatterplot is een puntenwolk van de RhoC in vergelijking met de penetrologger te zien. Totaal zijn er 30 punten aanwezig in de puntenwolk, dit komt omdat er van de RhoC 3 metingen per profielkuil zijn uitgevoerd en er 10 profielkuilen gegraven zijn. De punten in de scatterplot lopen redelijk uiteen, van laag bij een lage Pen en RhoC waarde naar hoog bij een hoge Pen en RhoC waarde.

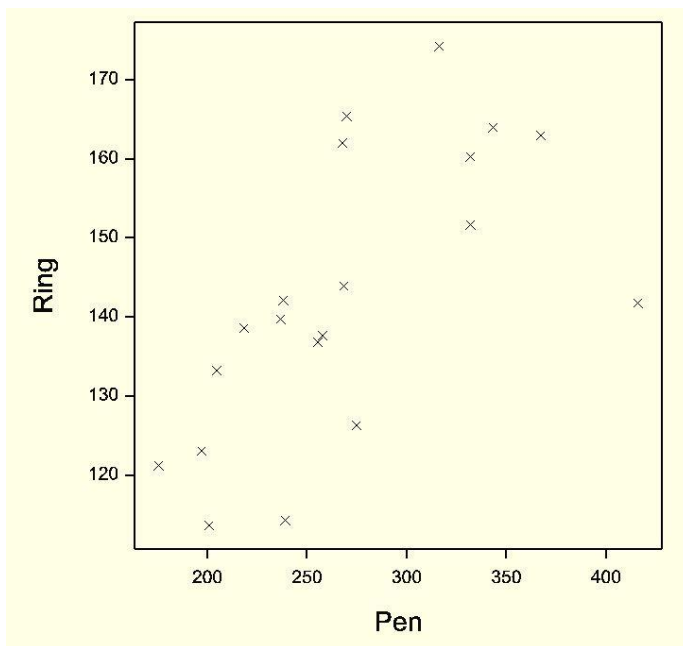
In het onderstaande figuur 3.5 is de scatterplot weergave van de ringmonsters en de RhoC meting weergegeven. De waarden van de ringmonsters op de y-as zijn weergegeven in grammen per 100 cm³ grond. De waarden van de RhoC zijn op de x-as weergegeven.



Figuur 3.5 Scatterplot van de uitslagen van de ringmonsters op de y-as en de waarden van de RhoC op de x-as

In de bovenstaande scatterplot figuur 3.5 zijn 20 punten aanwezig. Meer punten waren niet mogelijk omdat het aantal ringmonsters per diepte beperkt is. Totaal zijn er 4 ringmonsters geslagen in de 2 diepten die relevant waren voor het onderzoek. Deze 4 ringmonsters per diepte zijn teruggebracht middels gemiddelden naar 1 ringmonster per diepte. Totaal waren 2 diepten relevant voor de vergelijking, vandaar het limiet van 2 punten bij de ringmonsters.

In het onderstaande figuur 3.6 is de scatterplot van de ringmonsters en de penetrologger weergegeven. Op de y-as bevinden zich de waarden van de ringmonsters uitgedrukt in grammen per 100 cm³ grond. Op de x-as bevinden zich de waarden die gemeten zijn met behulp van de penetrologger, deze gemeten waarden betreft de druk die penetrologger heeft ondervonden.



Figuur 3.6 Scatterplot met de waarden van de ringmonsters op de y-as en de waarden van de penetrologger op de x-as

Op scatterplot 3.6 is te zien dat er 20 punten aanwezig zijn. Dit komt omdat er net zoals bij figuur 3.5 is vermeld het aantal ringmonsters beperkend is geweest. De penetrologger waarden zijn waargenomen op 21 tot 40 centimeter onder het maaiveld.

H4. Discussie

In dit hoofdstuk worden de resultaten, die zijn weergegeven in het voorgaande hoofdstuk 3 per deelvraag toegelicht en ter discussie gesteld. Daarnaast wordt gereflecteerd op de methode van het onderzoek. De doelstelling van dit onderzoeksrapport is, het verkrijgen van meer inzicht tussen gewasstand, wortelgroei en ondergrondverdichting. Hiermee samenhangend de juiste, meest betrouwbare en meest efficiëntst/makkelijkste methode om bodemverdichting te meten. De verworven resultaten zijn middels de correlatie analyse statistische onderzocht.

4.1 De relatie tussen de gewasstand en de wortelgroei

De bovenstaande deelvraag “De relatie tussen de gewasstand en de wortelgroei” draagt bij aan het beantwoorden van de hoofdvraag. Uit de beelden die zijn gebruikt valt op te maken dat er verschillen zijn in gewasstand op het perceel. Door een antwoord te vinden op de bovenstaande deelvraag wordt er mogelijk onderzocht wat de relatie is tussen de gewasstand aan de hand van satellietbeelden en wortelgroei van het gewas.

De verkregen uitslagen van het onderzoek zijn statistisch geanalyseerd om een relatie tussen de gewasstand en de wortelgroei aan te tonen. Uit de statistische analyse blijkt dat het verband tussen de gewasstand en de wortelgroei 0.73 is. Dit verband is niet significant, het antwoord op de deelvraag is dat er geen significant verband aanwezig is tussen de wortelgroei en de gewasstand. De onderstaande redenen kunnen van invloed zijn geweest op de uitslag van deze deelvraag.

De satellietbeelden geven een weergave van het perceel zoals in figuur 2.1 is te zien. De beelden geven een grove indicatie van de variaties in gewasstand op het perceel, maar de metingen van de wortelmassa's zijn heel specifiek en betreft een oppervlakte van 32 cm² per meting keer 3 metingen. Totaal is er op een vierkante meter ongeveer 96 cm² onderzocht op wortelmassa. De meting van de wortelmassa is heel plaats specifiek in tegenstelling tot de data van de satelliet wat veel oppervlakkiger is. Hierdoor is het de vraag of de meting van de gewasopbrengst wel betrouwbaar genoeg is.

Gewasopbrengst kan ook door andere factoren worden beïnvloed. Bemesting is cruciaal voor een goed functionerend gewas, maar per locatie kunnen er variaties in bemesting van zowel drijfmest als kunstmest zitten die zorgen voor een beter of minder goed presterende plant. Het kan dus voorkomen dat er verschil zitten in gewasopbrengst terwijl de wortelmassa van de planten gelijk is. Dit heeft ook invloed op de betrouwbaarheid van de meting.

Onkruiddruk kan ook invloed hebben op de opbrengsten van het gewas. Door onkruiddruk kan het gewas worden verdrongen waardoor het gewas minder presteert. Maar ook de wortelmassa metingen wordt hierdoor minder betrouwbaar, het kan voor zijn gekomen dat er niet alleen wortels van het gewas gras zijn gewogen maar dat er ook wortels van onkruiden in zaten. Hierdoor kan zowel aan de betrouwbaarheid van de gewasstand meting als aan de meting van de wortelmassa worden getwijfeld.

Binnen het perceel dat is gemeten is er variatie aanwezig in het lutumgehalte van de grond, gemiddeld wordt het lutumgehalte geschat op 30 %, dit betekent dat het een lichte kleigrond betreft waarop het onderzoek is uitgevoerd. De variatie in het lutum gehalte kan invloed hebben op de worteling van het gewas. Een eigenschap van lutum is dat het goed kan zwellen en krimpen zoals in de inleiding is vermeld. Aangezien 2018 een erg droog jaar is geweest ligt het voor de hand dat de

grond is gaan scheuren en de wortels kans hebben gezien om toch te wortelen door de scheuren. Dit kan er voor gezorgd hebben dat er meer onzekerheid is in de metingen van het massa gewicht van de wortels.

Zoals bovenstaand is vermeld zijn er verschillende factoren die positief of negatief invloed gehad kunnen hebben op de gewasgroei, de indeling daarvan, de wortelmassa en de meting van de wortelmassa.

4.2 De relatie tussen bulkdichtheid, indringingsweerstand en wortelmassa in de verdichte laag

Om deze deelvraag te beantwoorden is gebruik gemaakt van verschillende meetsystemen om bodemverdichting inzichtelijk te maken. Ook bij deze deelvraag komt de betrouwbaarheid van de wortelmassa meting weer naar voren zoals in de voorgaande deelvraag ook is beschreven.

Uit tabel 3.3 in hoofdstuk 3 blijkt dat de waarde van de penetrologger en het wortelgewicht positief correleren met de waarde 0.3437. Dit houdt in dat als de indringingsweerstand hoger wordt er ook meer wortels aanwezig zijn. Dit is in strijd met wat er in het vooronderzoek is vermeld, hoe hoger de indringingsweerstand hoe minder wortelgroei er mogelijk is.

Tussen het wortelgewicht en RhoC is de correlatie 0.0467, er is dus geen correlatie aanwezig tussen wortelgewicht en de dichtheid gemeten met de RhoC.

Het wortelgewicht en de ringmonsters correleren negatief met elkaar namelijk -0.1905. Dit houdt in als er een hogere bulkdichtheid is gemeten er minder wortels in de grond aanwezig zijn. In het vooronderzoek word beschreven dat de bulkdichtheid hoger is de wortelmassa minder word, dit komt dus overeen. Maar de correlatie tussen het wortelgewicht en de ringmonsters is zo zwak dat het niet betrouwbaar is.

Uit de gemeten waarden van de wortelmassa kwam naar voren dat de variatie erg groot is ook in vergelijking met de mate van verdichting. Soms kwam het voor dat er veel verdichting aanwezig is maar er ook veel wortelgroei was. Het opvallende is dus dat er veel variatie aanwezig is ongeacht de verdichting van de grond. De wortelmassa is alleen gemeten in de verdichte laag, hierdoor is er geen duidelijke waarde aanwezig wat betreft wortelgroei die niet belemmert is tijdens de groei. Het ontbreken van deze nulmeting zorgt ervoor dat er niks kan worden vermeldt over de wortelgroei.

De bulkdichtheid is middels twee meetsystemen gemeten, beide systemen van meten hebben enige mate van onbetrouwbaarheid zoals hier onderstaand is beschreven. Bij het meten van de bulkdichtheid is gebruik gemaakt van de RhoC meter. De RhoC meet de dichtheid van de bodem met behulp van signalen/straling. Daarnaast is met de WET-sensor de vochtigheid van de bodem gemeten. Met behulp van een rekensom zijn de ruwe waarden van de RhoC verrekent met het vochtgehalte van de bodem. Deze rekensom zou moeten resulteren in de dichtheid van de grond. Maar er zijn veel meer waarden/materialen die invloed kunnen hebben op de uitslagen van de RhoC meter. Het zoutgehalte van de grond heeft invloed op de staling die wordt afgegeven, maar ook plantwortels en grondsoort. Dit wordt niet meegenomen in de correctie van de ruwe waarden die de RhoC meter weergeeft.

Het andere systeem dat is gebruikt om de bulkdichtheid te meten zijn de ringmonsters, ook hierbij is er enige mate van onbetrouwbaarheid aanwezig. Tijdens het slaan van de ringmonsters wordt de

grond in de ring door de trilling die ontstaat ook wat losser, dit heeft invloed op het gewicht van de grond die in de ring aanwezig is. Maar ook de ring met het kopstuk te ver in de grond slaan heeft invloed op de meting. Door de ring te ver in de grond te slaan wordt de grond in de kop geduwd, dit resulteert dat de grond in de ring ook wordt aangeduwd, waardoor er meer grond in de ring aanwezig is dat hoort. Zoals in het bovenstaande is beschreven, komt het steken van de ringmonsters erg nauwkeurig. Een enkele harde klap meer of minder kan het verschil maken van het gewicht in de ring.

Met behulp van de penetrologger is de indringingsweerstand gemeten. Aan de betrouwbaarheid van de penetrologger kan worden getwijfeld, als er schelpjes/steentjes in de bodem voorkomen kunnen die invloed hebben op de waarde die de penetrologger aangeeft. Daarbij verschillen de waarden die de penetrologger ondervindt ook per persoon. Ook de snelheid van indringen in de bodem is van belang, in een droge kleigrond is moeilijker in te dringen dan in een natte kleigrond, dit kan invloed hebben gehad op de uitslag van de penetrologger waarden.

4.3 De correlatie tussen de fysieke bodemmetingen

Tussen de verschillende fysieke meetmethoden om bodemverdichting te meten zijn er correlaties berekend zoals in tabel 3.4 van hoofdstuk 3 is te zien. De meetmethoden met de hoogste correlatie waarde dus de meeste samenhang betreffen de ringmonsters en de penetrologger, deze twee methoden correleren met 0.6453. Deze correlatie geeft redelijk goed weer dat ze overeenkomen met de individueel gemeten waarden.

Tussen de RhoC en de penetrologger is de samenhang 0.5663 aanwezig, deze correlatiewaarde is een matige indicatie tussen de individueel gemeten bodemverdichtingswaarde. De laagste correlatie komt voort tussen de ringmonsters en de RhoC, deze methoden hebben een correlatie waarde van 0.5289. Deze waarde is laag, en zegt niet veel over de samenhang tussen de meetmethoden.

Aan elke gebruikte meetmethode om bodemverdichting te meten zijn er een aantal punten van aandacht te benoemen. Bij de penetrologger betreft het vooral het vochtgehalte van de bodem en de opbouw van de bodem. Als het vochtgehalte te hoog is wordt de grond makkelijker om in te dringen, als het vochtgehalte laag is wordt de grond harder en wordt het indringen moeilijker. Ook de opbouw van de bodem is van belang, als er veel schelpjes, steentjes of verschillende bodemtypen aanwezig zijn dat wordt het indringen lastiger en de uitslagen minder betrouwbaar. Verder is de penetrologger wel de makkelijkste van bodemverdichting meten. De meting kan redelijk snel en makkelijk uitgevoerd worden. Ten opzichte van de andere meetmethoden hoeft bij de penetrologger geen profielkuil gegraven te worden, wat veel tijd bespaard.

Ook bij de RhoC en de ringmonsters zijn er punten van aandacht. Hierbij betreft het vooral de plantwortels en steentjes die voor andere uitslagen kunnen zorgen. Ook de trilling van de meetapparatuur in de grond aanbrengen kan invloed hebben op de resultaten, hierdoor kan de grond vaster of losser gaan zitten wat de resultaten negatief beïnvloed.

H5. Conclusie en Aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt de hoofdvraag beantwoord, verder wordt er een conclusie getrokken over het gedane onderzoek en de verkregen informatie.

Gedurende het onderzoek is er informatie verkregen die tot een antwoord op de hoofdvraag “Wat is de relatie tussen gewasgroei, wortelgroei en ondergrondverdichting bij gras en hoe ondergrondverdichting effectief gemeten kan worden”? kan leiden.

Zoals in hoofdstuk 4 per deelvraag is aangegeven zijn er veel complexe processen in de bodem die het meten van verdichting bemoeilijken. Een juiste manier om bodemverdichting te meten is er niet, en de meetmethoden zijn beperkt. Bodemverdichting binnen het perceel varieert zowel op het horizontale vlak als het verticale vlak, bodemverdichting is dus niet overal even diep, dik en even ernstig.

De vraagstelling van dit onderzoek is zo groot en bodemverdichting te complex dat er geen concrete antwoorden uit de deelvragen voortkomen. Dit zorgt ervoor dat de hoofdvraag ook niet beantwoord kan worden.

In de huidige situatie zijn er geen juiste middelen voor handen om bodemverdichting goed in kaart te brengen. De complexiteit van de bodem is zo groot dat het zeer lastig is om de juiste waarde van verdichting te meten, en bodemverdichting is een proces dat varieert per jaar.

Omdat de complexiteit van de bodem zo groot is waardoor het onderzoek erg breed is kunnen er geen juiste aanbevelingen worden beschreven die van toepassing zijn op vervolg onderzoek.

Literatuurlijst

- Akker, J. v., & Groot, W. d. (2008). *Een inventariserend onderzoek naar de ondergrondverdichting van zandgronden en lichte zavels*. Wageningen: Alterra.
- Akker, J. v., & Hendriks, R. (2015, Juni). *Hoe erg is ondergrondverdichting in de landbouw*. Bodem, 1-3.
- Akker, J. v., Vries, F. d., Vermeulen, G., Hack-ten Broeke, M., & Schouten, T. (2013). *Risico op ondergrondverdichting in kaart: resultaten PRISMA-project'gevoeligheid voor verdichting'*. Bodem, 23(1), 14-15.
- Brus, D. J., & Van den Akker, J. J. H. (2018). *How serious a problem is subsoil compaction in the Netherlands? A survey based on probability sampling*. SOIL, 4(1), 37–45.
<https://doi.org/10.5194/soil-4-37-2018>
- Commissie bemesting akkerbouw/vollegrondsgroententeelt. (nd). Opgeroepen op November 1, 2018, van
<https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Bodem/Bodemstructuur.htm>
- Deru, J., Eekeren, N. v., & Boer, H. d. (2010). *Beworteling van grasland*. Louis Bolk Instituut.
- Groenendijk, P., Schipper, P., Hendriks, R., Akker, J. v., & Heinen, M. (2017, juni). *Effecten van verbetering bodemkwaliteit op waterhuishouding en waterkwaliteit*. Opgeroepen op Mei 20, 2019, van <https://edepot.wur.nl/418283>
- Grzesiak, S., Grzesiak, M. T., Hura, T., Marcińska, I., & Rzepka, A. (2013). *Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction*. Environmental and Experimental Botany, 88, 2–10.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.01.010>
- Haan, J. d., Schoutsen, M., Balen, D. v., Bussink, W., & Haas, M. d. (2015). *Met beide benen op de grond*. Opgeroepen op Mei 16, 2019, van <https://edepot.wur.nl/391327>
- Håkansson, I. (2005). *Machinery-induced compaction of arable soils*. Uppsala.
- Holm, L. v., Merckx, R., Orshoven, J. v., Diels, J., & Elsen, A. (2011, September 31). *Bodemverdichting op landbouwgrond*. Bodemkundige dienst van België, Leuven.
- Jones, R., Spoor, G., & Thomasson, A. (2003). *Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis*.
- Lipiec, J., & Hatano, R. (2003). *Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth*. Geoderma, 116(1-2), 107–136. [https://doi.org/10.1016/s0016-7061\(03\)00097-1](https://doi.org/10.1016/s0016-7061(03)00097-1)
- Miransari, M., Bahrami, H., Rejali, F., & Malakouti, M. (2008). *Using arbuscular mycorrhiza to alleviate the stress of soil compaction on wheat (Triticum aestivum L.) growth*. Soil Biology and Biochemistry, 40(5), 1197–1206. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.12.014>

- Nefs, M. (2014, 28 april). *Mansholt: van 'nooit meer honger' tot 'boterberg'* - Verse Stad. Geraadpleegd op 30 oktober 2018, van <http://versestad.nl/2014/04/mansholt-van-nooit-meer-honger-tot-boterberg/>
- Nutrinorm. (nd). Opgeroepen op November 7, 2018, van [nutrinorm.nl: https://www.nutrinorm.nl/nl-nl/Paginas/Hoofdelementen-Stikstof-voor-de-plant-uit-nitraat.aspx#.W-LGtJNKhPY](https://www.nutrinorm.nl/nl-nl/Paginas/Hoofdelementen-Stikstof-voor-de-plant-uit-nitraat.aspx#.W-LGtJNKhPY)
- Rakkar, M. K., & Blanco-Canqui, H. (2018). *Grazing of crop residues: Impacts on soils and crop production*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 266, 71–90. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.018>
- Satellietdataportaal. *beeld van het preceel*. Biddinghuizen, Flevoland, Nederland.
- Shah, A. N., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, G., Fahad, S., Ali, S., . . . Souliyanonh, B. (2017). *Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview*. Environmental Science and Pollution Research, 24(11), 10056–10067. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8421-y>
- Shepherd, G. Visual soil assessment: field guide for cropping. Landcare Research.
- Soane, B., & Van Ouwerkerk, C. (1995). *Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment*. Soil and Tillage Research, 35(1-2), 5–22. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(95\)00475-8](https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00475-8)
- Sukkel, W., & Pulleman, M. (2016, 6 oktober). *Bodemverbeterende maatregelen*. Geraadpleegd op 30 oktober 2018, van <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/bodemverbeterende-maatregelen/>
- Technieken - Medusa . (2017, 23 mei). Geraadpleegd 26 mei 2019, van <https://medusa-online.com/technieken/>
- Vandinter semo. (2016, Juni). *Het belang van een goede bodem*. Opgeroepen op November 1, 2018, van https://vandintersemo.nl/wp-content/uploads/2016/06/Vandintersemo_whitepaper_Bodemstructuur-en-Verdichting-1.pdf
- Vlm. (2015). *Bodemstructuur en -verdichting*. Opgeroepen op November 1, 2018, van https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Bedrijfsadvies/Fiches%20BA/20151210_BAS_FICHE_BODEMVERDICHTING_LR.pdf
- Waterschap. *Bodemverdichting*. WDOdelta, Heino.
- Zobel, R. W., & Waisel, Y. (2010). A plant root system architectural taxonomy: A framework for root nomenclature. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 144(2), 507–512. <https://doi.org/10.1080/11263501003764483>
- Zwart, K. B., van den Akker, J. J. H., Bussink, D. W., de Haas, M. J. O. M., van der Weide, R. Y., Paauw, J. G. M., ... & Doornbos, A. J. (2011). *Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt* (No. 2177). Alterra.

Beoordeling Afstudeerwerkstuk (AFW)

versie aug. 2018

Naam student :		Naam beoordeelaar :		Datum:		dd/mm/jjjj	
Versie :		Functie beoordeelaar : 1e beoordeelaar / 2e beoordeelaar		handtekening			

Indicator		Beoordelingscriteria			
	Goed (voldoet aan alle bolletjes)	Voldoende (voldoet aan alle bolletjes)	Beoordeling	Feedback	
1. Samenvattingen	- Gaan over hele AFW. - Zijn gestructureerd. - Kunnen zelfstandig gelezen worden. - Hebben maximaal 400 woorden (1 A4).	- Gaan over hele AFW. - Zijn gestructureerd. - Kunnen zelfstandig gelezen worden. - Hebben maximaal 400 woorden (1 A4).	Voldoende		
2. Inleiding	- De inleiding beschrijft het breder kader van het onderwerp, trends en ontwikkelingen: waarom en voor wie het onderwerp belangrijk is (= relevantie). - In de inleiding wordt beschreven wat bekend is (theoretisch kader) en wat niet (=knowledge gap). - De hoofdvraag maakt duidelijk welk antwoord wordt gezocht. - De deelvragen dragen systematisch bij aan de beantwoording van de hoofdvraag.	- De inleiding beschrijft het breder kader van het onderwerp, trends en ontwikkelingen: waarom en voor wie het onderwerp belangrijk is (= relevantie). - In de inleiding wordt beschreven wat bekend is (theoretisch kader) en wat niet (=knowledge gap). - De hoofdvraag maakt duidelijk welk antwoord wordt gezocht. - De deelvragen dragen systematisch bij aan de beantwoording van de hoofdvraag.	Voldoende		
3. Aanpak (Materiaal en Methode)	- De onderzoeksopzet past bij de onderzoeksvragen. - De methodologie van de onderzoeksopzet is verantwoord. - De methode van data-analyse sluit aan bij de thematiek van het onderzoek en bij de manier van gegevensverzameling (n.v.t. bij literatuuronderzoek). - Bij literatuuronderzoek is het volledige zoekplan beschreven.	- De onderzoeksopzet past bij de onderzoeksvragen. - De methodologie van de onderzoeksopzet is verantwoord. - De methode van data-analyse sluit aan bij de thematiek van het onderzoek en bij de manier van gegevensverzameling (n.v.t. bij literatuuronderzoek). - Bij literatuuronderzoek is het volledige zoekplan beschreven.	Voldoende		

4. Resultaten	- De resultaten zijn gestructureerd (volgens de deelvragen) weergegeven. - Tabellen, figuren, grafieken zijn toegelicht in de tekst. - Tabellen, figuren, grafieken geven informatie voor het beantwoorden van de deelvragen. - De resultaten bevatten geen discussie en geen interpretatie. - De resultaten zijn correct geanalyseerd (waar nodig is analyserende statistiek gebruikt). - Verschillende factoren zijn met elkaar in verband gebracht. - Alleen de resultaten die nodig zijn voor het beantwoorden van de deelvragen zijn beschreven.	- De resultaten zijn gestructureerd (volgens de deelvragen) weergegeven. - Tabellen, figuren, grafieken zijn toegelicht in de tekst. - Tabellen, figuren, grafieken geven informatie voor het beantwoorden van de deelvragen. - De resultaten bevatten geen discussie en geen interpretatie.	Voldoende	
5. Discussie	- Er is een kritische reflectie op de gebruikte onderzoeksmethode(n). - De resultaten zijn correct geïnterpreteerd. - De reikwijdte van de resultaten (wat kan doelgroep er mee) is beschreven. - De discussie is gestructureerd weergegeven. - De resultaten zijn vergeleken met literatuur, normen, verwachtingen. - Er worden geen conclusies getrokken. - Nieuwe bronnen zijn alleen gebruikt bij niet verwachte resultaten of nieuwe ontwikkelingen in de beroepspraktijk. - De omvang van de discussie is proportioneel met de omvang van het AFW.	- Er is een kritische reflectie op de gebruikte onderzoeksmethode(n). - De resultaten zijn correct geïnterpreteerd. - De reikwijdte van de resultaten (wat kan doelgroep er mee) is beschreven. - De discussie is gestructureerd weergegeven.	Voldoende	
6. Conclusie(s) en aanbevelingen	- Onderzoek en doel van het rapport worden genoemd. - Elke deelvraag wordt beantwoord. - De hoofdvraag wordt beantwoord. - De conclusies zijn gebaseerd op de resultaten en discussie. - Aanbevelingen zijn praktisch toepasbaar voor de doelgroep. - De relevantie van de resultaten wordt gegeven ('cirkel sluiten'). - Alle aanbevelingen passen bij de discussie en/of conclusie(s). - Aanbevelingen zijn ingedeeld naar korte en lange termijn.	- Onderzoek en doel van het rapport worden genoemd. - Elke deelvraag wordt beantwoord. - De hoofdvraag wordt beantwoord. - De conclusies zijn gebaseerd op de resultaten en discussie. - Aanbevelingen zijn praktisch toepasbaar voor de doelgroep.	Voldoende	
7. Bronnen	- Minstens 10 referenties komen uit peer reviewed bronnen. - De literatuurlijst is opgesteld conform de geldende APA-normen. - Er zijn wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke, nationale en internationale bronnen gebruikt (diepgang). - Alle gekozen bronnen zijn relevant. - Minstens 10 referenties zijn actueel (< 10 jaar oud).	- Minstens 10 referenties komen uit peer reviewed bronnen. - De literatuurlijst is opgesteld conform de geldende APA-normen.	Voldoende	

8. Het hele AFW: Rapporteren	• Het rapport voldoet aan alle punten van de 'checklist schriftelijk rapporteren'. • De omvang van het Afstudeerwerkstuk is maximaal 50 pagina's (excl. bijlagen).	• Het rapport bevat geen 'killing points' van de 'checklist schriftelijk rapporteren'.	Voldoende	
9. Het hele AFW: hbo-niveau	• Het rapport heeft vakinhoudelijke diepgang. • In het rapport worden wetenschap en (beroeps)praktijk met elkaar in verband gebracht (past theorie toe / praktijkgericht). • Meerdere kennisgebieden worden geïntegreerd. • Een complex vraagstuk is in praktisch bruikbare delen gesplitst.	• Het rapport heeft vakinhoudelijke diepgang. • In het rapport worden wetenschap en (beroeps)praktijk met elkaar in verband gebracht (past theorie toe / praktijkgericht).	Voldoende	
10. Het hele AFW: Proces	• De student heeft feedback gebruikt om verbeteringen aan te brengen. • De student heeft gericht gezocht naar nieuwe informatie voor het beantwoorden van de vraag/ oplossen van het probleem/ innovatie.	• De student heeft feedback gebruikt om verbeteringen aan te brengen. • De student heeft gericht gezocht naar nieuwe informatie voor het beantwoorden van de vraag/ oplossen van het probleem/ innovatie.	Voldoende	
Alleen te beoordelen door coach	• De student heeft zelfstandig gewerkt.			
Ze beoordeelt	• De student heeft volgens een zelf gemaakte planning gewerkt.			
neemt	• De student heeft zelf het initiatief genomen om verbeteringen aan te brengen.			
beoordeling over				
Cijfer			5,5	

Checklist Schriftelijk Rapporteren 2018

Naam:

Klas:

*De beoordelingscriteria die met een * zijn aangegeven, zijn 'killing points'. Wanneer de beoordelaar daarvan meer dan vijf heeft aangekruist, dien je het rapport/verslag op alle onvoldoende onderdelen te verbeteren. In het afstudeerwerkstuk zijn geen 'killing points' toegestaan.*

1. Het taalgebruik

- ☐ Bevat niet meer dan drie grammaticale, spel- en typefouten per duizend woorden; het rapport/verslag is dan afgekeurd*
- ☐ Heeft een actieve schrijfstijl*
- ☐ Is zakelijk, formeel en objectief*
- ☐ Is coherent (verwijs- en verbindingswoorden)*
- ☐ Heeft een adequate interpunctie*
- ☐ Bevat niet de persoonlijke voornaamwoorden 'ik/mij/me, jij/je/jou, jullie, u, wij/we/ons'*
- ☐ Is doelgroepgericht*
- ☐ Heeft een uniforme stijl*

2. De ordening

- ☐ Het verslag/rapport heeft een logisch opbouw
- ☐ Elk hoofdstuk heeft een logische alineastructuur
- ☐ Elk hoofdstuk kent een introductie (m.u.v. H.1)

3. Het rapport/verslag

- ☐ Is vrij van plagiaat*
- ☐ De pagina's zijn genummerd*
- ☐ Heeft een uniforme opmaak

4. De omslag

- ☐ Bevat de titel
- ☐ Vermeldt de auteur(s)

5. De titelpagina/het titelblad

- ☐ Heeft een specifieke titel*
- ☐ Vermeldt de auteur(s)*
- ☐ Vermeldt de plaats en de datum*
- ☐ Vermeldt de opdrachtgever(s)*

6. Het voorwoord:

- ☐ Bevat de persoonlijke aanleiding tot het schrijven van het rapport/verslag
- ☐ Bevat persoonlijke bedankjes (persoonlijke voornaamwoorden toegestaan)

7. De inhoudsopgave:

- ☐ Vermeldt alle genummerde onderdelen van het rapport/verslag*
- ☐ Vermeldt de samenvatting en de bijlage(n)
- ☐ Is overzichtelijk/gestructureerd
- ☐ Heeft een correcte paginaverwijzing

8. De samenvatting:

- ☐ Is een verkorte versie van het gehele rapport/verslag
- ☐ Bevat de conclusies
- ☐ Bevat suggesties voor verder onderzoek

- ☐ Bevat geen persoonlijke mening
- ☐ Staat direct na de inhoudsopgave

9. De inleiding

- ☐ Is hoofdstuk 1*
- ☐ Beschrijft het kader/de context en de aanleiding*
- ☐ Geeft inhoudelijke relevante achtergrondinformatie*
- ☐ Bevat de probleemstelling/de onderzoeksvraag*
- ☐ Vermeldt het doel*
- ☐ Bevat een leeswijzer voor het rapport/verslag*

10. Materiaal en methode

- ☐ Beschrijft de gevolgde onderzoeksmethode
- ☐ Motiveert de keuze voor de gevolgde onderzoeksmethode
- ☐ Past bij de probleemstelling/de onderzoeksvraag*
- ☐ Beschrijft de variabelen/eenheden
- ☐ Beschrijft de methode van data-analyse

11. De (opmaak van de) kern

- ☐ De hoofdstukken en de (sub)paragrafen met maximaal drie niveaus zijn genummerd*
- ☐ De hoofdstukken en (sub)paragrafen hebben een passende titel
- ☐ Een hoofdstuk beslaat ten minste één pagina
- ☐ Een nieuw hoofdstuk begint op een nieuwe pagina
- ☐ De zinnen lopen door (geen 'enter' binnen een alinea gebruiken)
- ☐ De figuren zijn (door)genummerd en hebben een passende titel (onder de figuur)*
- ☐ De tabellen zijn (door)genummerd en hebben een passende titel (boven de tabel)*
- ☐ Tabellen en figuren zijn zelfstandig te begrijpen
- ☐ In de tekst zijn er verwijzingen naar figuren en/of tabellen*
- ☐ De tekst bevat verwijzingen naar de desbetreffende bijlage(n)
- ☐ De tekst is ook zonder verwijzingen te begrijpen

12. De discussie

- ☐ Vermeldt de interpretatie(s) van de resultaten
- ☐ Bevat een vergelijking met relevante literatuur
- ☐ Geeft de valide argumentatie weer
- ☐ Evalueert de gevolgde onderzoeksmethode
- ☐ Bevat een kritische reflectie op de eigen bevindingen

13. De conclusies en aanbevelingen

- ☐ Bevat ten antwoord(en) op de onderzoeksvraag
- ☐ Zijn gebaseerd op relevante feiten
- ☐ Bevat ten minste één nieuwe informatie*

14. De bronvermelding

- ☐ Verwijzingen in de tekst zijn conform de APA-normen*
- ☐ De bronnenlijst is conform de APA-normen*

15. De bijlagen

- ☐ Zijn genummerd
- ☐ Zijn voorzien van een passende titel
- ☐ Bevat ten minste één eigen analyse
- ☐ Zijn overzichtelijk weergegeven