

Grip op bodemverdichting

Conversie tracksystemen



© Hans van het Goor | www.dutchpictures.nl

Arne Jens Kraaij

Grip op bodemverdichting

Een onderzoek naar bodemverdichting in Nederland en de rendabiliteit van tracksystemen.

Auteur:	Arne Jens Kraaij
Plaats:	Zuidwolde
Datum:	1 maart 2017
Opleiding:	Bedrijfskunde en Agribusiness
School:	Aeres Hogeschool
Plaats:	Dronten
Begeleider:	Dhr. J. Simmelink/dhr. W van der Kooij

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie “Grip op bodemverdichting”. Hierin is onderzoek gedaan naar de rendabiliteit van tracksystemen in de Nederlandse landbouw. De scriptie is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Bedrijfskunde en Agribusiness aan Aeres Hogeschool Dronten.

Doormiddel van mijn afstudeerstage bij De Vries Mechanisatie in Beilen ben ik in aanraking gekomen met tracksystemen. Na uitvoerig literatuuronderzoek bleek de combinatie van tracksystemen en bodemverdichting meer dan voldoende onderzoeksmogelijkheden voor mijn scriptie op te leveren.

Bij de totstandkoming van deze scriptie hebben meerdere personen een bijdrage geleverd. Daarom wil ik de volgende mensen bedanken: dhr. J. Simmelink voor de begeleiding als afstudeerdocent, Lute-Anne de Vries en alle medewerkers van De Vries Mechanisatie voor begeleiding en informatie voorziening tijdens mijn stage, Zuidberg Ens voor het verschaffen van informatie, Marcel Betten van loonbedrijf De Samenwerking, Jeroen van Rulo, Sander Meilof en Arjan van der Eijk van AE BV voor de openheid en tijd.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Arne Jens Kraaij

Zuidwolde, 1 maart 2017

Samenvatting

Bodemverdichting is een groeiend probleem op Nederlandse landbouwgrond dat grotendeels wordt veroorzaakt door zwaarder wordende machines. Om het gewicht van deze machines beter op de ondergrond te verdelen zijn er verschillende technieken op de markt. Elke techniek heeft voor- en nadelen, de duurste techniek: de tracksystemen komt als beste uit de bus. De aanschafprijs van deze tracksystemen is het grootste struikelblok. Onderzoek naar de meerwaarde die deze tracksystemen voor een landbouwbedrijf kunnen betekenen is noodzakelijk.

Het doel van dit afstudeerstuk is het onderzoeken of de investering in tracksystemen rendabel is voor een akkerbouwer of loonwerker. Eindgebruikers krijgen inzicht in de specifieke voor- en nadelen van het gebruik van tracksystemen en kunnen dan een gerichte afweging maken.

Om de rendabiliteit van de tracksystemen te onderzoeken is allereerst gekeken naar de omvang van het probleem. De economische gevolgen van bodemverdichting worden uit door middel van een literatuurstudie onderzocht. In hoeverre tracksystemen kunnen bijdragen aan het vermijden van bodemverdichting wordt ook door een literatuurstudie onderzocht. Om te bepalen welke kosten er bij gebruik van tracksystemen komen kijken worden eindgebruikers geïnterviewd.

Op basis hiervan is ondervonden dat de rendabiliteit van tracksystemen niet eenvoudig te bepalen is. Sommige factoren die door eindgebruikers als profijt worden gezien, zijn niet of nauwelijks in geld zijn uit te drukken.

Summary

Soil compaction is a growing problem on Dutch agricultural soil, which is mostly caused by the increasing weight of machinery. To equally transport this weight on the surface, there are different kind of technologies available. Every technology has advantages and disadvantages. The most expensive technology is tested best, the track system. The price of these track systems are the biggest disadvantage. A study on the added value of the track systems to an agriculture is necessary.

The goal of this essay is to investigate if the track systems are profitable for a crop farmer or a contractor. End users will get a perception of the advantages and disadvantages of using track systems. This way they can make a considerate decision.

To investigate if the track systems are profitable, the first step was to determine the dimension of the problem. The economic consequences of soil compaction are investigated through a literature study. In how far track systems can help prevent soil compaction is also investigated through a literature study. To determine the costs of using track systems, end users are interviewed.

Based on these studies and interviews, the conclusion is, it is not that easy to prove if track systems are profitable or not. Some factors marked as a profit by end users are not easy or impossible to express in money.

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1	Inleiding	8
Hoofdstuk 2	Bodemverdichting	9
2.1	Opbouw van de bodem	9
2.2	Bodemstructuur	9
2.3	Bodemverdichting	10
2.4	Oorzaken van bodemverdichting	11
2.5	Gevolgen van bodemverdichting	12
2.6	Omvang van het probleem.....	13
Hoofdstuk 3	Bodemverdichting en techniek	15
3.1	De techniek van het vermijden	15
3.1.1	De IF band en VF band.....	15
3.1.2	Het bandendrukwissel systeem	15
3.1.3	Rupstrekkers.....	16
3.1.4	Conversie tracksystemen	17
3.2	Bodemverdichting ongedaan maken	17
3.2.1	Mechanische bewerking.....	17
3.2.2	Stimulatie van het bodemleven	18
Hoofdstuk 4	Het trackstelsel bekijken en vergelijken	20
4.1	Verschillende tracksystemen	20
4.2	Trackstelsel & Landbouwband	20
4.2.1	De landbouwband	20
4.2.2	De ultraflex band.....	21
4.2.3	Het trackstelsel.....	22
4.2.4	Trackstelsel vs. Landbouwband	22
Hoofdstuk 5	Tracksystemen en machines	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1	Oogstmachines.....	26
5.1.1	Hakselaar	26
5.1.2	Combine	27
5.1.3	Zelfrijdende rooimachine	27
5.2	Trekkers	28
5.3	Overige zelfrijders	29
5.4	Kiepwagens en andere getrokken machines.....	30
Hoofdstuk 6	Tracksystemen en bedrijfsvoering	32
6.1	Controlled Traffic Farming.....	32

6.1.1	Rijpadenteelt in Nederland	32
6.1.2	Controlled Traffic Farming in het buitenland	33
6.2	Kopakker beleid.....	34
6.2.1	Voorraadbunker	34
6.2.2	Overlaadwagen.....	35
Hoofdstuk 7	Wat is de winst?	36
7.1	Kosten van een verdichte bodem.....	36
7.1.1	Nutriënten	36
7.1.2	Brandstof	36
7.2	Bodemverdichting en opbrengstverliezen	37
7.2.1	Graangewassen	37
7.2.2	Wortel- en knolgewassen	39
7.2.3	Veehouderij	41
Hoofdstuk 8	Tracksystemen in de praktijk.....	42
8.1	Loon- en aannemersbedrijf De Samenwerking BV.....	42
8.1.1	De tracksystemen	42
8.1.2	Gebruikerservaring.....	42
8.1.3	Verbeterpunten en onderhoud	42
8.1.4	Aanpassingen aan de machine	42
8.1.5	Draaiuren en wegtransport	43
8.1.6	Uurtarief	43
8.1.7	Werken met de tracksystemen	43
8.1.8	Kosten op een rij.....	43
8.2	Akkerbouwbedrijf van Rulo V.O.F.	43
8.2.1	Keuze voor tracksystemen	43
8.2.2	Werkzaamheden	44
8.2.3	Gebruikerservaring	44
8.2.4	Draaiuren en onderhoud.....	44
8.2.5	Opbrengsten	44
8.2.6	De rekensom	44
8.3	Loonbedrijf/mestdistributie Meilof Hoogersmilde	45
8.3.1	De tracksystemen	45
8.3.2	Gebruik, kosten en onderhoud	45
8.3.3	Opbrengsten	45
8.3.4	Rendabiliteit	45
8.4	Akkerbouwbedrijf AE BV	46

8.4.1	Keuze voor tracksystemen	46
8.4.2	Gebruik, kosten en onderhoud	46
8.4.3	Gebruikservaring	46
8.4.4	Opbrengsten.....	47
Hoofdstuk 9	Conclusie	48
Hoofdstuk 10	Discussie	49
Hoofdstuk 11	Literatuurlijst	50

Hoofdstuk 1 Inleiding

Productiviteit en efficiëntie verhogen om de kostprijs omlaag te brengen is een tendens die de laatste jaren in de landbouw zichtbaar is. Het gevolg is dat machines groter worden en het gewicht toeneemt. Keerzijde van deze trend is het groeiende probleem van bodemverdichting. Agrariërs worden zich hier steeds meer van bewust waardoor de interesse in technieken om bodemverdichting te voorkomen toeneemt. Want ook voor bodemverdichting geldt: voorkomen is beter dan genezen.

In theorie is bodemverdichting voorkomen vrij eenvoudig, hoe minder druk per vierkante centimeter op de ondergrond, hoe kleiner de kans op bodemverdichting. In de praktijk blijkt het niet altijd zo eenvoudig te zijn. In dit afstudeerstuk zal het begrip bodemverdichting nader worden toegelicht en worden verschillende technieken om bodemverdichting te verhelpen en te vermijden besproken. Bodemverdichting brengt kosten en opbrengstverliezen met zich mee, ook dit wordt behandeld.

Uit verschillende onderzoeken in zowel binnen- als buitenland is gebleken dat tracksystemen de kans op ondergrondverdichting minimaliseren. Deze tracksystemen worden vergeleken met andere technieken om bodemverdichting te voorkomen. Ook de kosten voor deze systemen worden onderzocht door het interviewen van eindgebruikers. De lezer van deze scriptie zal een goed beeld krijgen van de problematiek rondom bodemverdichting, de kosten die dit met zich mee brengt, wat er aan gedaan kan worden en wat de kosten hier voor zijn.

Hoofdstuk 2 Bodemverdichting

De tendens van steeds groter wordende machines in de landbouw, gericht op maximale productie en efficiëntie heeft een keerzijde. De gewichtstoename die de gepaard gaat met de groei van de machines zorgt voor grotere stressfactoren op de ondergrond. Mede onder invloed van deze stressfactoren ontstaat bodemverdichting.

2.1 Opbouw van de bodem

Om bodemverdichting goed te kunnen begrijpen is het belangrijk om te weten hoe de bodem is opgebouwd. De bodem van landbouwgronden bestaat grofweg uit twee lagen: de bouwvoor en de ondergrond. Daartussen kan een ploegzool aanwezig zijn. De bouwvoor is de bovenste laag van de bodem, hier haalt het gewas het grootste gedeelte van de voedingsstoffen vandaan. De dikte van de bouwvoor kan variëren van 20 tot 35 centimeter. Deze laag wordt het meest intensief bewerkt en bij ploegen geheel omgekeerd. In deze laag komt vaak oppervlakkige bodemverdichting voor. Deze verdichting is meestal relatief eenvoudig mechanisch te herstellen (Holm, Merckx, Orshoven, Diels, & Elsen, 2011). (Reynolds, et al., 2007) heeft onderzoek gedaan naar de aanwezigheid van een ploegzool op verschillende percelen. De ploegzool wordt gevormd door gedurende meerde jaren op een vergelijkbare diepte de grond te bewerken. In hoofdstuk 3.2.1 “Mechanische bewerking” wordt hier verder op in gegaan. De ploegzool zorgt voor een significant hogere penetratieweerstand op 20 tot 40 centimeter diepte. In hoofdstuk 2.5 “Bodemverdichting meten” wordt dieper ingegaan op de technieken om deze penetratieweerstand te meten. In de percelen met een ploegzool werd een verhoogde bodemdichtheid waargenomen en was de drainage werking van de ondergrond met 14% afgenomen in vergelijking met de toplaag. Daarnaast hebben metingen uitgewezen dat de ploegzool op 30 centimeter diepte voor een aanzienlijk lager waterdoorlatend vermogen zorgt. In sommige gevallen werd er een tijdelijke ophoping van water op de bovenlaag van de ploegzool aangetroffen. Dit betekend dat de ploegzool een storende laag kan zijn voor de afvoer van water. De tweede laag in de bodem is de ondergrond. In deze laag kan ook bodemverdichting optreden, hier is de verdichting minder eenvoudig op te lossen dan bij oppervlakkige verdichting. In hoofdstuk 3.2 “Bodemverdichting ongedaan maken” wordt hier meer aandacht aan besteed. De ondergrond dient voornamelijk als een opslagplaats voor meerdere factoren. De opslag en afvoer van hemelwater gebeurt grotendeels in de ondergrond. Ook de opslag van nutriënten en bodemleven kan plaats vinden in de ondergrond. De porositeit van de bodem bepaalt het waterbergend vermogen van de ondergrond, maar ook de temperatuurregulatie van de bodem. Hoewel de bouwvoor een sterk fluctuerende temperatuur kent, is deze in de ondergrond vrij stabiel. Als de ondergrond verdicht en dus minder poreus is, kan deze minder water bergen waardoor de grondwaterspiegel lager is. Een lagere grondwaterspiegel verdampt sneller, hierdoor daalt de temperatuur in de bouwvoor (Broers, et al., 2014).

2.2 Bodemstructuur

De bodem bestaat uit vier hoofdingrediënten: minerale deeltjes, organische materiaal, water en lucht. Volgens de heer Kees Westerdijk (hoorcollege bodemweerbaarheid, 24 november 2015) is de verhouding in de gemiddelde bodem ongeveer: 25% lucht, 25% water en 50% minerale en organische deeltjes. Minerale deeltjes worden aan elkaar gebonden door organische stof. De bodemstructuur is de wijze waarop de vaste deeltjes zijn gegroepeerd tot kluitjes ook wel aggregaten genoemd. Daarbij is de aard en intensiteit van de bindingen tussen de kluitjes van invloed op de structuur. Levende organismen zoals worteltjes, zwamvlokken van schimmels en uitscheidingen van ander bodemleven zorgen voor de organische stof om de aggregaten te binden. Als aggregaten worden gebroken door bijvoorbeeld veelvuldige groundbewerking, wordt deze binding niet binnen een seizoen hersteld (Holm, Merckx, Orshoven, Diels, & Elsen, 2011). Goed ontwikkelde aggregaten geven ruimte voor poriën, deze

poriën geven ruimte voor water of lucht. Voor de landbouw is een stabiele kruimelstructuur gunstig. Deze structuur kan gedurende het jaar veranderen door verschillende factoren. Een belangrijke factor is het weer: droge of natte periodes, vorst en dooi. Maar ook de aanwezigheid en hoeveelheid van vegetatie, wortelstelsels, organische stof en bodemleven heeft grote invloed. Bodembewerkingen en het betreden van vee hebben ook gevolgen voor de bodemstructuur van een perceel. De structuur van de bodem is van groot belang voor het waterbergend vermogen, drainage, opslag van voedingsstoffen, ontwikkeling van wortels en temperatuurschommelingen in de bodem. (Prosensols, 2011). Figuur 1 laat links een kruimelige structuur, rijk aan organisch materiaal zien. Rechts is een ongunstige structuur met hoekige aggregaten te zien.



Figuur 1: verschillende bodemstructuren. (Triferto, 2015)

2.3 Bodemverdichting

Bodemverdichting ontstaat door blootstelling van de bodem aan externe druk. Bij dit proces neemt de dichtheid van de bodem toe doordat poriën verdwijnen. De bodemstructuur verandert doordat aggregaten worden samengedrukt en de hoeveelheid lucht in de bodem afneemt. Externe druk op een bodem kan het berijden van de bodem met een landbouwvoertuig zijn, maar ook het weiden van vee op een perceel. De mate van verdichting die ontstaat zowel oppervlakkig als in de ondergrond is afhankelijk van de hoeveelheid druk en de draagkracht van de bodem. De druk die op de bodem wordt uitgeoefend, wordt uitgedrukt in newton per vierkante centimeter (Holm, Merckx, Orshoven, Diels, & Elsen, 2011). De hoeveelheid druk per vierkante centimeter is afhankelijk van de massa en het contactoppervlak van de factor die de druk uitoefent. Bij landbouwmachines is dit dus het gewicht van bijvoorbeeld de trekker en de breedte van de banden die hier onder gemonteerd zijn. Daarnaast speelt de druk, ook wel bar of kilopascal, in de band een grote rol bij het contactoppervlak van de band. Hoe lager de druk in de band, hoe platter deze wordt en des te groter het contactoppervlak (Vermeulen & Verwijs, 2007) in hoofdstuk 3.1 “De techniek van het vermijden” wordt dit uitgebreider behandeld. De draagkracht of draagvermogen van een bodem is van groot belang bij het ontstaan van bodemverdichting. De draagkracht van een bodem is de mate waarin een bodem zich laat verdichten. Wanneer een bodem zich gemakkelijk laat verdichten is de draagkracht laag en omgekeerd. Over het algemeen heeft een droge bodem een hogere draagkracht dan een vochtige bodem. De draagkracht van een bodem is te herleiden aan de mate van vervorming bij het betreden van een perceel. De insporing van een machine geeft een goed beeld van de draagkracht van de grond. Hoe dieper het spoor is dat onder het wiel van de machine ontstaat, hoe groter de kans is op bodemverdichting. Omdat water niet samendrukbaar is, zou kunnen worden verondersteld dat een verzadigde bodem zich niet laat verdichten. Echter, op een verzadigde bodem zoals te zien in figuur 2, wordt modder onder de wielen weggeduwd waardoor de verdichting direct in de ondergrond ontstaat, ondergrondverdichting. Bodemverdichting in de ondergrond is de grootste bedreiging voor oogstverliezen en andere schade in de toekomst doordat deze moeilijk te verhelpen is. Mechanische bewerking kan soms een tijdelijke oplossing bieden, maar voor de langere termijn moet het

bodemleven een uitkomst bieden (Holm, Merckx, Orshoven, Diels, & Elsen, 2011). In de hoofdstukken 3.2.1 “Mechanische bewerking” en 3.2.2 “Bodemleven” worden deze onderwerpen verder uitgelicht.



Figuur 2: aardappeloogst op een verzadigde bodem. (BoerenBusiness, 2013)

Kort samenvattend: de draagkracht van een bodem is van belang bij het voorkomen van bodemverdichting. Bij bodemverdichting kunnen er twee soorten bodemverdichting onderscheiden worden: verdichting in de bouwvoor, ook wel oppervlakkige verdichting en verdichting in de ondergrond, ondergrondverdichting. Oppervlakkige verdichting is veelal machinaal te verhelpen, waarop het volgende oogstjaar de meeste schade is verdwenen. Ondergrondverdichting is minder eenvoudig te herstellen, dit is vaak een langdurig en moeilijk te sturen traject.

De dichtheid van een bodem wordt vaak weergegeven in de volumedichtheid (bulkdensiteit), dit is het aantal milligram materiaal per kubieke centimeter (Mg/cm^3). Een lage bulkdensiteit is 1.0 tot 1.1 Mg/cm^3 , een hoge bulkdensiteit is circa 1.6 Mg/cm^3 , afhankelijk van de soort grond. (Grzesiak, Grzesiak, Hura, Marcinska, & Rzepka, 2013)

2.4 Oorzaken van bodemverdichting

Zoals is het voorgaande hoofdstuk is beschreven, ontstaat bodemverdichting veelal door het uitoefenen van een verticale druk op de ondergrond. Deze druk ontstaat meestal onder landbouwmachines of de hoeven van vee. Naast de verticale druk, is er nog een andere factor die bodemverdichting kan veroorzaken, dat is de horizontale stress. Deze stress ontstaat onder het bewegen van bijvoorbeeld een band. Deze horizontale stress ontstaat voornamelijk bij het accelereren en afremmen maar komt tot een hoogtepunt bij wielspin. De gevolgen van horizontale stress ontstaan meestal in de bovengrond, en zijn daardoor eenvoudig op te heven. Bij wielspin bestaat de kans dat horizontale stress de ondergrond bereikt (Alakukku, et al., oktober 2003). De grootste oorzaak van bodemverdichting zijn echter de omstandigheden waarin het perceel verkeerd tijdens het betreden en de aard van de werkzaamheden die ten tijde van het betreden worden uitgevoerd. Het inzetten van zware machines onder natte omstandigheden geeft de grootste kans op ondergrondverdichting. Dit is voornamelijk het geval bij oogstwerkzaamheden omdat er dan een zware oogstmachine op het perceel rijdt en er veelal kipwagens worden ingezet voor de afvoer van de oogst. Van beide combinaties kan het totaal gewicht aanzienlijk oplopen. Ook voor het toedienen van drijfmest is het gewicht van een combinatie in veel gevallen hoog. Moderne landbouwmachines zijn vaak ontworpen en ontwikkeld op efficiëntie. Het is dus niet verwonderlijk dat met de modernisering van het machinepark, het gewicht ook is toegenomen. In 1980 lag de gemiddelde wiellast op circa 3700 kilo, in 2010 was dit circa 7100 kilo. Naast een toename van de wiellast zijn de landbouwbanden in 30 jaar tijd ook doorontwikkeld en breder geworden, waardoor piekspanningen in de toplaag tot 25 centimeter ongeveer gelijk is

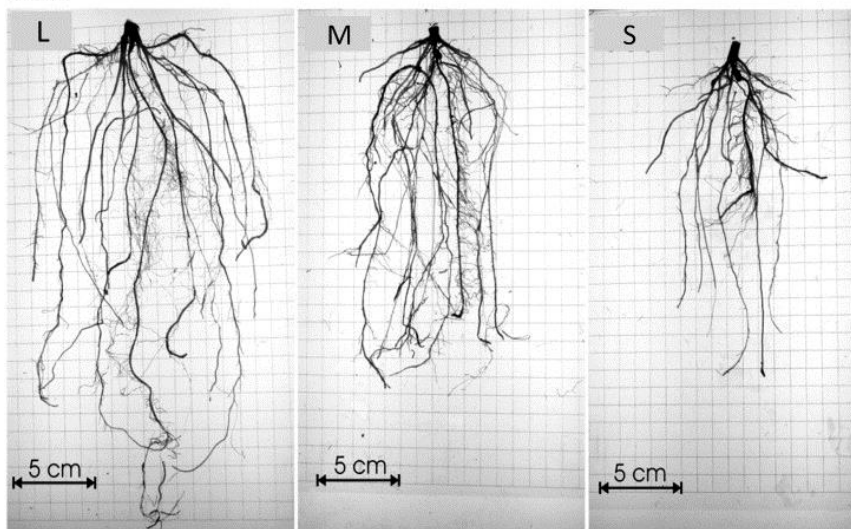
gebleven. Echter op een diepte van 40 centimeter zijn de piekspanningen met 10% toegenomen en op een diepte van 50 centimeter is deze toename zelfs 20% (Vermeulen, Verwijs, & Akker, 2013). Het risico op ondergrondverdichting is in 30 jaar tijd dus significant toegenomen.

Naast het gewicht van de machine of de combinatie is de aard van de uitgevoerde werkzaamheden een belangrijke factor op het ontstaan van ondergrond verdichting. Bij het conventionele ploegen, rijdt de trekker door de voor. In de voor is de beschermende werking van de bouwvoor verdwenen en komen spanningen direct in de ondergrond terecht. Hierdoor zijn grondspanningen van 251 kiloPascal (kPa) op 50 centimeter diepte geen uitzondering. Ter vergelijking: een 30 tons kipwagen met lading, getrokken door een 150 kiloWatt (kW) trekker komt tot een wiellast van 6250 kg. Een 150 kW trekker met een 6 schaar wentelploeg komt tot een wiellast van 6530 kg. Het verschil is echter dat de wiellast van de kipwagen op de bovengrond ontstaat, terwijl bij ploegen de wiellast op een diepte van 25 centimeter ontstaat. Op een diepte van 40 centimeter zijn de grondspanningen dan respectievelijk: 159 en 343 kPa. Daarnaast komt de horizontale stress bij het rijden door de voor rechtstreeks in de ondergrond, wielspin is dan funest (Vermeulen, Verwijs, & Akker, 2013).

2.5 Gevolgen van bodemverdichting

Bodemverdichting heeft invloed op de ontwikkeling van het gewas. Voornamelijk de ontwikkeling van het wortelstelsel heeft hinder van een verdichte bodem. Een verdichte bodem is harder en bevat minder lucht, waardoor een wortel meer moeite heeft om te groeien, hierdoor blijft de ontwikkeling achter. In figuur 3 is te zien hoe het wortelstelsel van een maisplant zich ontwikkelt in verschillende gradaties van bodemverdichting. Als gevolg van een verminderde ontwikkeling kan de plant minder water en nutriënten uit de bodem opnemen en zal de plant niet optimaal groeien. Naast de verminderde ontwikkeling van het wortelstelsel, heeft een plant in een verdichte bodem meer kans op langere periodes van droogte of water overlast. (Grzesiak, Grzesiak, Hura, Marcinska, & Rzepka, 2013).

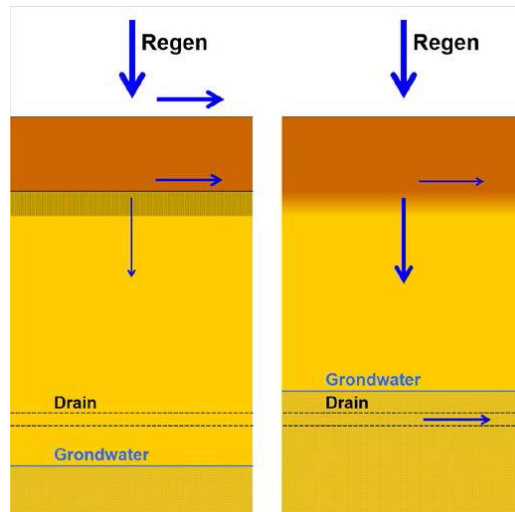
MAIZE



Figuur 3: ontwikkeling van het wortelstelsel van een maisplant in een: lage (L), matige (M) en hoge (S) verdichte ondergrond. (Grzesiak, Grzesiak, Hura, Marcinska, & Rzepka, 2013).

Een verminderde plantontwikkeling veroorzaakt een derving van gewasopbrengsten. De mate van deze derving is afhankelijk van het soort gewas en de mate van verdichting. (Arvidsson & Hakansson, mei 2014). In het hoofdstuk 8.1 “Bodemverdichting en opbrengstverliezen” wordt hier nader op in gegaan.

Een verdichte laag in de bodem zorgt voor een slechte drainage werking van de bodem. In figuur 4 is schematische voorstelling te zien van een bodem met links een verdichte ploegzool. De verdichte ploegzool zorgt voor een slechte doorlatendheid, hierdoor verzadigt de bouwvoor en stroomt het (regen)water af. Het afstromen van water zorgt voor afstroom van nutriënten en het verlaagt het grondwaterpeil. Het beeld rechts schetst de situatie zonder verdichte ploegzool, het water infiltreert inclusief eventuele nutriënten. Een drain kan hier het grondwaterpeil reguleren en in geval van droogte kunnen wortels vocht uit het grondwater onttrekken. (Akker & Hendriks, 2015)

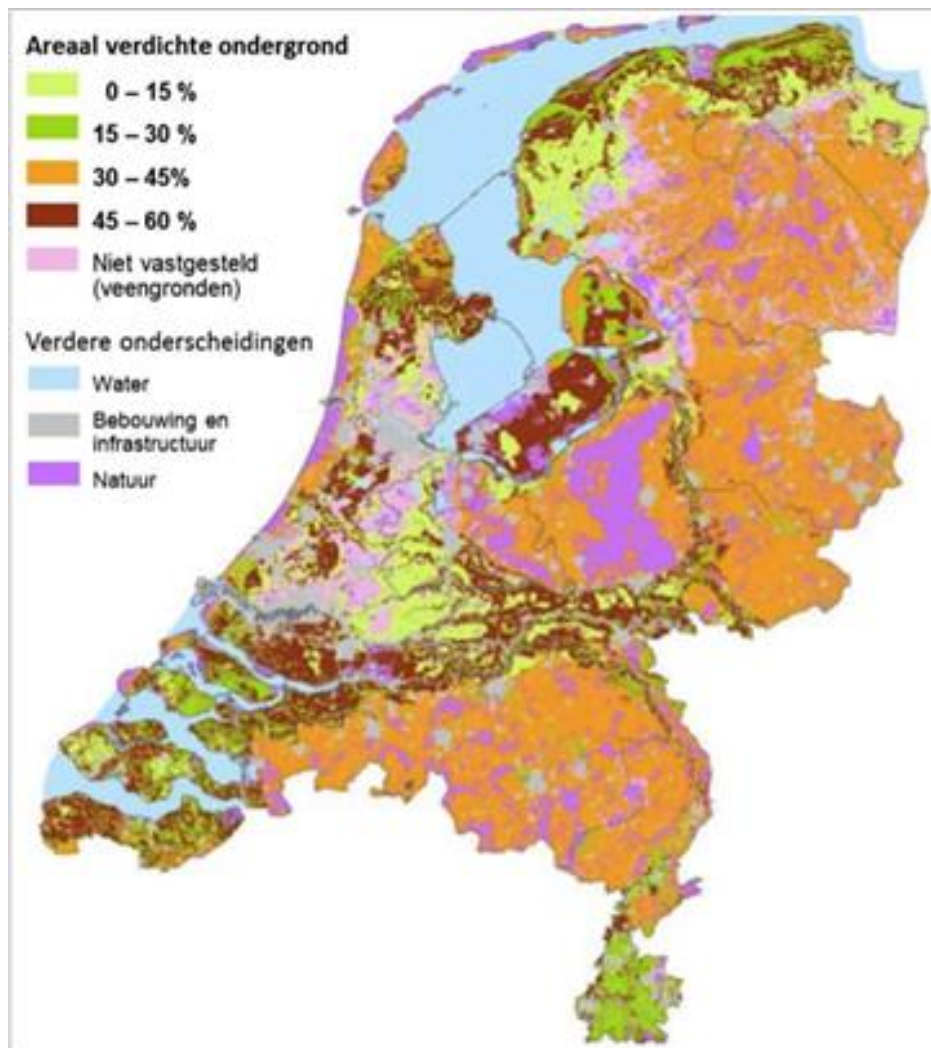


Figuur 4: schematische voorstelling van het effect van een verdichte laag (ploegzool) in de bodem. (Akker & Hendriks, 2015)

Ook is mogelijk dat het water niet afstroomt, wanneer een perceel niet op afschot ligt bijvoorbeeld. In dit geval blijft het water staan, waardoor schade aan het gewas kan ontstaan. Daarnaast zijn percelen waar water blijft staan moeizamer te bewerken.

2.6 Omvang van het probleem

Hoewel er veel onderzoek gedaan is naar ondergrondverdichting, ook in Nederland, zijn er geen exacte cijfers bekend hoe groot het areaal met een verdichte ondergrond is. In figuur 5 is een schatting te zien van het areaal verdichte ondergrond in Nederland. Deze schatting is gedaan op basis van grondsoort en er zijn verspreid over het land 129 metingen gedaan in de ondergrond.



Figuur 5: geschatte areaal verdichte ondergrond. (Akker & Hendriks, 2015)

Op basis van deze kaart trekken de auteurs van den Akker en Hendriks de conclusie dat naar schatting bijna de helft van de Nederlandse ondergronden ververdicht zijn. Dit betekent dat op deze gronden een verdichting is opgetreden en dat deze gronden onvoldoende herstellend vermogen hebben om de verdichting op te heven. Op kleigronden kan herstel optreden door krimp bij uitdrogen of vorst. Andere grondsoorten moeten het voornamelijk van de veerkracht van organische stof hebben. (Akker & Hendriks, 2015)

Hoofdstuk 3 Bodemverdichting en techniek

Bodem- en ondergrond verdichting kent verschillende technieken om dit fenomeen te vermijden, dan wel ongedaan te maken. Elke techniek kent voor- en nadelen, maar wat bodemverdichting betreft staat een ding voorop: voorkomen is beter dan genezen.

3.1 De techniek van het vermijden

De beste manier om bodem- en ondergrond verdichting te vermijden is het perceel niet betreden als de omstandigheden daar niet optimaal voor zijn. Dit is echter niet altijd, of meestal niet reëel. Daarom is het van belang om de druk per vierkante centimeter zo laag mogelijk te houden.

3.1.1 De IF band en VF band

VF staat voor *Very Improved Flexion* en IF voor *Improved Flexion*, ook wel: zeer verbeterde flexibiliteit en verbeterde flexibiliteit, de ultraflextechnologie. Deze band kan met een lagere bandenspanning een hogere wiellast verdragen dan een conventionele landbouwband. In 2004 werd de eerste VF band ontwikkeld voor middelzware trekkers, 80-200 pk (paardenkracht). In 2006 werd de eerste IF band ontwikkeld voor zwaardere machines zoals zelfrijdende rooimachines. Het voordeel van de VF en IF banden is dat deze ontwikkeld zijn om constant met lage bandenspanningen belast te worden. Een traditionele landbouwband is niet opgewassen tegen de krachten die dan ontstaan op het karkas en kunnen scheuren gaan vertonen. Bovendien vormen deze banden zich bij te lage spanningen niet goed naar de ondergrond waardoor piekspanningen kunnen ontstaan in de bodem. Door het werken met een lagere bandenspanning neemt het contactoppervlak van een band op de ondergrond toe, hierdoor verminderd de druk per vierkante centimeter en ontstaat er minder insporing. De toename van het contactoppervlak van een VF/IF band ligt tussen de 20 en 30% ten opzichte van een conventionele band. De VF en IF banden zijn van een andere rubbersamenstelling dat minder snel opwarmt, dit zorgt voor een langere levensduur. Uit verschillende onderzoeken (door de producent) blijkt dat bij het gebruik van de VF band het brandstofverbruik met 15% per jaar kan afnemen. Daar staat tegenover dat de aanschafprijs van een VF band circa 12% hoger ligt, dit kan voornamelijk bij de grotere bandenmaten een behoorlijk verschil opleveren met een traditionele band. Het verschil tussen een IF en een VF band zit met name in de mate van flexibiliteit, voor de VF band wordt gebruik gemaakt van duurdere technologieën om een meer flexibele band te kunnen produceren (Huybrechts, 6 september 2013).

3.1.2 Het bandendrukwissel systeem

Een traditionele landbouwband is niet uitermate geschikt om bij lage spanningen extreem belast te worden. Voornamelijk hoge snelheden bij hoge wiellasten zijn schadelijk voor deze banden. Met het bandendrukwissel systeem kan de bandenspanning van een landbouwvoertuigen variabel vanuit de cabine van het voertuig worden geregeld. Zodra een landbouwvoertuig het perceel betreedt zijn hoge snelheden niet noodzakelijk en kan de bandenspanning omlaag. Zodra het voertuig het perceel weer verlaat en de weg op gaat, kan de spanning weer omhoog om zo schade aan de band te voorkomen. In figuur 6 is te zien hoe dit systeem op een trekker gemonteerd is. De luchtleidingen gaan naar een centrale ketel waar bij het verlagen van de spanning ook wel aflaten van de banden genoemd, zo veel mogelijk van de lucht wordt opgeslagen. De rest gaat via een overdruk ventiel verloren. Zodra de bestuurder de spanning weer wil laten toenemen, drukt deze op de knop en loopt de luchtketel weer leeg in de banden, de verloren lucht wordt met een compressor aangevuld waardoor de banden weer op normale spanning komen (Deproost, 27 maart 2015).



Figuur 6: bandendrukwissel systeem op een trekker gemonteerd. (Deproost, 27 maart 2015)

De investering in dit systeem is eenmalig, zodra de banden versleten zijn kunnen deze vervangen worden zonder dat er opnieuw in het systeem geïnvesteerd dient te worden. Daarnaast is dit systeem toepasbaar op traditionele landbouwbanden voor zowel trekkers, oogstmachines als alle soorten getrokken voertuigen. Het is niet noodzakelijk om IF banden aan te schaffen, bij extreem lage spanningen of hoge wiellasten is dit overigens wel raadzaam. Een nadeel is dat een luchtketel van voldoende volume veel ruimte vergt. Voor de verloren lucht is een compressor noodzakelijk, sommige machines zijn hier standaard mee uitgerust maar vaak is deze van onvoldoende capaciteit en is een tweede compressor noodzakelijk.

3.1.3 Rupstrekkers

De rupstrekker is ontwikkeld voor een hoge trekkracht, lage rolweerstand en een lage gronddruk en insporing. De grootste beperkingen waren de stalen rupsen en de beperkte snelheid. Met deze stalen rupsen was het niet toegestaan om met deze trekkers de openbare weg te betreden. In 1988 kwam Caterpillar met een oplossing, namelijk de kunststofrups (Baumann, Akker, & Kurstjens, april 1990). In figuur 7 is een van de eerste rupstrekken op rubber rupsen te zien.



Figuur 7: eerste trekker op rubber rupsbanden: Cat Challenger 65 (Baumann, Akker, & Kurstjens, april 1990)

In navolging op Caterpillar zijn vrijwel alle producenten van rupstrekken overgestapt op het gebruik van rubber voor rupsen. De maximum snelheid is fors opgeschroefd, moderne rupstrekken halen 40 kilometer per uur. Door het gebruik van rubber in plaats van staal, zijn deze trekkers toegestaan op de

openbare weg. Andere innovaties zoals veersystemen maken het comfort van deze trekkers een stuk groter dan hun voorgangers. Door de lengte van de rupsband heeft deze een groot contactoppervlak waardoor dit systeem voor een zeer lage bodemdruk zorgt. Bij het draaien met deze trekker heeft de lengte van de rupsband echter een groot nadeel. De trekker draait door het vertragen van een van de rupsen, waardoor de rups aan andere kant de trekker als het ware om zijn as laat draaien. Dit geeft veel wrijving waardoor er schade aan de bovengrond en zelf bulten kunnen ontstaan. Een ander nadeel van deze rupsen is de slijtage gevoeligheid, bij veel gebruik op de weg slijten de rupsen vele malen harder dan gewone rubber banden. (Heugten, 2013). Uit onderzoek van Johan Arvidson en Thomas Keller is gebleken dat deze trekkers bij het trekken van zware werktuigen, als het ware achterover kantelen. Hierdoor komt het zwaartepunt van de trekker achterop te rusten waardoor daar de bodemdruk excessief toeneemt (Arvidson & Keller, 2014).

3.1.4 Conversie tracksystemen

De voordelen van rupsen wegen niet altijd op tegen de nadelen. Om die reden worden veel trekkers en oogstmachines af fabriek op wielen geleverd. Om met deze machines toch de voordelen van rupsen te kunnen benutten zijn er conversie tracksystemen op de markt. Deze tracksystemen zijn uitwisselbaar met de wielen van vrijwel elke trekker of oogstmachine. Het grote voordeel van dit systeem is dat de voordelen van zowel rupsen als banden gebruikt kunnen worden voor een machine. Een groot nadeel is de hoge aanschafprijs. In figuur 8 is een trekker uitgerust met tracksystemen voor het zaaien van graan.



Figuur 8: Fendt 936 op tracksystemen (Goor, n.d.)

In hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op de tracksystemen en wordt dit onderwerp helemaal uitgelicht.

3.2 Bodemverdichting ongedaan maken

Het ontstaan van bodemverdichting kan niet altijd vermeden worden. Als een bodem verdicht is, zijn er wel een aantal zaken die deze verdichting kunnen verhelpen.

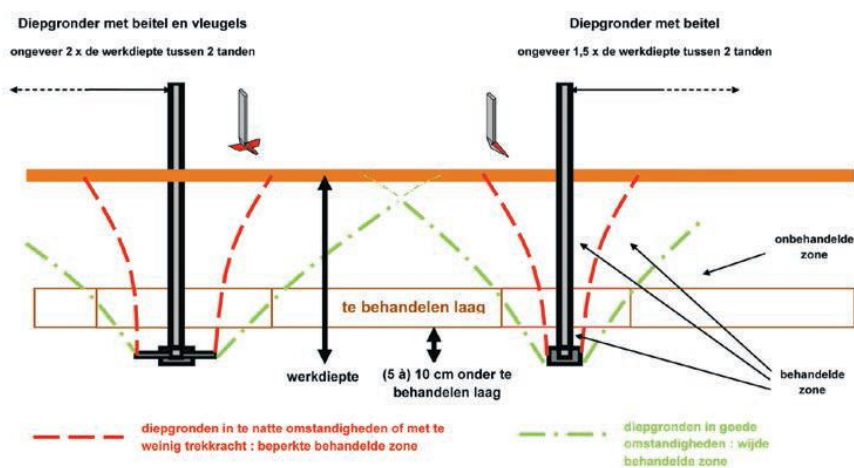
3.2.1 Mechanische bewerking

Bodemverdichting in de bouwvoor kan, zoals in hoofdstuk 2.3 “Bodemverdichting” is beschreven, veelal eenvoudig worden opgeheven. Een verdichte storende laag in de ondergrond is minder eenvoudig te bewerken. Deze storende laag kan op een diepte van 30 tot 50 centimeter bewerkt worden met een woeler zoals te zien in figuur 9.



Figuur 9: diepwoeler om storende lagen te breken (Toonen, n.d.)

Bij deze bewerking, ook wel diepgronden, wordt de storende laag gebroken en worden aggregaten opnieuw gerangschikt, hierdoor ontstaat een nieuwe bodemstructuur met meer ruimte voor lucht. Ook neemt de drainagewerking van de bodem toe. Er zijn meerdere soorten woelers met diverse tanden en daaraan verschillende beitels gemonteerd te verkrijgen. Elke tand en elke beitel heeft een andere werking op de grond. In figuur 10 is schematisch de verschillende werking van een gewone beitel en een beitel met vleugels weergegeven (Prosensols, 2011).



Figuur 10: de werking van een gewone beitel en een beitel met vleugels (Prosensols, 2011).

Bij het bewerken van een storende laag zijn een aantal zaken van groot belang om in acht te nemen:

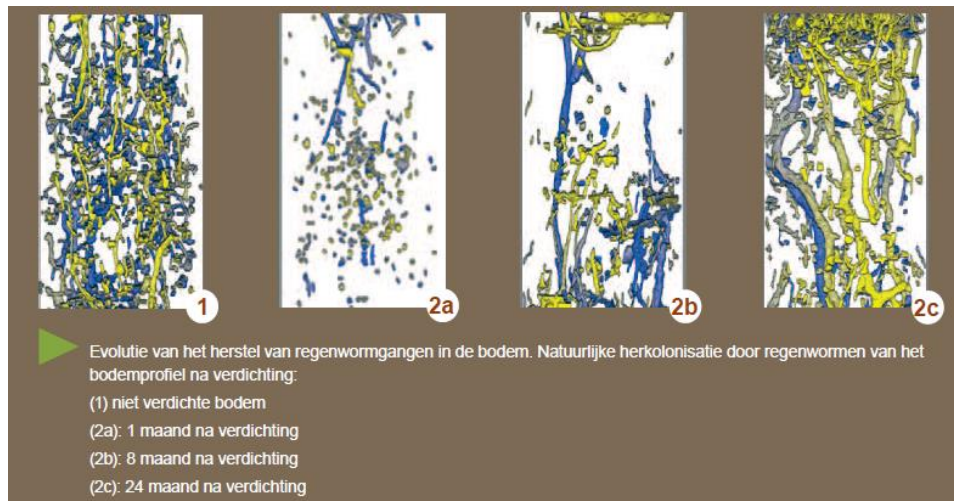
- Het afstellen van de woeler luistert zeer nauw
- Het bodemvochtgehalte mag niet te hoog en niet te laag zijn
- Na de bewerking mag de grond (tijdelijk) niet bereiden worden voor een natuurlijke stabilisatie van de bodem
- Bij rotatie teelt is het raadzaam om, liefst in eenzelfde werkgang, een diep wortelende groenbemester te zaaien om ontstane poriën op te vullen.

Als bij het diepgronden een van bovenstaande zaken niet voldoende op orde is, bestaat de kans dat de ondergrond opnieuw verdicht of dat de situatie zelfs verslechterd (Drenth, 2011).

3.2.2 Stimulatie van het bodemleven

Het bodemleven heeft een grote invloed op de structuur van de bodem zoals is beschreven in hoofdstuk 2.2 "Bodemstructuur". Een gezond bodemleven heeft een groot natuurlijk herstellend vermogen. De duurzaamste manier om bodemverdichting te voorkomen en in sommige gevallen ook

de enige manier om ondergrond verdichting te verhelpen komt voort uit dit herstellend vermogen. Investerings op het bodemleven moeten vaak op de lange termijn worden gedaan. Een voorbeeld is het toepassen van niet-kerende grondbewerking, na vijf jaar zijn er duidelijk zichtbare verbeteringen in de bodem meetbaar zoals een sterke toename van regenwormen en schimmels. Ook verbeterd de kruimelstructuur waardoor de bodem een betere infiltratiewerking heeft bij neerslag en een beter vochtvoorziening bij droogte (Faber & Bloem, 2011). In figuur 11 is nog een keer te zien dat bodemleven niet snel werkt.



Figuur 11: regenwormen in de bodem (Prosensols, 2011)

Hoofdstuk 4 Het trackstelsel bekijken en vergelijken

Net als landbouwbanden, zijn tracksystemen in vele varianten verkrijgbaar. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste kenmerken uitgelicht, daarnaast worden de belangrijkste verschillen met landbouwbanden behandeld.

4.1 Verschillende tracksystemen

Naast verschillen in afmetingen tussen tracksystemen, zijn er ook technische verschillen. Het grootste verschil zit in de manier van monteren onder een trekker of zelfrijdende machine. In hoofdlijnen zijn er twee onderscheidende technieken: rechtstreeks op een vlakke wielnaaf gemonteerd of met een groot hoofdlager. Deze laatste montage techniek is vergelijkbaar aan die van een normaal wiel, waarbij de velg ook een gat in het hart heeft. In figuur 12 zijn de verschillen goed zichtbaar, bij montage rechtstreeks op de wielnaaf neemt de transportbreedte van de machine toe. Het systeem met een hoofdlager biedt ruimte voor een eindaandrijving of steek-as, de transportbreedte is nagenoeg gelijk aan een band met dezelfde breedte. Het laatstgenoemde systeem vraagt meer onderhoud vanwege het grote hoofdlager (Heugten, 2013).



Figuur 12: links montage op vlakke naaf, rechts groot hoofdlager met ruimte voor eindaandrijving. (Camso, 2016)

Er bestaat nog een derde aanbouwtechniek waarbij gebruik wordt gemaakt van een aanbouwframe. Dit systeem wordt vaak gebruikt voor de smalle rupsen om cultuurwielen te vervangen. Vanwege het feit dat dit niet een systeem is dat eenvoudig uitwisselbaar is met normale wielen en er weinig tot geen onderzoek is gedaan naar rupsen met deze afmetingen wordt deze techniek niet in dit afstudeerwerkstuk behandeld.

Naast de verschillende aanbouwtechnieken is er ook een kenmerkend verschil in spansystemen. Zo maakt producent Soucy gebruik van een mechanisch spansysteem waar Zuidberg en Camso kiezen voor een gesloten hydraulisch spansysteem. Het voordeel van een mechanisch spansysteem is dat deze betrouwbaar en eenvoudig is. Het gesloten hydraulisch spansysteem gebruikt een cilinder met een accumulator, deze moet een keer per jaar op druk worden gebracht. De accumulator zorgt er voor dat de cilinder een dempende werking heeft en dus schokken op kan vangen (Heugten, 2013).

4.2 Trackstelsel & Landbouwband

De druk die een landbouwmachine overdraagt op de bodem is afhankelijk van de massa van de machine en het contactoppervlak met de grond. Als de massa gelijk blijft maar het contactoppervlak neemt toe, dan neemt de druk per vierkante centimeter op de bodem af. Om het contactoppervlak groter te maken kan men kiezen voor een bredere band of rups, er zijn echter grenzen.

4.2.1 De landbouwband

Gangbare landbouwbanden zijn er tot een breedte van 1050 millimeter, er is een bredere band ontwikkeld deze is 1250 millimeter (Mitas, 2014), maar deze is vrijwel niet toepasbaar in de Nederlandse landbouw. Naast de breedte van de band, heeft ook de hoogte van de band invloed op het contactoppervlak. Hoe hoger een band is, hoe groter het contactoppervlak wordt, uiteraard zijn er ook hier grenzen. Een bandenmaat wordt aangeduid in: breedte van de band, flankhoogte en de

binnenmaat in inch, bijvoorbeeld: 650/75R38. De breedte is 650 millimeter, de flankhoogte is 75% van de breedte en de binnenmaat van de band en dus de buitenmaat van de velg, is 38 inch. Een 650/65R42 heeft nagenoeg dezelfde hoogte, alleen is de flankhoogte lager en de binnenmaat groter. Dit betekend dat de band minder luchtinhoud heeft, dat resulteert in een lagere maximaal toegestane last. Bij een spanning van 1 bar is dit verschil ongeveer 1000 kilogram. Daarnaast kan een band met minder luchtinhoud minder afplatten bij een lage bandenspanning. Dit is tot slot de laatste en meest belangrijke factor om het contactoppervlak te kunnen vergroten. Hoe lager de bandenspanning is, hoe beter een band afplat (Huybrechts, 6 september 2013). Maar het verlagen van de bandenspanning kent ook grenzen. Als de bandenspanning afneemt neemt ook de maximaal toegestane wiellast af. In tabel 1 is de maximale belasting van een standaard trekkerband te zien bij verschillende spanningen en verschillende snelheden. Opvallend is het feit dat de tabel voor deze standaard band geen maximale wiellasten laat zien onder de 1.0 bar. Daaruit zou men kunnen concluderen dat de fabrikant dit niet raadzaam acht.

Tabel 1: maximale wiellast 650/75R32 band (Michelin, n.d.)

650/75 R 32 Megaxbib TL 172A8/172B					
Cycl.	50	40	30	10	Bar
	km/h	km/h	km/h	km/h	
4900	3280	3280	3500	4500	1.0
5980	4000	4000	4280	5460	1.4
6520	4360	4360	4670	5940	1.6
6900	4600	4600	4920	6250	1.8
7280	4850	4850	5180	6570	2.0
8040	5330	5330	5700	7210	2.4
8610	5690	5690	6090	7690	2.7
9570	6300	6300	6740	8490	3.2
10140				8970	3.5
10710				9450	3.8

4.2.2 De ultraflex band

De VF en IF, ook wel ultraflex banden zijn ontwikkeld om belast te worden bij relatief: lage bandenspanningen, hoge wiellasten en hoge snelheden. Dat blijkt ook uit tabel 2. De IF 650/75 R 30 is qua afmetingen vergelijkbaar met de standaard landbouwband uit tabel 1.

Tabel 2: maximale wiellast IF banden (Michelin, n.d.)

Ø In inches	Afmeting	Spanning (bar) / Belasting (kg) ²⁾																
		Bar	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	
30	IF 600/70 R 30	65 Dual	1760	2110	2460	2835	3210	3530	3850									
	159 D TL AxioBib	65			2800	3225	3650	4010	4375									
	IF 620/75 R 30	65 Dual	1970	2370	2770	3145	3520	3960	4400									
	164 D TL AxioBib	65			3150	3575	4000	4500	5000									
	IF 650/75 R 30	65 Dual	2140	2590	3040	3445	3850	4255	4660									
34	166 D TL AxioBib	65			3450	3910	4375	4840	5300									
	IF 650/65 R 34	65 Dual	1920	2315	2710	3115	3520	3795	4070									
	161 D TL AxioBib	65			3075	3540	4000	4310	4625									
	IF 710/60 R 34	65 Dual	1970	2370	2770	3200	3630	4015	4400	4530	4665	4800	4930	5020	5105	5190	5280	
	164 D TL AxioBib ²⁾	65			3150	3640	4125	4560	5000	5150	5300	5450	5600	5700	5800	5900	6000	
38	IF 650/85 R 38	65 Dual	2640	3190	3740	4270	4800	5350	5900	6030	6160	6290	6420	6520	6620	6720	6820	
	179 D TL AxioBib	65			4250	4850	5450	6075	6700	6850	7000	7150	7300	7410	7525	7640	7750	
	IF 710/85 R 38	65 Dual	3040	3665	4290	4850	5410	6005	6600									
	178 D TL AxioBib	65			4875	5510	6150	6825	7500									
	IF 800/70 R 38	65 Dual	3040	3665	4290	4915	5540	6180	6820									
42	179 D TL AxioBib	65			4875	5590	6300	7025	7750									
	IF 710/70 R 42	65 Dual	2640	3190	3740	4270	4800	5350	5900	6030	6160	6290	6420	6520	6620	6720	6820	
	179 D TL AxioBib	65			4250	4850	5450	6075	6700	6850	7000	7150	7300	7410	7525	7640	7750	
	IF 710/75 R 42	65 Dual	2845	3410	3980	4550	5115	5680	6250									
	176 D TL AxioBib	65			4515	5160	5810	6455	7100									
NIEUW!	IF 900/60 R 42	65 Dual	3210	3805	4400	5060	5720	6380	7040	7205	7370	7535	7700	7865	8030	8195	8360	
	180 D TL AxioBib ²⁾	65			5000	5750	6500	7250	8000	8190	8375	8560	8750	8940	9125	9310	9500	

65 Dual : Gebruik in dubbele montage bij snelheden tot 65 km/uur.

65 Dual : Gebruik bij snelheden tot 65 km/uur op banden met een hard en niet te hard profiel.

BELANGRIJK: De bandenspanning wordt altijd bepaald in relatie tot de bandenmaat.

65 Dual : Gebruik in dubbele montage bij snelheden tot 65 km/uur.
65 : Gebruik bij alle snelheden tot 65 km/uur.

RELANGRIJK: De bandenspanning wordt altijd bepaald in relatie tot de belasting per band en het type werk.

De aangegeven maximaal wiellasten voor deze banden zijn bij een snelheid van 65 kilometer per uur, zoals ook onderaan de tabel is af te lezen. Opvallend is dat deze snelheden bij de standaard band niet

wordt aangegeven. De tabel gaat tot maximaal 2,4 bar omdat hierboven de IF band geen voordeel heeft ten opzichte van een standaard landbouwband. De IF band biedt tot 20% meer draagvermogen, de VF band tot 40% meer draagvermogen dan een standaard landbouwband van dezelfde afmetingen (Michelin, n.d.).

4.2.3 Het trackstelsel

Rupsen voor tracksystemen zijn verkrijgbaar in een aantal vaste breedtes: 610, 760 en 920 millimeter. Daarnaast heeft elk trackstelsel een vaste lengte, een mogelijkheid om het in contactoppervlak te variëren bij bijvoorbeeld transport op de weg of veldwerk ontbreekt. Er is wel een onderscheid te maken door gebruik van verschillende systemen. Er zijn grofweg drie variaties leverbaar met: twee, drie of vier tussenassen. In figuur 13 is het verschil te zien tussen een systeem met vier tussenassen en een systeem met twee tussenassen. Meer tussenassen betekend een groter contactoppervlak op de grond.



Figuur 13 tracksystemen met 4 en 2 tussenassen (Industry, 2015)

Er zijn verschillende varianten op de markt om voor elke machine een passende oplossing te kunnen bieden. Voorbeelden zijn: een kleiner aandrijf wiel voor montage op de vooras van een trekker, een asymmetrisch systeem waarbij het aandrijf wiel uit het midden is geplaatst, zoals het rechter trackstelsel in figuur 13. In figuur 14 is te zien dat door de asymmetrische vormgeving, de tracksystemen kunnen worden gemonteerd zonder dat de trap of brandstoftank moet worden gedemonteerd.

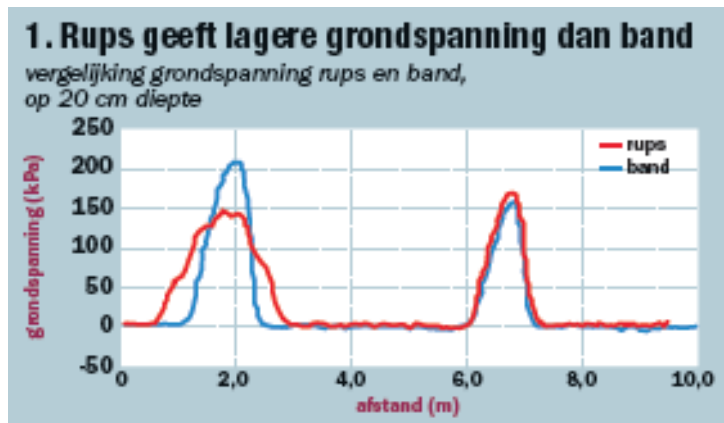


Figuur 14: tracksystemen met 2 tussenassen en asymmetrische vormgeving (mike_v, 2015).

4.2.4 Trackstelsel vs. Landbouwband

In theorie zal het grotere contactoppervlak van het trackstelsel moeten resulteren in een lagere bodemdruk. Of dit ook het geval is, is onder andere onderzocht in een onderzoek van: Wageningen

UR, CAH Vilentum en de Universiteit van Uppsala in Zweden in opdracht van Boerderij (Knuivers, 2013). In dit onderzoek zijn twee zelfrijdende bunkerrooiers gebruikt waarvan bij de een de vooras is voorzien van Michelin CerexBib-IF 900/60 R-38 banden en bij de andere rooier werden voorop twee tracksystemen gemonteerd van Zuidberg met een rupsbreedte van 90 centimeter. Achterop beide rooiers waren standaard radiaalbanden, zonder IF-technologie, van 90 centimeter breed gemonteerd. De test is uitgevoerd met een volle bunker, waardoor de wiellast per wiel 14,2 ton bedraagt voor de rooier op banden. Bij de rooier op rupsen is die wiellast per rups 16,7 ton. Het verschil zit voornamelijk in het leeggewicht van de rooiers, de rooier met rupsen is een nieuwer model dat 8 ton meer weegt. Bovendien weegt een trackstelsysteem 1,5 ton meer dan een band. Bij een bandenspanning van 1,7 bar, is het contactoppervlak of voetprint van de IF-band 10.795 vierkante centimeter. Deze bandenspanning wordt door Michelin aangeraden bij deze wiellast. Voor het trackstelsysteem met 3 tussenassen is de voetprint 17.550 vierkante centimeter. Op een diepte van 20 centimeter zijn bodemsensoren geplaatst om verschillende bodemspanningen te kunnen meten. In figuur 15 is te zien wat de uitslag van deze test is. Ondanks het hoger totaal gewicht van de rooier op tracksystemen, is de spanning op 20 centimeter diepte lager dan die van de rooier op banden. Verder is opvallend dat de druk veroorzaakt door de rups niet mooi egaal is, maar dat de loopwielen van de tussenassen terug te zien zijn. Aan de rechterkant in de grafiek is de grondspanning te zien die de achterwielen van de rooiers hebben veroorzaakt, deze is bij de rupsrooier iets hoger omdat de totale massa groter was.



Figuur 15: bodemspanningen van IF-band en trackstelsysteem op 20 cm diepte (Knuivers, 2013)

In een ander onderzoek hebben Ansorge en Godwin aangetoond dat een track voor minder verticale bodemverplaatsing zorgt dan een landbouwband (Ansorge & Godwin, 2007). Dit onderzoek is uitgevoerd in een gecontroleerde laboratorium omgeving. Op deze manier zijn externe factoren zoals verschillende bodemstructuren of samenstellingen uitgesloten. In dit onderzoek zijn verschillende bandenmaten met verschillende bandenspanningen vergeleken met een Terra Trac systeem van Claas, zie figuur 16. In tabel 13 is een overzicht te zien van de verschillende bandenmaten, de verschillende bandenspanningen en met welke wiellasten er is gemeten. Voor dit onderzoek zijn conventionele landbouwbanden gebruikt die destijds veel onder combines werden gemonteerd. De bandenspanning is de aanbevolen spanning bij de gebruikte weillast. Met de 800/65 R32 is er ook getest met de helft van de aanbevolen bandenspanning, 1.25 bar in plaats van 2.5.

Undercarriage system	Load (t)	Inflation pressure (bar)	Abbreviation	Section width/load/inflation
680/85 R32	10.5	2.2	680 mm/10.5t /2.2 bar	
800/65 R32	10.5	2.5	800 mm/10.5 t/2.5 bar	
900/65 R32	10.5	1.9	900 mm/10.5 t/1.9 bar	
800/65 R32	10.5	1.25	800 mm/10.5 t/1.25 bar	
Claas Terra Trac	10.5	0.75 ^a	T10.5t	

Undercarriage system	Load (t)	Inflation (bar)	pressure	Abbreviation pressure	Section	width/load/inflation
Claas Terra Trac	12	0.86 ^a		T12t		
500/70 R24	4.5	2.3		500–70 mm/4.5 t/2.3 bar		
500/85 R24	4.5	1.4		500–85 mm/4.5 t/1.4 bar		
600/55–26.5	4.5	1.4		600 mm/4.5 t/1.4 bar		
710/45–26.5	4.5	1.0		700 mm/4.5 t/1.0 bar		

Tabel 3: overzicht van bandenmaten, bandenspanningen en wiellasten (Ansorge & Godwin, 2007).

De genoemde bandenmaten in de tabel onder de Terra Trac, zijn banden die veel worden gebruikt op de achteras van een combine. Omdat de aslast op de achteras vele malen lager ligt dan op de vooras, zijn hier de wiellasten op aangepast.



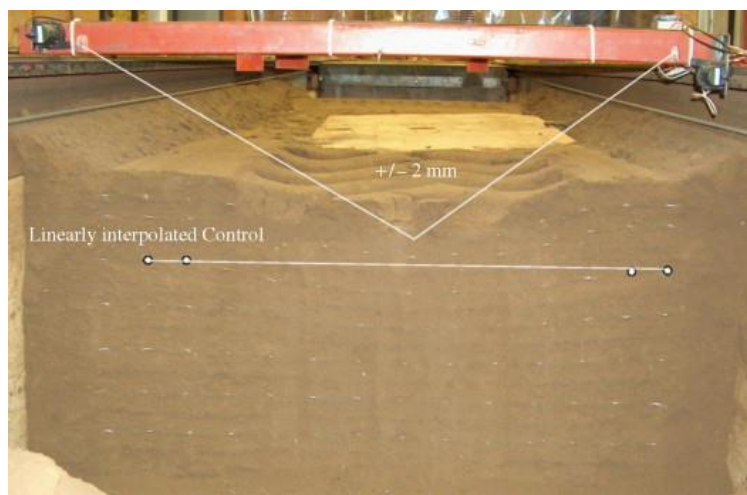
Figuur 16: Claas Terra Trac (Claas, 2011)

Voor het simuleren van een combine is een stellage gebouwd om de band of de track over een geprepareerde zandbaan te trekken waarbij een hydraulische cilinder voor de wiellasten zorgt. In figuur 17 is deze stellage te zien.



Figuur 17: stellage om verschillende wiellasten te simuleren (Ansorge & Godwin, 2007).

In de zandbaan zijn over de gehele breedte van de baan, op verschillende dieptes in de lengte talkpoeder lijnen aangebracht. Als het wiel over de zandbaan wordt getrokken, vervormd de ondergrond onder het wiel en worden dus ook de talkpoeder lijnen verplaatst. Als er dan een dwarsdoorsnede van de zandbaan wordt gemaakt, kan worden gemeten hoeveel de talkpoeder lijnen verplaatst zijn. In figuur 18 is een dwarsdoorsnede van de zandbaan te zien.



Figuur 18: dwarsdoorsnede van de zandbaan na “belasting” (Ansorge & Godwin, 2007)

Onder het wielspoor zijn de talkpoeder lijntjes verticaal verplaatst, de mate van verplaatsing duidt de mate van verdichting van de bodem aan. De witte puntjes, links en rechts zijn de oorspronkelijke, onbereden uitgangspunten, daartussen geeft de witte lijn aan waar de talkpoeder lijnen voor de belasting hebben gezeten.

In tabel 4 zijn de uitslagen van het onderzoek weergegeven. Omdat het tracksysteem een hoger eigengewicht heeft, is deze als enige variant met 12 ton wiellast getoetst.

Undercarriage system (section width/load/inflation pressure)	Average increase in soil density (%)	Regression coefficient of regression line (R^2)	Least significant difference
680 mm/10.5 t/2.2 bar	17.7	0.989	0.1
800 mm/10.5 t/2.5 bar	17.6	0.999	0.1
900 mm/10.5 t/1.9 bar	17.3	0.994	0.1
800 mm/10.5 t/1.25 bar	11.6	0.997	0.1
T10.5t	12.4	0.952	1.5
T12t	13.4	0.968	1.5
500–70 mm/4.5 t/2.3 bar	14.3	0.989	0.8
500–85 mm/4.5 t/1.4 bar	11.1	0.968	0.8
600 mm/4.5 t/1.4 bar	11.0	0.985	0.8
700 mm/4.5 t/1.0 bar	10.6	0.995	0.8

Tabel 4: gemiddelde toename van de bodemdichtheid van verschillende banden en het Terra Trac systeem (Ansorge & Godwin, 2007).

Bij een wiellast van 10,5 ton en een bandenspanning van 1,9 bar of hoger zijn er tussen verschillende bandbreedtes geen grote verschillen waar te nemen. De bulkdichtheid neemt in alle gevallen met ruim 17% toe. Pas wanneer de aanbevolen bandenspanning wordt gehalveerd, naar 1,25 bar, is de toename een stuk geringer. Bij deze bandenspanning wordt een wiellast van 10,5 ton echter niet aangeraden door de fabrikant. In tabel 1 is te zien dat een standaard landbouwband pas bij 3,5 bar 10 ton wiellast zou mogen dragen. Bij een bandenspanning van 1,25 bar zou het ruim de helft, 5,5 ton mogen zijn (Michelin, n.d.). Het tracksysteem vertoont duidelijk een lagere gemiddelde toename in bulkdichtheid van 13% ten overstaande van 18% bij banden. Zelfs wanneer het gewicht van het tracksysteem in ogenschouw wordt genomen. Bij de laboratoriumtest met een gesimuleerde ploegzool op 200/300 mm diepte werd met het tracksysteem geen verplaatsing van deze laag ontdekt. In eenzelfde test met de landbouwband werd deze ploegzool in de zachtere ondergrond gedrukt met ondergrond verdichting als gevolg (Ansorge & Godwin, 2007).

Hoofdstuk 5 Veldhakselaar

In dit afstudeerstuk zijn meerdere varianten en modellen van tracksystemen voorbij gekomen, in dit hoofdstuk worden verschillende toepassingsmogelijkheden besproken. De meest gangbare toepassingen worden behandeld. Uiteraard zijn er buiten de genoemde voorbeelden nog andere gebruiks mogelijkheden, dit is echter een nichemarkt en zal derhalve buiten beschouwing worden gelaten.

5.1 Oogstmachines

Tracksystemen worden vooral onder zelfrijdende oogstmachines gebruikt omdat dit zware machines zijn die in het najaar, wanneer de omstandigheden niet optimaal zijn, de oogst van het land moeten halen. In het verleden werden deze systemen als laatste redmiddel gebruikt om op drassige percelen alsnog te kunnen oogsten. Tegenwoordig worden de tracksystemen steeds vaker gebruikt om de bodem zo veel mogelijk te ontzien. Daarom worden oogstmachines optioneel of standaard steeds vaker af fabriek geleverd met een track onderstel (Boerenbusiness, Nederlandse landbouw rijp voor rupssysteem, 2014).

5.1.1 Hakselaar

De maisoogst vindt grotendeels plaats tussen september en november, in deze periode kan het land behoorlijk nat zijn. Steeds meer loonwerkers hebben tracksystemen die bij de maisoogst onder de hakselaar gemonteerd kunnen worden (Tholhuijsen, 2013). Afhankelijk van het merk en type hakselaar zijn verschillende tracksystemen geschikt voor een hakselaar. In sommige gevallen zullen aan de hakselaar aanpassingen gemaakt moeten worden, zoals het verwijderen van de trap of delen van het spatbord. Voornamelijk bij tracksystemen met meer dan twee tussenassen zijn dit soort aanpassingen vaak noodzakelijk. In figuur 19 is te zien dat de originele trap naar de cabine is vervangen door een alternatieve trap die tijdens het transport naar achter weg klapt.



Figuur 19: New Holland hakselaar op Camoplast tracksystemen (Jonckheere, 2012)

Kleinere tracksystemen zoals is figuur 20 zijn makkelijker te monteren omdat er geen aanpassingen aan de hakselaar nodig zijn. Het nadeel van deze tracksystemen zit ook in de afmeting, omdat het systeem kleiner is, is ook de voetafdruk van deze track kleiner.



Figuur 20: Krone op Zuidberg tracks (Agrolog, 2008)

5.1.2 Combine

Ondanks dat het combinen van graangewassen veelal in de zomer gebeurt, wordt er toch gebruik gemaakt van tracksystemen onder combines. In sommige gevallen is het net als bij hakselaars een redmiddel om een drassig perceel te kunnen betreden. Hierbij heeft het weer een belangrijke invloed. Korte periodes van zon maken het soms noodzakelijk om het land te betreden wanneer de ondergrond dit nauwelijks toelaat. Dan kan een trackstelsel uitkomst bieden. Vaak zijn de tracksystemen ook een preventiemiddel om bodemverdichting te voorkomen. Omdat combines zwaarder worden, de graantanks groter en voorzetstukken breder, neemt de aslast hand over hand toe. De verkoop van Terra Trac systemen die af fabriek onder Claas combines leverbaar zijn is in 2011 ten opzichte van 2010 ook niet voor niets verdubbeld (Mark, 2012). Zoals in tabel 4 is te zien, mag de achteras niet vergeten worden als het gaat om bodemverdichting. Als op de achteras verkeerde banden of een verkeerde bandenspanning wordt gekozen, kunnen deze voor extra bodemverdichting zorgen. Dan kan het effect van bodem besparende maatregelen op de vooras teniet gedaan worden. Afhankelijk van de combine en het type trackstelsel zullen in sommige gevallen net als bij de hakselaars aanpassingen moeten worden gedaan bij het monteren van de tracksystemen. Over het algemeen is er bij een combine meer ruimte en zal een groter trackstelsel niet meteen tot problemen leiden.

5.1.3 Zelfrijdende rooimachine

Er zijn twee soorten zelfrijdende rooimachines te definiëren: een wagenrooier en een bunkerrooier. In figuur 21 is een voorbeeld te zien van een wagenrooier. Kenmerkend voor dit type rooimachine is dat er constant een kiepwagen naast moet rijden om de oogst in op te vangen. Het eigengewicht van deze machines is relatief laag, maar er vinden constant extra transportbewegingen op het perceel plaats. Ook onder wagenrooiers worden in soms op tracksystemen gemonteerd, de wagenrooier in figuur 21 is voorzien van een Claas Terra Trac.



Figuur 21: zelfrijdende wagenrooier (Demijba, 2006)

Er zijn ook rooimachines die gebruik maken van een voorraadbunker. De rooimachine slaat de oogst tijdelijk zelf op. Vervolgens lost deze bijvoorbeeld op een centraal punt op het perceel of in een kiepwagen al dan niet op de koppakker van het perceel. Door het opslaan van de oogst kan de totale

massa behoorlijk oplopen. Het gebruik van tracksystemen is bij ongunstige omstandigheden tijdens de oogst in sommige gevallen dan ook noodzakelijk. Bij een zelfrijdende rooier voor bieten met een bunker voor 22 ton kan de wiellast oplopen tot 16 ton. Bij een aardappelrooier met een bunker voor 15 ton is dit zelfs 16,5 ton. Dit zijn de machines uit het topsegment maar geen zeldzaamheid in Nederland. Dit zijn machines die standaard worden voorzien van tracksystemen (Vermeulen, Verwijs, & Akker, 2013). Het gebruik van bunkerrooiers kan het aantal transportbewegingen op een perceel minimaliseren. Bijvoorbeeld wanneer er alleen op kopakkers wordt gelost of wanneer alles op een centraal punt wordt gelost. Een ander bijkomend voordeel van een bunkerrooier is dat deze door kan gaan ook wanneer er geen kiepwagen in de buurt is. In figuur 22 is een Agrifac Quatro voorzien van Zuidberg tracks, dit is een middelgrote bunkerrooier.



Figuur 22: Agrifac op Zuidberg tracks (BartVALTRAdriver, 2013)

5.2 Trekkers

In hoofdstuk 3.1.3 is de rupstrekker al behandeld, het is echter ook mogelijk om een conventionele trekker te voorzien van tracksystemen. Hierdoor worden de voordelen van zowel de trekker als de rupstrekker gecombineerd. Het gewicht van een trekker is ten opzichte van bijvoorbeeld een bunkerrooier relatief laag. Toch zijn er veel situaties waarin het voordelen kan opleveren om een trekker op tracksystemen te gebruiken. Een oogstmachine komt pas op het land wanneer de oogst rijp is, dan hoeft het gewas niet meer te groeien. Een trekker moet voor die tijd alle bewerkingen uitvoeren en komt dus op kritieke momenten op het perceel. Een goed voorbeeld is het zaaien, de grond wordt dusdanig geprepareerd om een goed zaaibed te vormen. Wanneer het perceel dan wordt bereiden met een zaaicombinatie die te veel druk op de bodem uitoefent, kan het zaaibed beschadigd raken. Een ander voorbeeld is het ploegen van kleigronden in het najaar, percelen zijn vaak nat waardoor er gemakkelijk schade ontstaat. Bovenover ploegen op rupsen is dan een goed alternatief. In figuur 23 is een voorbeeld te zien van de toepassing van tracksystemen in de veehouderij.



Figuur 23: sleepslangen met Soucy tracks (Landbouwpowers, 2015)

Omdat trekkers zo compact mogelijk worden gebouwd, is het sommige gevallen noodzakelijk om aanpassingen te doen om de tracks te kunnen monteren. In figuur 23 is dit niet het geval, hier zitten de trap en brandstoftank nog op de originele plaats. In figuur 24 is een relatief licht trekker van ongeveer 140 pk uitgevoerd met Camoplast tracks. Omdat dit een kleine trekker is, is de brandstoftank vervangen voor een tank in de fronthef en is de trap verwijderd.



Figuur 24: Claas Arion 640 op Camoplast tracks (Stark, 2015)

5.3 Overige zelfrijders

Naast oogstmachines en trekkers, zijn er ander zelfrijders die gebruik kunnen maken van tracksystemen. Voor de transport van de oogst tijdens het oogsten wordt soms gebruik gemaakt van overlaadwagens. In figuur 25 is een zelfrijdende Terra Gator omgebouwd tot overlaadwagen om op drassige percelen de oogst naar transportwagens te brengen. Op deze manier hoeven de transportwagens het perceel niet te betreden. In figuur 26 is een zelfrijdende spuit van tracksystemen voorzien.



Figuur 25: Terra Gator op tracks (Koonstra, 2011)



Figuur 26: John Deere spuit op Camoplast tracks (Stark, 2015)

Maar ook buiten de agrarische sector worden tracksystemen ingezet. Bijvoorbeeld in de bosbouw of natuuronderhoud. De ondergrond in een natuurgebied kan drassig zijn waardoor deze moeilijk begaanbaar en zeer schade gevoelig is. Bijvoorbeeld maaierwerkzaamheden of het oogsten van hout. In figuur 27 is een oogstmachine voor bomen op Camoplast tracks te zien.



Figuur 27: Ecolog op Camoplast tracks (timber-online, 2010)

In figuur 28 is een zelfrijdende gronddumper te zien die wordt ingezet bij grondverzet werkzaamheden. Bij grondverzet vinden er vaak veel transportbewegingen over hetzelfde spoor plaats. Door het meermaals bereiden van hetzelfde spoor raakt deze verdicht en wordt de draagkracht kleiner. Met behulp van tracksystemen wordt de schade zo veel als mogelijk beperkt en ook bij een lager draagkracht van de ondergrond kunnen de zelfrijdende dumpers doorgaan.



Figuur 28: Bell gronddumper op Camoplast tracks (Fuhler, 2016)

5.4 Kiepwagens en andere getrokken machines

Naast zelfrijdende machines, zijn ook getrokken werktuigen te voorzien van tracks. In de meeste gevallen zijn deze tracks niet aangedreven en wordt de machine voortbewogen door een trekker. Tijdens het oogsten wordt vaak gebruik gemaakt van een overlaadwagen als de omstandigheden het gebruik van gewone kiepwagen niet toelaat. Maar ook om bodemverdichting te voorkomen of om wegen vrij te houden van modder worden overlaadwagens ingezet. Het voordeel van een overlaadwagen is dat deze op het perceel blijft en zelden de openbare weg op hoeft. Om deze reden kan de wagen optimaal worden aangepast voor gebruik in het veld. In figuur 29 worden twee overlaadwagens op een rupsonderstel ingezet tijdens het oogsten van rode bieten. Op de openbare weg loopt de wagen op de achterste as met luchtbanden. Aan het wringen van het rupsonderstel bij stuurmanoeuvres is ook gedacht. Een stuurstang registreert de hoek van de combinatie, als deze te klein wordt drukt een cilinder de achterkant van de rups omlaag. Op deze manier wordt het draaien vergemakkelijkt. (Boom, 2013).



Figuur 29: overlaadwagens op een rupsonderstel van ERF B.V. (Boom, 2013)

Er zijn ook andere getrokken werktuigen te voorzien van tracksystemen zoals in figuur 30 is te zien. Hier is een Tebbe meststrooier voorzien van een rupsonderstel. Ook bij deze machine is een as met luchtbanden gemonteerd om het rupsonderstel te ontzien tijdens het transport over de weg.



Figuur 30: Challenger met Tebbe meststrooier met Camoplast rupsonderstel (Areco, 2015)

Ook kleinere werktuigen zijn op een rupsonderstel te plaatsen, zoals het voorbeeld in figuur 31. Een getrokken Horsch kunstmeststrooier op een rupsonderstel geplaatst. Het akkerbouwbedrijf van Horsch heeft er voor gekozen om bijna alle werktuigen van tracks te voorzien. Ook de zelfrijdende machines staan grotendeels op tracks.



Figuur 31: Horsch kunstmeststrooier op Rupsonderstel (Boerenbusiness, 2014)

Hoofdstuk 6 Tracksystemen en bedrijfsvoering

Om effectief gebruik te maken van tracksystemen zijn bepaalde strategieën toe te passen als het gaat om werkzaamheden op het land. In dit hoofdstuk worden een aantal strategieën behandeld.

6.1 Controlled Traffic Farming

Controlled Traffic Farming (CTF) of rijpadenteelt is een strategie waarbij alle bewerkingen zo veel mogelijk over dezelfde sporen plaats vinden. Er wordt in feite gebruik gemaakt van vaste rijpaden zoals dat bij spuitsporen ook veel gebeurt.

6.1.1 Rijpadenteelt in Nederland

Voordelen van dit systeem zijn: opbrengstverhoging, lager energieverbruik, efficiëntere meststoffen opname en na een natte periode kunnen bewerkingen eerder en tijdiger worden uitgevoerd. Vooral in de biologische landbouw kan dit enorme voordelen opleveren omdat deze veel mechanische bewerkingen kent. Er wordt vaak gekozen voor rijpaden op 3,15 meter, dat betekent dat er extra kosten moeten worden gemaakt op aanpassingen van trekkers en werktuigen (Wijk, 2011).

Rijpadenteelt in Nederland is op te delen in twee onderdelen: seizoenrijpaden en permanent onbereden bedden. Bij seizoenrijpaden worden de oogst en de hoofdgrondbewerking, bijvoorbeeld ploegen nog wel volvelds gedaan. Bij permanent onbereden bedden worden ook de oogst en de hoofdgrondbewerking vanaf de vaste rijpaden gedaan. In dit geval wordt ploegen vaak vervangen door een niet kerende grondbewerking (NKG). Het systeem van permanent onbereden bedden wordt in Nederland nog niet veelvuldig en consequent toegepast omdat aanpassingen aan de mechanisatie op dit gebied duur is.

Omdat bij seizoenrijpaden de hoofdgrondbewerking en het oogsten de enige volvelds werkzaamheden zijn, is het van belang dat op deze momenten de bodem niet verdicht wordt. Dat kan de voordelen van dit systeem in een keer te niet doen. De basis van dit systeem is namelijk dat de opbrengsten worden verhoogt doordat de bodemstructuur in optimale conditie is. Vermeulen en van der Wel hebben een veldproef gedaan op seizoenrijpadenteelt. Hier is met behulp van een verzwaarde trekker het berijden tijdens de oogst gesimuleerd. Door het verzwaren van de trekker is er met verschillende bodemdrukken gemeten. Hierna is een volggewas gezaaid. In tabel 5 zijn de opbrengsten van het volggewas weergegeven. In figuur 32 is de trekker te zien waarmee de oogstwerkzaamheden van het hoofdgewas zijn gesimuleerd (Vermeulen & Wel, 2008).

Bodemdruk (bar)	Aantal planten (#/3 m rij)	Ds (%)	Drogestof opbrengst (kg/ha)	Opbrengst per plant (relatief)	Luchtgehalte (% v/v)
0	87 ^a	11,1 ^a	962 ^b	100	8,2
0,4	104 ^b	11,2 ^a	1005 ^b	87	7,2
0,6	96 ^{ab}	12,2 ^{ab}	786 ^a	74	6,9
0,8	89 ^a	13,6 ^b	702 ^a	71	5,1
I.s.d.	11		134		1,4

Tabel 5: opbrengsten volggewas na berijden met verschillende bodemdrukken (Vermeulen & Wel, 2008)

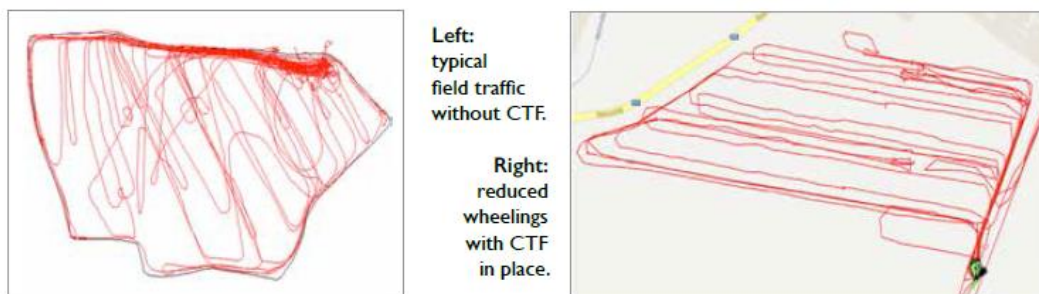


Figuur 32: het berijden van de proefveldjes (Vermeulen & Wel, 2008)

Om de bodem in conditie te houden is het dus van belang dat tijdens de oogst de bodemdruk niet te hoog wordt. Een bodemdruk van 0,4 bar of lager is wenselijk, door efficiënt gebruik te maken van tracksystemen lijkt dit mogelijk (Vermeulen B. , 2008).

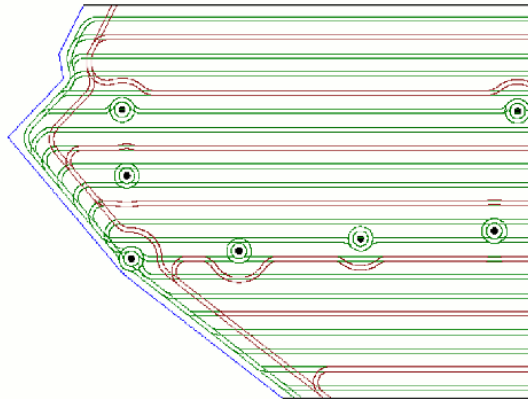
6.1.2 Controlled Traffic Farming in het buitenland

Alleen al tijdens de oogst van graangewassen wordt minimaal 45 procent van de bodemoppervlakte bereiden. Naarmate de werkbreedte afneemt, kan dit percentage oplopen tot 90 (Beunk, 2014). Met CTF en een werkbreedte van 12 meter kan het percentage bodemoppervlak dat berden wordt gedurende het hele jaar verminderd worden tot 15 procent (Horsch, 2015). In figuur 33 is links het veldverkeer zonder CTF te zien en rechts het veldverkeer met CTF.



Figuur 33: veldverkeer zonder CTF (l) en veldverkeer met CTF (r) (Horsch, 2015).

In Nederland zijn werkbreedtes van 12 meter ondenkbaar, maar er zijn veel landen waar dit normaal is. Met CTF op 12 meter, worden alle werkzaamheden op deze breedte uitgevoerd, op spuiten en kunstmeststrooien na. Deze werkzaamheden gaan dan vaak naar 36 meter. CTF wordt tot nu toe voornamelijk toegepast in graangewassen en korrelmais omdat rooivuchten niet te oogsten zijn op rijpaden op 12 meter. De rijpaden blijven in principe jaar op jaar vast liggen. Hierdoor worden deze paden extreem hard waardoor zelfs onder natte omstandigheden het veld bewerkt kan worden. Alle machines staan op een spoorbreedte van 3 meter waardoor alles in hetzelfde spoor loopt. Met behulp van gps en automatisch sturen wordt voorkomen dat er tijdens een bewerking van het rijpad wordt afgeweken. Er wordt vaak voor gekozen om gebruik te maken van tracks onder de trekkers en combines omdat de verdichtende druk recht onder de rups ontstaat. Bij banden ontstaat niet alleen bodemdruk recht onder de band maar ook naar buiten (Horsch, 2015). In figuur 44 is te zien hoe in een perceel de vaste rijpaden zijn berekend. In dit perceel staan hoogspanningsmasten die moeten worden ontweken. De groene lijnen zijn de bewerkingsspaden van 12 meter, de rode lijnen zijn de spuitsporen op 36 meter van elkaar.



Figuur 34: berekende rijpaden binnen een perceel (Pedersen, 2015)

Bij CTF bestaat de hoofdgrondbewerking vaak uit het cultiveren van de grond. Omdat zwaardere bewerkingen zoals ploegen niet mogelijk zijn op een breedte van 12 meter. Het CTF systeem wordt ook toegepast op smallere werkbreedtes zoals 9 meter. Dit bespaard op de aanschafkosten van machines ten opzichte van 12 meter. Echter zullen de voordelen van het systeem ook geringer zijn. Bij het gebruik van het CTF systeem kan tot 40 procent worden bespaard op arbeid en brandstof, daarnaast dalen de kosten voor onderhoud door minder slijtage aan machines (Chamen, Moxey, Towers, Balana, & Hallet, 2014).

6.2 Kopakker beleid

Tijdens het oogsten vinden er veel transportbewegingen plaats op het land, zoals in het vorige hoofdstuk al is aangegeven kan dit oplopen tot 90 procent in graangewassen. Bij het oogsten van rooivuchten is bovendien de kans groot dat er herhaaldelijk door hetzelfde spoor wordt gereden. Herhaaldelijk over dezelfde grond rijden vergroot de kans op bodemverdichting (Ginste, 2012).

6.2.1 Voorraadbunker

Tijdens de oogst wordt in de meeste gevallen het transport met kiepwagens gedaan. Omdat deze kiepwagens de oogst bij de oogstmachine moeten ophalen, rijden deze op een groot deel van het perceel waar ook de oogstmachine al heeft gereden. De kiepwagen wordt vervolgens geladen waardoor het totaal gewicht boven de 30 ton uit kan komen en de wiellast in het veld kan oplopen tot 6250 kilo (Vermeulen, Verwijs, & Akker, 2013). Omdat de kiepwagens ook het transport over de weg doen is het niet mogelijk om met zeer lage bandenspanningen te werken. Een bandendrukwisselsysteem zou een uitkomst kunnen bieden, maar dit brengt kosten met zich mee. Een andere optie is om het perceel niet of zo min mogelijk te betreden met de kiepwagens. Wanneer een oogstmachine is voorzien van een voorraadbunker, kan deze de oogst naar een kopakker brengen. Vervolgens kan het daar al dan niet op het veld in een kiepwagen worden gelost. Op deze manier kunnen transportbewegingen op het veld worden geminimaliseerd. Het is dan wel noodzakelijk dat de oogstmachine minimale bodemdruk veroorzaakt door bijvoorbeeld op IF banden - of met tracksystemen te werken.

Bij rooivuchten is het ook mogelijk om de oogst tijdelijk op de kopakker op te slaan en later met een kraan of speciale laadmachine op kiepwagens of vrachtwagens te laden. Er moet dan wel gebruik gemaakt worden van een bunkerrooier. Als dit niet volstaat omdat de bunker achter op het perceel vol is bijvoorbeeld, zou een kiepwagen met lage bandenspanningen uitkomst kunnen bieden, deze hoeft immers geen wegtransport te verrichten.

6.2.2 Overlaadwagens

Overlaadwagens zijn een goed alternatief voor kiepwagens op het land. Omdat een overlaadwagen het wegtransport niet hoeft uit te voeren, kan het onderstel op minimale bodemdruk worden geoptimaliseerd. In figuur 25 en 29 zijn voorbeelden van overlaadwagens te zien. Er zijn ook overlaadwagens op luchtbanden. Het doel van een overlaadwagen is de oogst van de oogstmachine naar gereedstaande kiepwagens of vrachtwagens brengen, in figuur 29 is dit goed te zien. In sommige gevallen is het gebruik van overlaadwagens ook noodzakelijk. Vrachtwagens kunnen normaliter het land niet betreden en de meeste bunkerrooiers kunnen niet boven een vrachtwagen trailer komen. Overlaadwagens zijn hier wel voor ingericht, dit spaart een laadmachine uit. Uiteraard brengt de aanschaf van een overlaadwagen kosten met zich mee. In hoeverre het gebruik van een overlaadwagen rendabel is, is sterk afhankelijk van de situatie. Wat voorop staat is dat het kan bijdragen aan het behoud van de bodem en ondergrond.

Hoofdstuk 7 Wat is de winst?

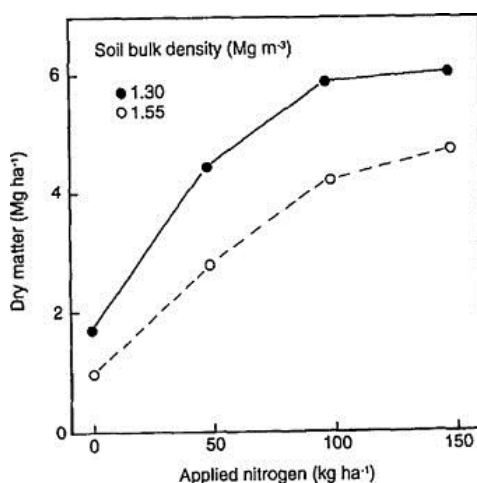
Tracksystemen zijn een grote investering, daarnaast vragen ze ook onderhoud. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar opbrengstverliezen door bodemverdichting. Loonwerkers kunnen met tracksystemen een meerwaarde leveren aan klanten. Bewustwording van het probleem bij klanten is van belang om deze meerwaarde te rechtvaardigen in een hoger tarief (Boerenbusiness, 2014).

7.1 Kosten van een verdichte bodem

Een verdichte bodem kan kosten met zich mee brengen die in eerste instantie niet voor de hand liggend zouden zijn. In dit hoofdstuk worden enkele van deze kostenposten behandeld.

7.1.1 Nutriënten

Zoals in hoofdstuk 2.5 al is bediscussieerd, is de ontwikkeling van het wortelstelsel in een verdichte bodem niet optimaal. Hierdoor heeft de plant een verminderde nutriënten opname omdat niet alle nutriënten bereikt kunnen worden. Om toch een zo hoog mogelijke opbrengst te behalen is het dan noodzakelijk om meer nutriënten beschikbaar te stellen door extra bemesting. In figuur 35 is een grafiek te zien van toegevoegde hoeveelheid stikstof en de droge stof productie van het gewas op een verdichte en een niet verdichte bodem.



Figuur 35: toegevoegde N en droge stof productie op verdichte en niet verdichte bodem (Chamen, Moxey, Towers, Balana, & Hallet, 2014)

Om 4 ton droge stof van een hectare te halen, is op een verdichte ondergrond meer dan twee keer zo veel stikstof nodig dan op een niet verdichte bodem. In deze berekening is nog niet het mogelijke afspoelen van stikstof op een verdichte bodem mee genomen. Als dit aan de orde is, zou de benodigde stikstof nog hoger kunnen uitvallen (Chamen, Moxey, Towers, Balana, & Hallet, 2014). Bij een prijs van ruim een euro per kilo stikstof kunnen de extra kosten gemakkelijk oplopen tot €50 per hectare. Kosten voor het aanwenden van stikstof in de vorm van kunstmest of dierlijke mest zijn in deze nog niet meegerekend.

7.1.2 Brandstof

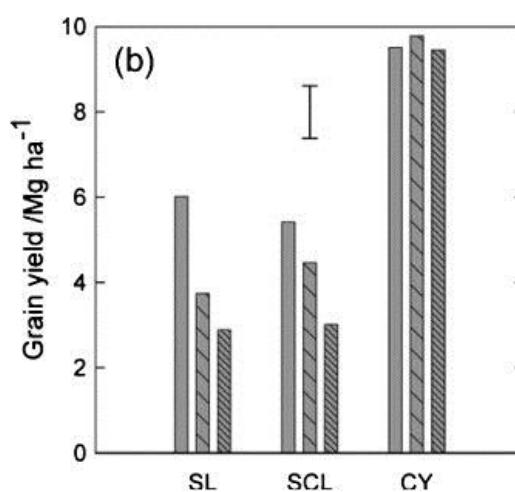
Grondbewerkingen op een verdichte bodem vraagt meer vermogen dan grondbewerkingen op een bodem die niet verdicht is. Voor het cultiveren van de grond op niet verdichte bodem zou een trekker van 120 paardenkracht (pk) volstaan. Per draaiuur verbruikt deze trekker 18 liter diesel. Wanneer de bodem verdicht is, is voor dezelfde bewerking een trekker van 180 pk nodig. Deze verbruikt 25 liter diesel per uur. (Chamen, Moxey, Towers, Balana, & Hallet, 2014). Bij het bewerken van een verdichte bodem kan het brandstofverbruik dus met 38% toenemen.

7.2 Bodemverdichting en opbrengstverliezen

Hoe schadelijk bodemverdichting voor de ontwikkeling van een plant is, is sterk afhankelijk van het gewas en de grondsoort. In dit hoofdstuk worden verschillende soorten gewassen behandeld, in welke mate ze gevoelig zijn voor bodemverdichting en welke opbrengstverliezen kunnen ontstaan.

7.2.1 Graangewassen

Opbrengstverliezen door bodemverdichting kunnen sterk afhankelijk zijn van de het soort grond waar het op wordt verbouwt. In figuur 36 is een grafiek te zien waarin opbrengsten zijn te zien op verschillende grondsoorten bij verschillende mate van verdichting. Van links naar rechts zijn de grijze balken verdeeld in: geen, matige en zware verdichting. De grondsoorten zijn: zanderig leem, SL, zanderig kleileem, SCL en klei, CY. Op zanderige leemgrond is het verschil in opbrengsten tussen geen en zware verdichting 50% terwijl op kleigrond het verschil nihil is.



Figuur 36: graanopbrengsten bij geen, matige en zware verdichting op zanderig leem, zanderig kleileem en klei (Chamen, Moxey, Towers, Balana, & Hallet, 2014)

In tabel 6 is het percentage opbrengst van de opbrengst van bereiden ten opzichte van onbereiden grond weergegeven. Daarnaast staat op welke grondsoort de proefvelden hebben gelegen en in welk land de proef is uitgevoerd. In sommige gevallen is de opbrengst niet gedaald of zelfs gestegen, maar over het algemeen zijn de opbrengsten op een bereiden ondergrond veel lager dan op onbereiden grond. De mate van verdichting op de bereiden velden is in dit geval niet bekend, de onbereiden velden zijn met behulp van CTF tot stand gekomen. Bodemverdichting heeft in dit onderzoek significant invloed gehad op de opbrengst van graangewassen.

Crop	Yield% of non-trafficked	Soil information	Country	Reference
Cereals	87–110	Profile: clay, loam, sandy loam, loam	England, Netherlands, Scotland, Germany	Chamen et al. (1992b)
Barley	62–81	Subsoil: sandy loam	England	Pollard and Elliott (1978)
Wheat	85	Profile: clay	England	Chamen et al. (1992a)
Spring barley	86	Profile: clay	England	Chamen and Cavalli (1994)
Wheat	79	Profile: clay	England	Chamen and Longstaff (1995)
Wheat	100	Profile: silt loam	England	Graham et al. (1986)
Barley	100+	Profile: sandy clay loam	Scotland	
Spring barley	84	Profile: gley2	Scotland	Dickson and Ritchie (1996)
Spring osr	80	Profile: gley2		

Crop	Yield% of non-trafficked	Soil information	Country	Reference
Winter barley	87	Profile: gley2		
Wheat	74	Raised beds: sands, loams	Australia	Hamilton et al. (2003)
Barley	69			
Oilseed rape	75			
Wheat	83	Profile: clay loams	USA	Voorhees et al. (1986)
Maize	79			
Soybean	84			
Wheat	93	Profile: loam	Netherlands	Lamers et al. (1986)
Cereals	69	Profile: clay loam	Australia	Radford and Yule (2003)
	80	Subsoil: clay		
Cereals and grain legumes	89	Profile: red brown Earth	Australia	Sedaghatpour et al. (1995)
Wheat	100	Profile: clay	Australia	Radford et al. (2000)
Wheat	84	Profile: fine sand	South Africa	Bennie and Botha (1986)
Cereals	87–95	Profile: various	Ukraine	Medvedev et al. (2002)
Cereals	77–122	Profile: various	Poland	Lipiec (2002)
Oats	71	Profile: clay	Sweden	McAfee et al. (1989)
Barley and peas	77–100	Subsoil: silt loam	USA	Hammel (1994)
Wheat	100			
Oilseed rape	53	Profile: sodic clay	Australia	Chan et al. (2006)
Spring cereals	79 and 84	Profile: clays	Sweden	Håkansson et al. (1985)
Cereals	88	Profile: clay	Australia	Tullberg et al. (2001)

Tabel 6: percentage opbrengsten van bereiden velden ten opzichte van onbereiden velden (Chamen, Moxey, Towers, Balana, & Hallet, 2014)

Tabel 7 is overzicht van de opbrengsten van verschillende methodes om bodemverdichting te verhelpen, dan wel te voorkomen. In dit overzicht zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- Wintertarwe als gewas.
- Door bodemverdichting is een opbrengstderving van 2,5% op klei en 2,0% op andere grondsoorten van toepassing.
- Dit resulteert in een opbrengstverliezen van: 0,26 ton, 0,18 ton, 0,15 ton en 0,16 ton per hectare op respectievelijk: klei, leem, zand en veen.
- De tarweprijs bedraagt £118 per ton
- Nutriëntenverlies door bodemverdichting is 20% op klei, 11% op leem, 2% op zand en 20% op veen.
- Prijzen voor de nutriënten zijn: £0,62/kg stikstof en £0,52/kg fosfaat
- Door het gebruik van lage druk banden of tracksystemen wordt de opbrengst met 3% verhoogt ten opzichte van de standaard.
- Door het gebruik van CTF wordt de opbrengst met 5% verhoogt.
- Het brandstofverbruik op klei is 100%, op leem 80% en op zand en veen 60%.
- Door bodemverdichting neemt het brandstofverbruik toe met: 87% op klei, 60% op leem en op veen en zand 29%.
- De brandstofprijs is £0,70 per liter.
- De efficiëntie van de gebruikte technieken of methodes zijn 100%.

Type	Management option	£/ha change	Clay	Silt	Sand	Peat
Alleviation	Subsoiling (general)	Option cost	£56.10	£51.90	£47.70	£47.70
		Input saving	£14.53	£7.99	£1.45	£14.53
		Output gain	£30.60	£21.60	£18.48	£19.20
		GM change	–£10.97	–£22.31	–£27.77	–£13.97

Type	Management option	£/ha change	Clay	Silt	Sand	Peat
Alleviation	Plough	Option cost	£54.90	£46.50	£38.10	£38.10
		Input saving	£14.53	£7.99	£1.45	£14.53
		Output gain	£30.60	£21.60	£18.48	£19.20
		GM change	−£9.77	−£16.91	−£18.17	−£4.37
Avoidance	Low ground pressure tyres	Option cost	£3.58	£3.58	£3.58	£3.58
		Input saving	£14.53	£7.99	£1.45	£14.53
		Output gain	£67.32	£54.00	£46.20	£48.00
		GM change	£78.27	£58.41	£44.07	£58.95
Avoidance	Tracked tractors	Option cost	£21.00	£21.00	£21.00	£21.00
		Input saving	£14.53	£7.99	£1.45	£14.53
		Output gain	£67.32	£54.00	£46.20	£48.00
		GM change	£60.85	£40.99	£26.65	£41.53
Avoidance	Controlled traffic farming (CTF)	Option cost	£0.00	£0.00	£0.00	£0.00
		Input saving	£25.94	£15.34	£4.74	£17.82
		Output gain	£91.80	£75.60	£64.68	£67.20
		GM change	£117.74	£90.94	£69.42	£85.02

Tabel 7: opbrengsten bij verschillende methoden om bodemverdichting te verhelpen of voorkomen (Chamen, Moxey, Towers, Balana, & Hallet, 2014).

Omdat er van uit wordt gegaan dat elke optie 100% effect zal hebben komt het gebruik van lage druk banden het voordeligste uit omdat de aanschafprijs vele malen lager ligt dan die van tracksystemen. Uit hoofdstuk 4.2.4 is echter gebleken dat deze veronderstelling niet geheel juist is omdat tracksystemen effectiever blijken te zijn in het voorkomen van ondergrondverdichting dan IF-banden. Voor CTF zijn geen kosten berekend, er zullen echter wel degelijk kosten gemaakt moeten worden. Bijvoorbeeld het aanpassen van het machinepark om werkbreedtes overeen te stemmen.

7.2.2 Wortel- en knolgewassen

Dit zijn gewassen die voornamelijk onder de grond groeien, reageren anders op een verdichte bodem dan bijvoorbeeld graangewassen. In tabel 8 is dit duidelijk te zien. In de eerste kolom staat het soort gewas waar de proef mee is gedaan. In de tweede kolom staat het percentage oogstverlies tussen behandeling A, dit was geen verkeer op het proefveld, dus een onverdichte bodem. En behandeling D, dit was driemaal berijden met een hoge bandenspanning. Daartussen zaten nog behandeling B, eenmaal berijden met lage bandenspanning en behandeling C, eenmaal berijden met gemiddelde bandenspanning. In de derde kolom is te zien wat de optimale bulkdichtheid in percentages is voor een maximale opbrengst. En in de laatste kolom is te zien wat het percentage oogstverlies is bij een bulkdichtheid van 90 procent.

	Yield loss A-D (%)	Optimum DC	Yield loss DC 90 (%)
Spring wheat	0.3	86.6	1.0
Barley	−0.4	83.6	1.3
Spring oilseed rape	3.6	80.6	6.1
Oats	8.7	83.0	5.0
Sugar beet	9.4	82.1	9.0
Potato	9.9	77.7	6.9
Peas	11.3	79.6	5.6
Horse bean	21.7	79.9	21.3
Winter rye	0.6	80.7	5.5
Winter wheat	3.0	—	—

Tabel 8: oogstverliezen bij verschillende maten van verdichting. (Arvidsson & Hakansson, mei 2014)

In dit onderzoek zijn aardappelen en suikerbieten de knol- dan wel wortelgewassen. In vergelijking met de graangewassen bovenin de tabel, is een duidelijk verschil te zien. Het percentage opbrengstverliezen tussen A en D zijn significant hoger bij aardappelen en suikerbieten. Ook bij een bulkdichtheid van 90% is goed te zien dat de opbrengstverliezen bij deze twee gewassen beduidend hoger ligt dan bij de graangewassen.

Voornamelijk het oogstenmoment is kritiek voor wortel en knolgewassen. Dit gebeurt veelal in het najaar wanneer de omstandigheden vaak niet optimaal zijn. Door veel regenval in het najaar zijn het aantal werkbare dagen gering. Om in een beperkt aantal dagen toch het areaal geoogst te krijgen, is capaciteitsverhoging een oplossing. In tabel 9 is te zien wat het effect is van het vergroten van de werkbreedte van een bietenrooier en wat het effect is van het vergroten van het aantal werkuren per dag.

Taaktijden en gerooide hectares suikerbieten per dag afhankelijk van aantal uur inzet en werkbreedte.

werk- breedte	aantal dagen	dagelijkse inzet minimaal: 10 uur per dag				dagelijkse inzet standaard: 16 uur per dag				dagelijkse inzet maximaal: 24 uur per dag			
		taaktijd uren/ha	ha/dag	areaal (ha)	verschil t.o.v. standaard	taaktijd uren/ha	ha/dag	areaal (ha)		taaktijd uren/ha	ha/dag	areaal (ha)	verschil t.o.v. standaard
3 m	10	1,16	8,6	86	-58	1,11	14,4	144		1,10	21,8	218	+74
	20	1,16	8,6	172	-116	1,11	14,4	288		1,10	21,8	436	+148
	30	1,16	8,6	259	-174	1,11	14,4	432		1,10	21,8	655	+222
	40	1,16	8,6	345	-232	1,11	14,4	577		1,10	21,8	873	+296
4½ m	10	0,83	12,0	120	-87	0,77	20,8	208		0,76	31,6	316	+108
	20	0,83	12,0	241	-175	0,77	20,8	416		0,76	31,6	632	+216
	30	0,83	12,0	361	-262	0,77	20,8	623		0,76	31,6	947	+324
	40	0,83	12,0	482	-349	0,77	20,8	831		0,76	31,6	1263	+432
6 m	10	0,66	15,2	152	-107	0,62	25,8	258		0,62	38,7	387	+129
	20	0,66	15,2	303	-213	0,62	25,8	516		0,62	38,7	774	+258
	30	0,66	15,2	455	-320	0,62	25,8	774		0,62	38,7	1161	+387
	40	0,66	15,2	606	-426	0,62	25,8	1032		0,62	38,7	1548	+516

Tabel 9: capaciteitsverhoging suikerbietenooist (Tijink, 2004)

De uitgangspunten bij de berekeningen waren:

- Percelen van 200 m breed en 250 m lang (5 ha), werkbreedte 3, 4½ of 6 m (6, 9 en 12 rijen);
- Werksnelheid 5,4 km/uur en afstand tot en tussen percelen 5 km.
- Er is uitgegaan van rijdend lossen van de bunker, dat wil zeggen dat hierdoor geen tijdverlies optreedt. Verder is verondersteld dat er geen wachttijden zijn t.g.v. afstemmingsproblemen, het transport met kippers moet goed geregeld zijn.
- Standaard is gerekend met een dagelijkse inzet van 16 uur per dag

Capaciteitsverhoging resulteert in het verkorten van de oogstperiode. Dit kan in jaren met regelmatige neerslag een groot verschil maken omdat er minder werkbare dagen nodig zijn. Hierdoor is het mogelijk meer selectief te zijn in het bepalen van oogstmomenten en eventueel te wachten op gunstigere omstandigheden. Het vergroten van de werkbreedte resulteert echter in gewichtstoename van de rooimachine en vraagt om grote investeringen. In langere periodes van neerslag kan het zo zijn dat er zich geen gunstige momenten aandienen. Dan is de inzet van een bunkerrooier noodzakelijk om kiepwagens van het perceel te weren. Uit onderzoek is gebleken dat het uitzoeken van juiste oogstmomenten en systematisch werken op lage druk een meeropbrengst bij rooivuchten van 4% kan opleveren (Tijink, 2004).

Bij een bietenprijs van €40 per ton en een gemiddelde productie van 78 ton per hectare kan een meeropbrengst worden gerealiseerd van:

$$- 78 \times €40 \times 4\% = €125 \text{ per hectare}^1$$

¹ Cijfers van 2016 (Dodde, 2017)

7.2.3 Veehouderij

In de veehouderijsector worden hoofdzakelijk twee gewassen geteeld: gras en snijmais. Onderzoek van Wageningen UR wijst uit dat ondergrond verdichting op (blijvend) grasland slechts geringe gevolgen heeft voor de drogestof opbrengsten van een perceel. Alleen grasmengsels met een belangrijk deel klaver blijken gevoelig te zijn voor ondergrond verdichting. Dit is voornamelijk te wijden aan het wortelstelsel. Opbrengstverliezen op grasland worden voornamelijk veroorzaakt door schade die aan de zode wordt toegediend tijdens bewerkingen zoals het aanwenden van drijfmest (Boer & Eekeren, 2007). Uiteraard kan ondergrond verdichting wel zorgen voor een slechte drainage werking van de bodem waardoor water op het perceel blijft staan, zoals beschreven in hoofdstuk 2.4. Dit zal uiteindelijk wel leiden tot opbrengstverliezen en moeizamer bewerken van de grond.

Zoals in hoofdstuk 2.4 al naar voren is gekomen, is snijmais vele malen gevoeliger voor bodemverdichting. Gemiddeld is de opbrengst derving op bouwland 7%, bij extreme verdichting kan dit zelf 15% bedragen (Derks, Aasman , Evers, & Wit , 2012). Uitgaande van een gemiddelde derving van 7% bij een normale opbrengst van 16.000 kg drogestof per hectare, is het verlies 1.120 kg drogestof per hectare. In 2014 was de berekende kostprijs bij een gemiddelde gewasopbrengst €0,14 per kg drogestof (Knook, 2014). Per hectare is de opbrengst derving bij een gemiddeld verdichte bodem:

$$- \quad 1.120 \text{ kg} \times \text{€ } 0,14 = \text{€ } 157 \text{ per hectare}$$

In deze berekening is uit gegaan van de berekende kostprijs voor een kilogram drogestof snijmais, dit is geen inkoopprijs. Bij een niet toereikende hoeveelheid ruwvoer zal de aankoopprijs waarschijnlijk hoger liggen.

Hoofdstuk 8 Tracksystemen in de praktijk

Tracksystemen zijn in alle opzichten anders dan een traditionele landbouwband. Zo hebben ze een andere vorm, meer bewegende delen en uiteraard hebben ze een hogere aanschafprijs. In dit hoofdstuk komen eindgebruikers aan het woord om te bepalen wat daadwerkelijk de kosten en ervaringen in de praktijk zijn.

8.1 Loon- en aannemersbedrijf De Samenwerking BV

De Samenwerking, gevestigd in Elsloo is een bedrijf dat actief is in zowel agrarisch loonwerk als in het grondverzet en aannemerij. Met 31 vaste personeelsleden is dit een groot bedrijf dat voorziet in een groot werkgebied. Het bedrijf maakt gebruik van tracksystemen die onder een van de vier hakselaars worden gemonteerd. Daarnaast maakt het bedrijf gebruik van rupsdumpers voor de afvoer van het gewas. Door een combinatie van deze machines is het bedrijf gespecialiseerd in het oogsten van snijmais onder extreme omstandigheden.



*Figuur 37: De Samenwerking in actie
(Samenwerking, 2017)*

8.1.1 De tracksystemen

De Samenwerking maakt gebruik van geveerde Tidue tracksystemen met drie tussenrollen en een rups van 76 cm breed. Dit is de tweede set tracksystemen die het bedrijf in gebruik heeft, de vorige was niet geveerd. Er is voor een variant met drie tussenrollen gekozen om een zo groot mogelijke contact oppervlak met de ondergrond te verkrijgen. Er is gekozen voor deze rupsbreedte om de transportbreedte van de hakselaar binnen perken te houden. Tot slot is er voor een geveerd systeem gekozen voor het behoud van de machine. De vering vangt veel trillingen op die anders de hakselaar te verduren kreeg.

8.1.2 Gebruikerservaring

De systemen doen wat er van verwacht wordt, op ondergronden waar een hakselaar op wielen blijft staan, kunnen de tracksystemen doorgaan. Door de combinatie met rupsdumpers kan de oogst ook van natte percelen worden gehaald, met minimale bodem en structuurschade. Kiepwapens op wielen vernielen alsnog de bodem die de hakselaar op tracksystemen in takt laat.

8.1.3 Verbeterpunten en onderhoud

Het kan voorkomen dat een track voorover kantelt en daardoor schade aan het spatbord aanricht. Dit gebeurt bijvoorbeeld op een zachte veenplek. Hier zou een kantelbeveiliging een oplossing kunnen bieden. Tot nu toe zijn alleen de hoofdrollen vervangen. Verder is het alleen een kwestie van regelmatig het hoofdlager smeren en aan het eind van het seizoen de tracksystemen goed schoon maken. Het geringe onderhoud komt mede door het veersysteem meent Marcel Betten van De Samenwerking.

8.1.4 Aanpassingen aan de machine

Omdat er is gekozen voor tracksystemen met drie tussenrollen, was het noodzakelijk om de trap naar de cabine iets aan te passen. Dit was geen ingrijpende aanpassing.

8.1.5 Draaiuren en wegtransport

In een nat najaar maken de tracksystemen ruim 200 uur, in een gemiddeld jaar zijn dat ongeveer 100 draaiuren. In droge najaaren komen de tracksystemen niet uit de schuur. De tracksystemen hebben in totaal 320 uur gedraaid. Het wegtransport is ook op de tracksystemen gedaan, Marcel geeft aan dat het van belang is dat de chauffeur weet wat hij doet voor een lange levensduur van het loopvlak en de rollen. Hierdoor zijn de tracksystemen na 5 jaar nog in uitstekende conditie.

8.1.6 Uurtarief

De samenwerking maakt voor het hakselen van mais gebruik van een combinatieprijs, zowel per hectare als per uur. De hectareprijs staat vast, het uurtarief voor de hakselaar wordt met €75 verhoogd wanneer er gebruik wordt gemaakt van de tracksystemen. Daarnaast wordt er een uurtarief gerekend voor de rupsdumpers en voor de eventuele machines voor overladen en wegtransport van het gewas.

8.1.7 Werken met de tracksystemen

Het is van belang dat er een ervaren chauffeur op de hakselaar zit, iemand die niet weet wat hij doet rijdt zelfs een hakselaar op rupsen gemakkelijk vast. Daarnaast is het op de weg van belang dat de chauffeur niet krap draait. De hakselaar op rupsen is uitgerust met een 6-rijer bek, in combinatie met de rupsdumpers levert dit absoluut niet in op capaciteit ten opzichte van een hakselploeg op luchtbanden. Integendeel, twee hectare per uur hakselen is geen uitzondering aldus Marcel Betten.

8.1.8 Kosten op een rij

- Aanschaf:		50.000
- Hoofdlager:	2 x 2.500	2.500
- Manuren lager vervangen:	2 x 8 x 30	480
- Totaal:		52.980

8.2 Akkerbouwbedrijf van Rulo V.O.F.

Akkerbouwer Jeroen van Rulo uit Midwolda, maakt gebruik van 4 Zuidberg tracksystemen onder een New Holland T7.270. Van Rulo bewerkt 200 hectare akkerbouwgrond, 100 hectare voor het melkveebedrijf van zijn broer en daarnaast wordt er bij gelegenheid loonwerk uitgevoerd. Van Rulo heeft in 2013 ingezet op verbetering van bodemkwaliteit van het akkerbouwbedrijf. Daarom is er gekozen voor de aanschaf van de tracksystemen, is de traditionele ploeg vervangen door een bovenover variant en is het bemestingsplan op de schop gegaan.



Figuur 38: van Rulo Vof met een NH T7.270 op Zuidberg tracks (Stam, 2017)

8.2.1 Keuze voor tracksystemen

De tracksystemen zijn hoofdzakelijk aangeschaft voor het bovenover ploegen. Van Rulo zag de kwaliteit van de bodem op zijn grond verslechteren en besloot daarom zijn bedrijfsvoering aan te

passen. In een Engels onderzoek had hij gelezen dat bij traditioneel ploegen met een 4 schaar ploeg, de ondergrond in 4 jaar verdicht raakt. Omdat bovenover ploegen meer tractie vereist en om de ondergrond zo veel mogelijk te ontzien, is er gekozen voor een nieuwe trekker met tracksystemen. De aanschafprijs was het grootste struikelblok. Van de plaatselijke dealer kreeg van Rulo een aanbod voor een trekker met 100 pk meer, voor minder geld. Door het grotere totaalgewicht en het feit dat er dan alsnog op banden gereden zou worden, was dit voor van Rulo geen optie.

8.2.2 Werkzaamheden

Naast het bovenover ploegen, wordt de trekker ook gebruikt voor zaaien, rotorkopeggen, kilveren en als sleeptrekker tijdens de maisoogst. De trekker wordt hoofdzakelijk op het eigen bedrijf ingezet, maar vooral in natte periodes doen derden ook een beroep op van Rulo.

8.2.3 Gebruikservaring

Uit eigen ervaring is gebleken dat de grotere draagkracht en meer tractie er voor zorgen dat er zelfs onder natte omstandigheden geploegd kan worden. Terwijl naastgelegen boeren noodgedwongen de werkzaamheden moesten uitstellen of staken, kon van Rulo probleemloos van start gaan. Zelfs een rupstrekker bleek niet in staat het veld te ploegen waar dit met de tracksystemen wel lukte.

8.2.4 Draaiuren en onderhoud

De tracksystemen hebben nu 1400 tot 1500 draaiuren gemaakt. Qua onderhoud zijn er op de olie van lagers verversen na geen kosten gemaakt. Van Rulo denkt dat dit voornamelijk komt doordat de tracksystemen vrijwel alleen op het land worden gebruikt, wegtransport wordt zo veel mogelijk vermeden. Wel zijn er een aantal modificaties door Zuidberg aan de tracksystemen gedaan. Omdat er niet gedurende het hele jaar op de tracksystemen hoeft worden gereden, wordt de trekker ook als wieltrekker gebruikt. Het ombouwen kost van Rulo 1,5 tot 2 uur met twee personen.

8.2.5 Opbrengsten

Van Rulo zag zijn grond in 3 jaar tijd aanzienlijk verbeteren door specifieke bemesting en bekalking, maar ook door het ontzien van de bodem. Exacte cijfers zijn hier moeilijk aan te koppelen en ook welke factor hier het meest invloed op heeft gehad, aldus van Rulo. Wel is gebleken dat het brandstofverbruik aanzienlijk is verminderd met het gebruik van de tracksystemen. Door gebrek aan tractie bleek de wieltrekker niet in staat om een vijscharige ploeg op een natte ondergrond te trekken. Na de aanschaf van de tracksystemen bleek de ploeg zelfs verlengd te kunnen worden met een zesde schaar. Het brandstofverbruik per uur bleef gelijk alleen het aantal hectares per uur steeg van 1,2 naar 1,6 ha per uur. Met als gevolg een lager brandstofverbruik en minder loon- of arbeidskosten. Daarnaast rekent van Rulo een hoger uurtarief voor de trekker wanneer deze op tracksystemen staat. Bij het ploegen op banden is dit tarief 80 tot 100 euro per uur, afhankelijk van de grondsoort. Bij ploegen op tracksystemen ligt het uurtarief op 140 tot 150 euro.

8.2.6 De rekensom

In totaal heeft van Rulo €58.000 geïnvesteerd in de tracksystemen onder de New Holland. Op de vraag of de tracksystemen rendabel zijn, antwoord van Rulo stellig: “Nee, daarvoor is de omvang van ons bedrijf te klein. Daarnaast is het heel moeilijk om alles op geld te zetten”, daarmee doelende op de verbetering van de bodem. Maar anderzijds geeft van Rulo ook aan dat de ervaren resultaten zonder de tracksystemen niet haalbaar zouden zijn. “We zijn voor 200 procent tevreden over de tracks”, aldus van Rulo (persoonlijke communicatie, 7 februari 2017).

8.3 Loonbedrijf/mestdistributie Meilof Hoogersmilde

Loonbedrijf Meilof is een agrarisch loonbedrijf die kan voorzien in alle voorkomende werkzaamheden in zowel akkerbouw als veehouderij. Daarnaast heeft het bedrijf een uitgebreide mestdistributie en grondverzet tak. Om klanten te kunnen bedienen bij de oogst van graan en korrelmais onder natte omstandigheden maakt Meilof gebruik van Tidue tracksystemen onder een New Holland CR9060.



Figuur 39: Meilof met een NH CR 9060 (Kluitenberg, 2017)

8.3.1 De tracksystemen

Loonbedrijf Meilof schafte in 2008 Tidue tracksystemen met 3 tussenrollen aan. De tracksystemen werden onder een combine gemonteerd om korrelmais op natte percelen te kunnen oogsten. Sinds de aanschaf zijn de tracksystemen alleen ingezet in combinatie met een combine, zowel voor de oogst van korrelmais als graangewassen.

8.3.2 Gebruik, kosten en onderhoud

In 2008 zijn de tracksystemen aangeschaft voor €42.000. Het aantal draaiuren is voor Meilof moeilijk in te schatten, het aantal hectares kan op jaarbasis oplopen tot 300. Het gebruik is sterk afhankelijk van het seizoen, afgelopen jaar was vrij droog waardoor de tracksystemen niet zijn gebruikt. In de eerste jaren na de aanschaf werd het wegtransport op de tracks uitgevoerd. Dit bleek veel slijtage aan de tussenrollen en hoofdrollers op te leveren, waarop Meilof besloot een dieplader te bouwen voor het wegtransport. Meilof schat dat de tussenrollen allemaal 1,5 keer vervangen zijn, originele onderdelen van de dealer waren te duur, daarop heeft Meilof een bedrijf gevonden die de tussenrollen kan vulkaniseren. In totaal zijn er vier keer een nieuw hoofdroller gemonteerd waarvan de kosten per keer, inclusief arbeid zo'n €3.500 bedragen. Voor het bouwen van de dieplader was Meilof ongeveer €15.000 kwijt, sindsdien is de slijtage aan de tussenrollen en hoofdrollers minimaal. Het loopwerk van de rups zelf verkeerd na 8 jaar nog in goede conditie. Aan de combine zijn geen aanpassingen gedaan, en dus ook geen kosten gemaakt. Voor het ombouwen van de combine van tracksystemen naar wielen of andersom is Meilof een uur met twee personen kwijt.

8.3.3 Opbrengsten

Voor het gebruik van de tracksystemen berekend Meilof €60 per hectare door aan de klanten. In 2010 werd er 300 hectare op rupsen geoogst. In dat jaar werd er in totaal €18.000 naar klanten gefactureerd, in 2011 werd er in totaal €10.500 gefactureerd maar afgelopen jaar leverden de tracksystemen niets op.

8.3.4 Rendabiliteit

Het is voor Meilof moeilijk te bepalen hoe rendabel de tracksystemen zijn, zoals eerder aangegeven is het gebruik sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. De totale kosten bedragen:

- Aanschaf		42.000
- Looprollen	9(1,5x6) x 30	270
- Arbeid	9 x 25	225
- Hoofdroller	4 x 3.500	14.000
- Dieplader		15.000
- Totaal		71.495

In totaal is er ongeveer €50.000 naar klanten gefactureerd. Op basis van deze cijfers lijken de tracksystemen voor Meilof niet rendabel, echter hebben zowel de tracksystemen en de dieplader een

restwaarde. Daarnaast zijn er de eerste jaren te veel kosten gemaakt op het onderhoud door wegtransport op de tracksystemen (persoonlijke communicatie 18 februari 2017).

8.4 Akkerbouwbedrijf AE BV

AE BV gevestigd in Zeewolde, bewerkt in totaal 800 hectare. Het areaal bestaat onder andere uit uien, bieten, aardappelen, gerst en tarwe. Dit areaal wordt grotendeels bewerkt met eigen mechanisatie, grote machines met capaciteit worden ingezet om efficiënt te kunnen werken. Om deze reden is 5 jaar geleden de eerste John Deere rupstrekker aangeschaft, deze is in 2015 vervangen voor een nieuwe John Deere 8320 RT. Vier jaar geleden werd een Fendt 936 met daaronder 4 stuks Tidue tracksystemen gekocht om de rupstrekker aan te vullen.



Figuur 40: AE BV gebruikt de Tidue tracksystemen zowel onder een combine als onder een trekker (Boom, 2016)

8.4.1 Keuze voor tracksystemen

Eigenaar Arjan van der Eijk (AE BV) schafte 5 jaar geleden een John Deere rupstrekker aan om grote en zware machines zoals een 9 meter brede sneeg of zaaimachine te kunnen trekken. Er werd gekozen voor een rupstrekker omdat voorheen gebruik werd gemaakt van een lichte 160 pk trekker die rondom was voorzien van dubbellucht maar naar van der Eijks idee nog steeds te veel insporing veroorzaakte. De rupstrekker voldeed echter niet volledig aan de verwachtingen, bij de zware sneeg die om een relatief hoge snelheid vraagt, loopt de rupstrekker te veel op het achterste aandrijf wiel. Hierdoor wordt het oppervlak van de rups niet volledig benut met insporing als gevolg. Voor de combine was eerder al een gebruikte set Tidue tracksystemen gekocht. Van der Eijk besloot deze set in te ruilen voor 4 nieuwe tracksystemen om onder de Fendt te monteren. De vier tracksystemen zijn uitgevoerd met twee tussenrollen, de grote systemen zijn asymmetrisch en hebben een rupsbreedte van 90 cm, de kleine systemen zijn 60 cm breed.

8.4.2 Gebruik, kosten en onderhoud

De tracksystemen worden ingezet onder de Fendt 936. Daarnaast gebruikt van der Eijk de grote tracksystemen ook onder de combine en de kleine tracksystemen worden soms onder een kleine trekker gemonteerd. In 2012 zijn de vier tracksystemen nieuw gekocht voor een totaalprijs van €70.000. Sindsdien zijn er geen kosten gemaakt aan onderhoud, alleen schoonmaken en doorsmeren. Wegtransport wordt zo veel mogelijk voorkomen door het gebruik van een dieplader. Van der Eijk schat dat de systemen zo'n 200 draaiuren per jaar maken het totaal ligt op ongeveer 800 tot 1000 draaiuren.

8.4.3 Gebruikservaring

Voorheen werd het zaaibed bereiden en zaaien met een lichte trekker op dubbellucht gedaan. Sinds het gebruiken van de rupstrekker en de tracksystemen is het van der Eijk opgevallen dat de machines veel lichter afgesteld kunnen worden. Het is niet meer noodzakelijk om diep door de grond te gaan om insporingen ongedaan te maken. Van der Eijk ervaart hierdoor een aanzienlijke daling in brandstof

verbruik en slijtage aan machines. Daarnaast is de arbeid efficiëntie enorm toegenomen doordat de 360 pk tellende Fendt zwaardere en bredere machines kan trekken. Van der Eijk maakt gebruik van optionele kantelbeveiligingen voor de tracksystemen. Mede hierdoor kost het ombouwen van de trekker van tracksystemen naar wielen bijna een dag met twee personen. Dit ervaart van der Eijk als een nadeel van de systemen. Voor het behoud van de tracksystemen is het voor van der Eijk van belang om rustiger aan te doen dan met een trekker op wielen. Er zit dan ook vaak een vaste chauffeur op de trekker.

8.4.4 Opbrengsten

Hoewel niet exact berekend, ondervindt van der Eijk een aanzienlijke brandstofbesparing en minder slijtage aan machines. Of er ook verbeteringen in de bodem plaats vinden, vindt van der Eijk moeilijk te zeggen. Of de tracksystemen voor EA BV rendabel zijn, is nauwelijks te berekenen. Exacte cijfers over brandstofverbruik, onderhoudskosten van machines, arbeidskosten enzovoort ontbreken van voor- en na het aanschaffen van de tracksystemen. Daarnaast is het machinepark drastisch gewijzigd waardoor de oude en nieuwe situatie moeilijk te vergelijken zijn. Van der Eijk geeft aan in de huidige bedrijfsvoering absoluut niet meer zonder de tracksystemen te willen en kunnen.

Hoofdstuk 9 Conclusie

De in de laatste decennia is er een duidelijke toename van bodemverdichting op Nederlandse landbouwgrond waargenomen. Groter wordende landbouwmachines, gericht op efficiëntie liggen grotendeels ten grondslag aan dit probleem. Bodemverdichting heeft als gevolg dat het wortelstelsel van een plant niet volledig tot ontwikkeling komt, hierdoor wordt de nutriënten opname belemmert. Ook de waterhuishouding raakt verstoord op een verdichte bodem. Overtollig water kan niet worden afgevoerd en de bodem heeft onvoldoende opslagcapaciteit om te de plant te voorzien van water in droge periodes. Kosten in opbrengstderving, extra brandstofkosten en nutriënten verlies zijn afhankelijk van soort gewas, de mate van verdichting en hoeveelheid neerslag. De totale kosten kunnen uiteenlopen van tientallen tot enkele honderden euro's per hectare.

Omdat bodemverdichting verhelpen moeilijk al dan niet onmogelijk is, is het verstandiger om het te vermijden. Technieken zoals het luchtdrukwisselsysteem, ultraflex banden en tracksystemen kunnen een goede bijdrage leveren aan het vermijden van bodemverdichting. Ultraflex banden en luchtdrukwisselsystemen hebben als voordeel dat wegtransport gemakkelijker is. Het trackstelsel heeft echter een groter contactoppervlak met de bodem waardoor de kans op ondergrond verdichting aanzienlijk kleiner is en er met hogere aslasten gewerkt kan worden. Investerings in tracksystemen zijn echter aanzienlijk hoger en transportsnelheden van de machine nemen drastisch af.

De rendabiliteit van tracksystemen is sterk afhankelijk van het soort eindgebruiker. Globaal kan er onderscheid worden gemaakt in twee soorten eindgebruiker. Ten eerste is er de loonwerker, deze categorie eindgebruikers schaffen tracksystemen aan om te kunnen voorzien in bepaalde behoeftes van klanten. De tracksystemen worden veelal ingezet onder oogstmachines om onder natte omstandigheden te kunnen oogsten. De tweede categorie eindgebruikers zijn akkerbouwers, in deze categorie worden tracksystemen specifieker ingezet, ook onder trekkers. Bij deze categorie speelt de kwestie van bodemverdichting een grotere rol. Voor de meeste loonbedrijven is de rendabiliteit simpelweg een kwestie van omzet minus kosten. Voor akkerbouwbedrijven is de berekening moeilijker, deze kunnen geen uurtarief in rekening brengen en moeten rendabiliteit halen uit kostenbesparingen, meer werkbare dagen en verbeteringen in de bodem. Hier spelen veel factoren die niet of nauwelijks in geld zijn uit te drukken. De kosten voor onderhoud aan de tracksystemen lopen sterk uiteen, wegtransport op de tracksystemen lijkt hier invloed op te hebben. Geïnterviewde eindgebruikers ervaren onverdeeld de tracksystemen als meerwaarde voor de onderneming.

Hoofdstuk 10 Discussie

Bodemverdichting blijkt in de Nederlandse landbouw veelvuldig voor te komen. Bewustwording van dit probleem lijkt langzaam op gang te komen. Echter worden tracksystemen nog maar mondjesmaat ingezet om bodemverdichting te vermijden. Voor een accurate beeldvorming zou het wenselijk zijn om gegevens van meerdere eindgebruikers met elkaar te kunnen vergelijken. Voornamelijk het inzichtelijk maken van de gemiddelde kosten voor onderhoud van tracksystemen vraagt om aanvullende informatie. Tot dusver kan wel worden geconcludeerd dat er potentie is voor de tracksystemen. In hoeverre de tracksystemen rendabel zijn, is ook afhankelijk van de eindgebruiker. Hoeveel waarde deze aan de landbouwgrond hecht, deze bereid is verdere investeringen te doen in machines en een langetermijnvisie heeft. Tracksystemen kunnen aantoonbaar zorgen voor brandstofbesparing, een hogere productiviteit en minder slijtage aan machines. Maar alleen met deze factoren zal een investering in tracksystemen niet binnen enkele jaren terug verdiend zijn. Minder tastbare factoren bepalen mede de rendabiliteit van tracksystemen. Zelfs de natuur heeft invloed, een natte oogst- of bewerkingsperiode kan een grote impact hebben.

Voor een gedegen onderzoek naar oogstopbrengsten en alle kosten zou meerjarig onderzoek raadzaam zijn. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen bedrijven wel of juist niet gebruik maken van tracksystemen in eenzelfde regio. Weersinvloeden en andere variabelen worden zo beter uitgesloten omdat deze binnen een regio niet sterk verschillend zijn.

Hoofdstuk 11 Literatuurlijst

- Agrolog. (2008, september 21). *Krone BigX op rupsen*. Opgehaald van [agralog.wordpress.com](http://agralog.wordpress.com/2008/09/21/krone-bigx-op-rupsen/):
<https://agralog.wordpress.com/2008/09/21/krone-bigx-op-rupsen/>
- Akker, J. v., & Hendriks, R. (2015). Hoe erg is ondergrondverdichting in de landbouw? *Bodem*, 42-44.
- Alakukku, L., Weisskopf, P., Chamen, W., Tijink, F., Linde, J. v., Pires, S., . . . Spoor, G. (oktober 2003). *Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 1. Machine/soil interactions*. Jokioinen, Finland: Soil and Tillage Research.
- Ansorge, D., & Godwin, R. (2007). *The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction, Part 1: Single axle-studies*. Cranford, UK: Cranfield University.
- Areco. (2015, maart 19). *Primeur: Tebbe breedstrooier op Camoplast rupsonderstel. Vandaag in gebruik genomen door ERF bv. #Agrifoto*. Opgehaald van [twitter.com](https://twitter.com/arecokippers):
<https://twitter.com/arecokippers>
- Arvidson, J., & Keller, T. (2014). *Soil stresses under tracks and tyres - measurements and model development*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Arvidsson, J., & Hakansson, I. (mei 2014). *Response of different crops to soil compaction—Short-term effects in Swedish field experiments*. Uppsala, Sweden: Swedisch University of Agricultural Sciences.
- BartVALTRAdriver. (2013). *Agrifac Quatro*. Opgehaald van www.tractorfan.nl:
<http://www.tractorfan.nl/picture/683914/>
- Baumann, D., Akker, J. v., & Kurstjens, D. (april 1990). De Rupstrekker. *Landbouwmechanisatie*, 19-20.
- Beunk, H. (2014). Ultraflex voor alles. *LandbouwMechanisatie*, 23.
- Boer, H. d., & Eekeren, N. v. (2007). *Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klover, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit*. Lelystad: Animal Sciences Group.
- BoerenBusiness. (2013). *Boeren Business*. Opgehaald van
<http://www.boerenbusiness.nl/tech/artikel/item/10840521/Ploeteren-voor-laatste-aardappelen>
- Boerenbusiness. (2014, september 17). *Horsch gaat bodemverdichting te lijf*. Opgehaald van www.boerenbusiness.nl:
<http://www.boerenbusiness.nl/granenmarkt/artikel/item/10858749/Horsch-gaat-bodemverdichting-te-lijf>
- Boerenbusiness. (2014, juli 25). *Nederlandse landbouw rijp voor rupssysteem*. Opgehaald van www.boerenbusiness.nl:
<http://www.boerenbusiness.nl/tech/artikel/item/10854870/Nederlandse-landbouw-rijp-voor-rupssystemen>
- Boom, N. v. (2013, januari 31). *Foto's van niels van der boom - 4 en 5-11*. Opgehaald van www.agrifoto.nl: <http://www.agrifoto.nl/nieuws/log/7396>

- Boom, N. v. (2016, maart 22). *FOTO'S VAN NIELS VAN DER BOOM - 22-3 III*. Opgehaald van agrifoto.nl: <https://www.agrifoto.nl/nieuws/log/7577>
- Broers, H., Lijzen, J., Beelen, P. v., Claesens, J., Griffioen, J., Klein, J., . . . Wuijts, S. (2014). *Afweging bij het gebruik van grondwater en de ondergrond*. Bilthoven: Rijksuniversiteit voor Volksgezondheid en Milieu.
- Camso. (2016, januari 7). *products-solutions*. Opgehaald van camso.co: <http://camso.co/en/products-solutions/agriculture/products?application=10550>
- Chamen, T., Moxey, A., Towers, W., Balana, B., & Hallet, P. (2014). *Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data*. Bedford, UK: CTF Europe.
- Claas. (2011, augustus 17). *Combine harvesters*. Opgehaald van www.wnif.co.uk: <http://www.wnif.co.uk/2011/08/claas-new-terra-trac-options-for-lexion-combines/>
- Demijba. (2006). *Demijba Aardappelteels*. Opgehaald van www.demijba.nl: <http://www.demijba.nl/aard.%20rooien%202006%20016.jpg>
- Deproost, P. (27 maart 2015). Lagere bandendruk vermijdt bodemverdichting. *Boerenbond Management&Techniek*, 50-52.
- Derks, T., Aasman, B., Evers, A., & Wit, J. d. (2012). *Resultaten berekeningen bedrijfsmaatregelen Melkveehouderij en Akkerbouw*. Driebergen: Louis Bolk Instituut.
- Dodde, H. (2017, januari 26). *Nieuws Gewas&Glas*. Opgehaald van Nieuwe Oogst: <https://www.nieuweoogst.nu/nieuws/2016/12/09/bietenprijs-komt-boven-40-euro>
- Drenth, H. (2011, 5 18). *Trend naar minder ploegen zet door*. Opgehaald van [akkerwijzer.nl](http://www.akkerwijzer.nl): <http://www.akkerwijzer.nl/nieuws/347/trend-naar-minder-ploegen-zet-door>
- Eurotrack. (2015). *Camso conversion track systems*. Opgehaald van www.eurotrackltd.com: <http://www.eurotrackltd.com/products/camoplast-agricultural-tracks-wheels/camoplast-cts-conversion-track-systems/>
- Faber, J., & Bloem, J. (2011). *Bodemleven geeft structuur aan akkergrond*. Wageningen: Alterra.
- Fuhler. (2016). *Fuhler loon- en verhuurbedrijf - groenafval*. Opgehaald van www.wegenbouw.be: <http://www.wegenbouw.be/bedrijven/868879/materieel-item/38286800/fuhler-loon-en-verhuurbedrijf-groenafval/bell-rups-rupsdumper/>
- Ginste, L. V. (2012). Bodemverdichting: beter voorkomen dan genezen. *De Loonwerker*, 23-25.
- Goor, H. v. (sd). *Zaaien met een Fendt 936 op Tidue tracks door AE B.V., Almere*. Opgehaald van www.dutchpictures.nl: <http://www.dutchpictures.nl/gallery/zaaien-met-fendt-936-op-tidue-tracks-door-ae-b-v-almere/>
- Grzesiak, S., Grzesiak, M., Hura, T., Marcinska, I., & Rzepka, A. (2013). *Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction*. Cracow, Poland: Environmental and Experimental Botany.
- Heugten, A. v. (2013). *Innovatieve tractie*. Dronten: CAH Vilentum.
- Holm, L. v., Merckx, R., Orshoven, J. v., Diels, J., & Elsen, A. (2011). *Bodemverdichting op landbouwgrond*. Leuven: Katholieke Univiersiteit Leuven.

- Horsch. (2015). *Talking CTF leaders in controlled traffic farming*. Opgehaald van www.horsch.com:https://www.horsch2.com/fileadmin/fm-dam/Specials/2015/GB/H035_-_Talking_CTF_web.pdf+&cd=6&hl=nl&ct=clnk&gl=nl
- Huybrechts, M. (6 september 2013). Een tractorband is niet zomaar rond. *Boerenbond Management&Techniek*, 10-23.
- Industry, D. (2015). *Camso Inc. products*. Opgehaald van [www.directindustry.com: http://www.directindustry.com/prod/camso-inc-25575.html](http://www.directindustry.com/prod/camso-inc-25575.html)
- Jonckheere, K. (2012, december 1). *Maisdorsen met FR9080*. Opgehaald van [www.trekkerweb.nl: http://www.trekkerweb.nl/artikel/2012/12/maisdorsen-met-fr9080.html](http://www.trekkerweb.nl/artikel/2012/12/maisdorsen-met-fr9080.html)
- Kluitenberg, R. (2017, februari 28). *Mais dorsen met Meilof Smilde*. Opgehaald van [landbouwpowers.nl: http://www.landbouwpowers.nl/mais-dorsen-met-meilof-smilde/](http://www.landbouwpowers.nl: http://www.landbouwpowers.nl/mais-dorsen-met-meilof-smilde/)
- Knook, R. (2014). Opbrengst en kwaliteit ruwvoer gaan hand in hand. *Vooruit!*, 41-43.
- Knuivers, M. (2013). Rups is milder voor bodem dan AF-band. *Boerderij*, 4-9.
- Koonstra. (2011, oktober 3). *Mais hakselen voor gevorderden*. Opgehaald van [www.trekkerweb.nl: http://www.trekkerweb.nl/artikel/2011/10/10746618-mais-hakselen-voor-gevorderden.html](http://www.trekkerweb.nl/artikel/2011/10/10746618-mais-hakselen-voor-gevorderden.html)
- Landbouwpowers. (2015, maart 11). *Sleepslang bemesten met loonbedrijf Lolkema*. Opgehaald van [landbouwpowersss.wordpress.com: https://landbouwpowersss.wordpress.com/2015/03/11/sleepslang-bemesten-met-loonbedrijf-lolkema-2/](https://landbouwpowersss.wordpress.com/2015/03/11/sleepslang-bemesten-met-loonbedrijf-lolkema-2/)
- Mark, O. (2012, januari 30). *Tracks become increasingly popular over tyres*. Opgehaald van [Farmers Weekly: http://www.fwi.co.uk/machinery/tracks-become-increasingly-popular-over-tyres.htm](http://www.fwi.co.uk/machinery/tracks-become-increasingly-popular-over-tyres.htm)
- Michelin. (sd). *landbouwbanden*. Opgehaald van [www.michelin-landbouw-banden.nl: http://www.michelin-landbouw-banden.nl/index.php/Landbouwbanden/tractoren](http://www.michelin-landbouw-banden.nl/index.php/Landbouwbanden/tractoren)
- mike_v. (2015). *New Holland T 8050*. Opgehaald van www.tractorfan.nl: http://www.tractorfan.nl/picture/836444/
- Mitas. (2014, september 11). *Mitas produceert 's werelds grootste landbouwband*. Opgehaald van www.trekkerweb.nl: http://www.trekkerweb.nl/artikel/2014/09/mitas-produceert-%E2%80%98s-werelds-grootste-landbouwband.html
- Pedersen, H. (2015, februari 16). *Agrovation, CTF demonstration and development farm for Horsch, 3,000 ha in the Czech Republic*. Opgehaald van [ctfeurope.com: http://ctfeurope.com/2015/agrovation-12m/](http://ctfeurope.com/2015/agrovation-12m/)
- Prosensols. (2011). *Bodemverdichting in de landbouw: vermijden en herstellen*. Rumbeke (B): Prosensols.
- Reynolds, W., Drury, C., Yang, X., Fox, C., Tan, C., & Zhang, T. (2007). *Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil*. Ontario: Greenhouse and Processing Crops Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada.

- Samenwerking, D. (2017, januari 19). *Maisoogst*. Opgehaald van www.desamenwerkingbv.nl: <http://www.desamenwerkingbv.nl/index.php/loonwerk/maisoogst/mais-hakselen>
- Stam, T. (2017, februari 2). *Tag Tonnie Stam*. Opgehaald van Pee Kaas: <http://peekaas.nl/8639/akkerbouwer-van-rulo-midwolda-new-holland-t7-270-bluepower-gps-tonnie-stam/>
- Stark. (2015). *Chenilles*. Opgehaald van www.stark-industries.fr: <http://www.stark-industries.fr/index.php?page=chenilles>
- Tholhuijsen, L. (2013). *Ineens veel vraag naar rupsen*. Opgehaald van www.boerderij.nl: <http://www.boerderij.nl/social/1545/ineens-veel-vraag-naar-rupsen>
- Tijink, F. (2004). *Benut de rooicapaciteit en spaar de bodemstructuur*. Bergen op Zoom: IRS.
- timber-online. (2010, december 7). *Schleichende Harvester*. Opgehaald van www.timber-online.net: <https://www.timber-online.net/?id=2500,4802996,,>
- Toonen. (sd). Opgehaald van toonen.info: <http://toonen.info/Toonen-websites/Transport-Loonbedrijf/nl/mares-articles-nl/general-articles-nl-21/general-articles-nl-11>
- Triferto. (2015). *Triferto*. Opgehaald van Triferto Specialist in bemesting: <http://www.triferto.eu/nl/nieuws/181/ferto-gips--triferto-introduceert--->
- Vermeulen, B. (2008). *Rijpaden, een systeem voor duurzaam bodembeheer*. Wageningen: Plant Research International.
- Vermeulen, G., & Verwijs, B. (2007). *Inventarisatie van beschikbare techniek voor oogst en transport met lage bodemdruk*. Wageningen: Plant Research International BV.
- Vermeulen, G., & Wel, C. v. (2008). *Verslag van een proef met variërende bodemdruk onder natte omstandigheden*. Wageningen: Plant Research International B.V.
- Vermeulen, G., Verwijs, B., & Akker, J. v. (2013). *Vergelijking van bodembelasting bij agrarisch veldwerk in 1980 en 2010*. Wageningen: Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek.
- Wijk, K. v. (2011). *Economische verkenning rijpade-systemen 2011 op akkerbouwbedrijven*. Wageningen: PPO-AGV.