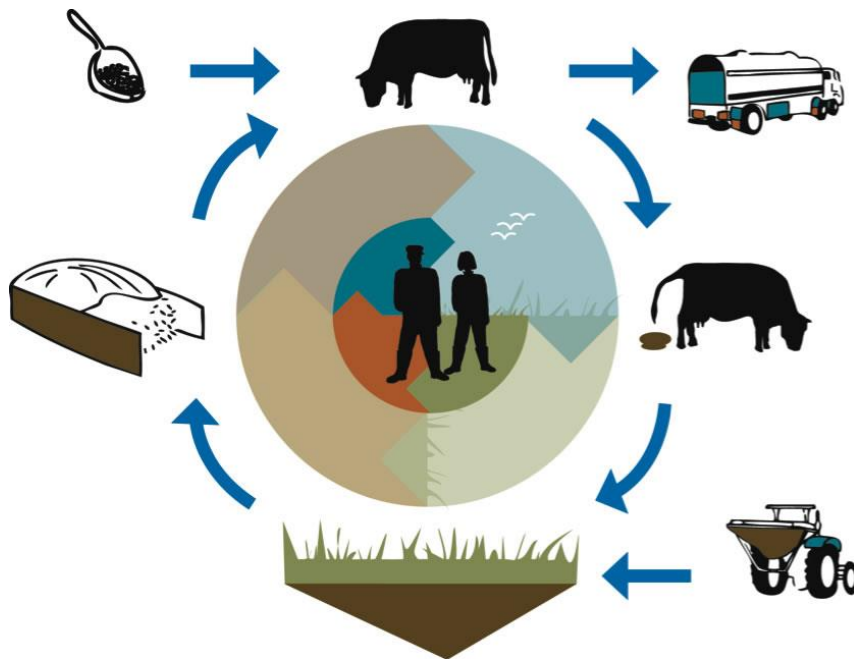




TOEKOMSTBESTENDIGHEID VAN DE HUIDIGE MECHANISATIE IN DE MESTTECHNIEK IN NEDERLAND

Afstudeerwerkstuk

Bart Schimmel
Aeres Hogeschool Dronten

Huidige mechanisatie binnen de toekomstige mestwetgeving

De Nederlandse mestwetgeving is aan het veranderen, maar de vraag is: past de huidige mechanisatie hier wel in?



Figuur 1. Kaweco mesttank

In opdracht van: Aeres Hogeschool Dronten

Auteur: Bart Schimmel
Studentnummer: 3024160
Onderwijsinstelling: Aeres Hogeschool Dronten
Opleiding: Agrotechniek & Management

Datum: 10-5-2020

Eerste begeleider: MSc. P. van Honk
Tweede beoordelaar: MSc. R. Marsman
Mentor: MSc. L. Meijer

DISCLAIMER

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

Voorwoord

Ik ben een student aan de Aeres Hogeschool in Dronten, waar ik de opleiding Agrotechniek en Management volg. Als onderdeel van mijn vierde leerjaar schrijf ik het afstudeerwerkstuk. De opdrachtgever voor het afstudeerwerkstuk is de Aeres Hogeschool in Dronten. Het onderzoek betreft de toekomstbestendigheid van de huidige mechanisatie in Nederland. Dit onderzoek is daarbij interessant voor loon- en veebedrijven.

Voor mijn afstudeerwerkstuk wil ik als eerst mijn begeleider: MSc P. Honk bedanken voor zijn hulp en advies bij het uitvoeren van het onderzoek. Daarnaast wil ik Reesink Production bedanken voor de informatievoorziening met betrekking tot de mesttechniek.

Na de feedback van de beoordelaars, zijn een aantal aanpassingen gemaakt in het vooronderzoek. In de inleiding is de definitie van de performance parameters: economisch en bodemdruk aangepast. Ook is de doelstelling van het onderzoek aangepast. Als laatst zijn er bij de materiaal en methode aanpassingen gedaan bij alle drie de deelvragen.

Bart Schimmel

maandag 10 augustus 2020

Inhoudsopgave

Voorwoord	- 2 -
Samenvatting.....	- 5 -
Summary	- 6 -
1. Inleiding	- 7 -
1.1 Breder kader	- 7 -
1.2 Definitie drijfmest en uitstoot	- 14 -
1.3 Beoordeling toekomstbestendigheid	- 17 -
1.4 Doel van het onderzoek	- 18 -
2. Materiaal en methode.....	- 19 -
2.1 Economisch.....	- 19 -
2.1.1 Cijfers gemiddelde melkveehouderij.....	- 19 -
2.1.2 Gegevens machines	- 20 -
2.2 Wet- en regelgeving	- 21 -
2.2.1 Zoekplan	- 21 -
2.2.2 Voorkomende begrippen	- 21 -
2.3 Bodemdruk	- 23 -
2.3.1 Variabelen	- 23 -
2.4 Scoringstabel	- 25 -
3. Resultaten.....	- 26 -
3.1 Economisch.....	- 26 -
3.2 Wet- en regelgeving	- 28 -
3.2.1 Optimale benutting dierlijke mest	- 28 -
3.2.2 Precisiebemesting	- 29 -
3.2.3 Huidig mestbeleid.....	- 30 -
3.3 Bodemdruk	- 31 -
3.3.1 Mesttank.....	- 31 -
3.3.2 Sleepslang.....	- 32 -
3.3.3 Duo-Spray	- 32 -
3.4 Scoringstabel	- 33 -
4 Discussie	- 34 -
4.1 Economisch.....	- 34 -
4.2 Wet- en regelgeving	- 36 -
4.3 Bodemdruk	- 38 -
5 Conclusie	- 40 -
5.1 Economisch.....	- 40 -

5.2	Wet- en regelgeving	- 40 -
5.3	Bodemdruk	- 41 -
5.4	Toekomstbestendigheid	- 41 -
6.	Aanbevelingen	- 42 -
	Bibliografie	- 43 -
	Bijlagen	- 47 -
1.	Uitkomsten tarievenenquête Loonwerkdokter	- 47 -
2.	Tabellen RVO	- 48 -
3.	Tabellen Michelin	- 49 -

Samenvatting

Het is gebleken dat het klimaat op deze wereld aan het veranderen is. Zo wordt er op veel plekken in de wereld een temperatuurstijging waargenomen. Het broeikaseffect is de belangrijkste oorzaak van deze opwarming doordat er bepaalde stoffen als een 'deken' om de aarde liggen. Om de negatieve effecten van klimaatverandering tegen te gaan, zijn veel landen gezamenlijk bezig de emissie te beperken. Zo is ook Nederland bezig met het beperken van de emissie om aan de doelstellingen vanuit de Europese Unie te kunnen voldoen. Een onderdeel hiervan is de Zesde Nitratrichtlijn, die op dit moment geldt. Hierin staat het huidige mestbeleid in Nederland beschreven. In de toekomst zal er een ander mestbeleid ontstaan en het is aannemelijk dat deze gebaseerd is op de ideeën van de Kringlooplandbouw. De Kringlooplandbouw is een cyclus waarin geen stoffen verloren gaan en waarbij een hoge benutting van belang is. Om aan de eisen van het toekomstige mestbeleid te kunnen voldoen, zal de mesttechniek zich hierop moeten aanpassen.

Binnen dit onderzoek wordt er gekeken of de mechanisatie, die op dit moment wordt ingezet bij het bemesten, ook in de toekomst nog bruikbaar is. Hierbij gaat het om drie verschillende methoden van mestaanwending, namelijk: de mesttank, het sleepslangstelsel en de Duo-Spray. Aan de hand van de onderdelen: economisch, wet- en regelgeving en bodemdruk, is onderzocht of de voorgenoemde methoden toekomstbestendig zijn. De hoofdvraag is hierbij: In hoeverre is de huidige mechanisatie voor het aanwenden van drijfmest op grasland (zandgrond) toekomstbestendig?

Uit het economische onderzoek is gebleken dat de mesttank het voordeligst en daardoor op economisch gebied toekomstbestendig is. Verder kan de mesttank het beste aan de toekomstige wet- en regelgeving voldoen en is daardoor toekomstbestendig op het gebied van wet- en regelgeving. Als laatste bleek de Duo-Spray het minste bodemdruk tot gevolg te hebben en is daardoor op het gebied van bodemdruk toekomstbestendig. Na het beantwoorden van de deelvragen is het volgende antwoord op de hoofdvraag gevonden:

De mesttank is toekomstbestendig voor het aanwenden van drijfmest op grasland, met zand als grondsoort. Het sleepslangstelsel en de Duo-Spray zijn beiden minder toekomstbestendig voor het aanwenden van drijfmest op grasland, met zand als grondsoort.

Aanbevelingen hierbij zijn dat de ondernemer zich met investeringen op dit moment het beste kan baseren op het huidige mestbeleid. Het is wel nuttig om te oriënteren op de toekomstige wet- en regelgeving om op die manier beter gereed te zijn voor de toekomst.

Summary

The world's climate has been shown to be changing. For example, a rise in temperature is observed in many places in the world. The greenhouse effect is the main cause of this global warming because certain substances are wrapped around the earth. To counteract the negative effects of climate change, many countries are working together to limit emissions. The Netherlands is also working on limiting emissions in order to meet the targets from the European Union. Part of this is: de Zesde Nitraatrichtlijn, which currently applies. This describes the current manure policy in the Netherlands. A different manure policy will emerge in the future and it is plausible that it is based on the ideas of circular agriculture. Circular agriculture is a cycle in which no substances are lost and in which high utilization is important. In order to meet the requirements of the future manure policy, manure technology will have to adapt to this.

Within this research is examined whether the current mechanization is still usable in the future. This concerns three different methods of manure application, namely: the slurry tank, the drag hose system and the Duo-Spray. On the basis of the components: economic, legislation and regulations and soil pressure, their is examined whether the aforementioned methods are future-proof. The main question is: To what extent is the current mechanization for the use of slurry on grassland (sandy soil) future-proof?

Economic research has shown that the manure tank is the most economical and therefore it is economically future-proof. Furthermore, the manure tank can best meet future laws and regulations and is therefore future-proof in terms of laws and regulations. Finally, the Duo-Spray appeared to result in the least ground pressure and is therefore future-proof in terms of ground pressure. After answering the sub questions, the following answer to the main question was found:

The manure tank is future-proof for the use of slurry on grassland, with sand as the soil type. The trailing hose and the Duo-Spray are less future-proof for the use of slurry on grassland, with sand as the soil type

Recommendations are that the entrepreneur can best base his investments on the current manure policy. It is useful to orientate on future legislation and regulations in order to be better prepared for the future.

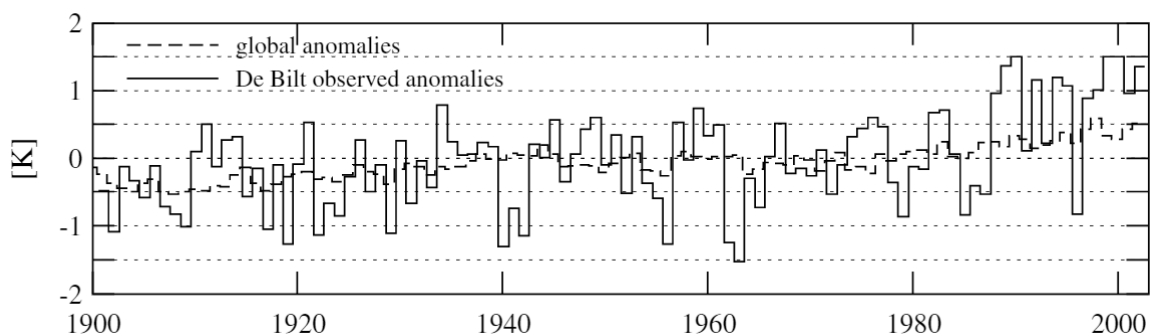
1. Inleiding

1.1 Breder kader

De mensheid kan er niet omheen dat het klimaat aan het veranderen is. In Nederland is in de 20^e eeuw het jaargemiddelde temperatuur toegenomen met 1,0 °C. In Figuur 2 is dit tevens te zien doordat er gekeken wordt naar de temperatuurafwijking binnen de 20^e eeuw, zowel in Nederland als op mondiaal niveau (van Oldenborgh & van Ulden, 2003). Om de temperatuur aan te duiden wordt er naast graden Celcius (°C), ook vaak de eenheid Kelvin (K) gebruikt. Hierbij is 0 °C gelijk aan 273 K. Wanneer er echter wordt gesproken over een verandering, of in dit geval over een afwijking, is graden Celcius gelijk aan Kelvin. Een verandering van een 1 K over de 20^e eeuw is dus gelijk aan een verandering van 1 °C (Metric Conversions, 2020).

Het broeikaseffect is de belangrijkste oorzaak van het opwarmen van de aarde omdat er warmte 'binnen' gehouden wordt in plaats van dat deze warmte naar de ruimte ontsnapt. De belangrijkste broeikasgassen zijn: waterdamp (H₂O), koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en stikstofdioxide (N₂O). Deze gassen zorgen voor een 'deken' om de aarde waardoor Infraroodstraling wordt tegen gehouden en de aarde opwarmt (Kweku et al., 2017).

Waterdamp is een natuurlijk broeikasgas, maar versterkt het proces van het broeikaseffect. Warmere lucht kan namelijk meer water bevatten voordat er condensatie optreedt. Wanneer de aarde opwarmt, zal de lucht meer waterdamp bevatten, wat veranderingen in neerslag, bewolking en wind tot gevolg heeft (KNMI, n.d.)



Figuur 2. Global and local warming. Overgenomen uit On the relationship between global warming, local warming in the Netherlands and changes in circulation in the 20th century (p. 4) door G.J. van Oldenborgh en A. van Ulden, 2003, De Bilt: KNMI. Copyright 2003, Royal Meteorological Society

Luchtvervuiling

Door een aantal natuurlijke en/of menselijke activiteiten kunnen bepaalde chemicaliën naar het milieu ontsnappen. Dit kan zorgen voor nadelige effecten op de menselijke gezondheid en het milieu. Door de toename van de verbranding van fossiele brandstoffen is de samenstelling van de atmosfeer door de jaren heen veranderd. Stoffen die luchtverontreinigend zijn bijvoorbeeld: koolmonoxide (CO), stikstofoxiden (NO_x), zwaveloxide (SO₂) en ozon (O₃). Luchtverontreiniging heeft naast acute ook chronische effecten op de menselijke gezondheid, bijvoorbeeld: irritatie van de luchtwegen of chronische luchtweg- en hartaandoeningen (Kampa & Castanas, 2008).

Stikstofoxiden zijn belangrijke veroorzakers van luchtvervuiling, uitgestoten door bijvoorbeeld: verbrandingsmotoren. Daarnaast zijn er ook stoffen met stikstofverbindingen die luchtvervuiling tot gevolg hebben. Denk hierbij bijvoorbeeld aan: ammoniak. Ammoniak kan worden uitgestoten door afbraak van dierlijk afval of door bemesting (Peel et al., 2013).

De effecten op het milieu, veroorzaakt door de mens, kunnen grotendeels worden onderverdeeld in de categorieën: 'uitputting van bronnen' en 'vervuiling'. Uitputting betekent dat de desbetreffende bronnen niet oneindig beschikbaar zijn, op een gegeven moment raakt het op. In het Midden-Oosten wordt er bijvoorbeeld veel aardolie gewonnen. Door deze olie te raffineren, kunnen er bruikbare producten geproduceerd worden. Maar olie is een energiebron die niet oneindig meegaat. De plekken waar deze aardolie is gewonnen, zijn dan uitgeput. Bij vervuiling kan men denken aan de uitstoting van uitlaatgassen door personenauto's of het bestrijden van onkruid in de landbouw door gif (Rieuwerts, 2017).

Al deze bevindingen met betrekking tot het milieu waren voor veel wereldleiders alarmerend. Al in de jaren '90 is daarom de Verenigde Naties bezig gegaan met de klimaatverandering. In 1992 is in het verlengde daarvan het Klimaatverdrag in Rio de Janeiro gesloten. Hierbij werden afspraken gemaakt om de emissie van broeikasgassen tegen te gaan.

In 1997 is het Kyoto protocol opgesteld in het verlengde van het Klimaatverdrag van Rio. Hierbij werd destijds afgesproken dat de industrielanden in 2012 een 5 procent lagere emissie aan broeikasgassen moesten hebben dan in 1990.

Toen het Kyoto protocol af liep in 2012, is het verlengd met een 'tweede periode' die tot 2020 gaat. Hierbij is het doel aangepast naar een 18 procent lagere CO₂-uitstoot dan in 1990. Dit geeft aan dat er nog meer gedaan moest worden om de milieuvervuiling tegen te gaan.

Daarnaast is er in 2015 een klimaattop in Parijs geweest. Hierbij zijn strengere en bindende afspraken gemaakt om de klimaatverandering tegen te gaan. Er is destijds besproken dat in 2100 de opwarming van de aarde ruim beneden de 2 graden moet zijn. Het is de bedoeling dat uiteindelijk de CO₂-uitstoot gelijk is aan de CO₂-opname.

Het beleid van de Europese Unie hierin is om de uitstoot met veertig procent te verminderen. Om dit alles te kunnen bereiken heeft de Europese Unie in 2012 het Zevende Milieuactieprogramma opgesteld.

De drie prioritaire gebieden, zoals eerder genoemd, omvatten:

- **Natuurlijk kapitaal**

Hierbij is vooral de biodiversiteit belangrijk ter ondersteuning van het natuurlijk kapitaal. In de periode tot en met 2020 wilde de EU de afname van de biodiversiteit tegen gaan. Door toename van biodiversiteit kan de ecologische veerkracht worden vergroot. Om dit te bereiken zijn er bepaalde middelen gebruikt, zoals: kaderrichtlijn water, luchtkwaliteitsrichtlijn en habitatrichtlijn. Er is daarnaast vanuit de EU financiële en technische ondersteuning om dit alles te kunnen bereiken (Europese Commissie, n.d.).

- **Hulpbronneninefficiënte, koolstofarme economie**

Hierbij is het belangrijk dat de lidstaten van de EU zich richten op hulpbronneninefficiëntie. Denk hierbij aan het efficiënter omgaan met drinkwater of het gebruik van aardgas. Daarnaast is er aandacht voor het recyclen van afval tot een bruikbare hulpbron. Om een koolstofarme economie te bereiken zal er op een duurzame manier met biomassa moeten worden omgegaan en het gebruik van fossiele brandstoffen worden terug gedrongen (Europese Commissie, n.d.).

- **Volksgezondheid en welzijn**

Hierbij gaat het om de gezondheid en welzijn van de mens in de Europese Unie. Belangrijk hierbij is het terugdringen van lucht- en waterverontreiniging, geluidsoverlast en toxische (giftige) chemicaliën. Het Zevende Milieuactieprogramma heeft ook een langetermijnvisie die gericht is op een niet-toxisch milieu (Europese Commissie, n.d.) .

Vanuit het Zevende Milieuactieprogramma is de Europese Nitraatrichtlijn opgesteld, onder andere om bovenstaande prioritaire gebieden te kunnen verbeteren. De Nitraatrichtlijn is erop gericht om de uitspoeling van nitraten door agrarische bronnen te voorkomen. Het uitspoelen van nitraat uit agrarische bronnen wordt namelijk verantwoordelijk gesteld voor de stijgende concentraties van nitraat in het grond- en oppervlaktewater over de hele wereld. Uitspoeling van nitraat vindt plaats wanneer er een ophoping van nitraat is in combinatie met veel afwatering. Een ophoping van nitraat kan bijvoorbeeld plaats vinden door bemesting van het land (Di & Cameron, 2002).

Door de toepassing van de Nitraatrichtlijn zou de waterkwaliteit in heel Europa beschermd moeten worden. Binnen de Nitraatrichtlijn wordt er ook gekeken naar andere invloeden van de veehouderij en landbouw op het milieu. De Nitraatrichtlijn maakt immers deel uit van de EU-wetgeving met betrekking tot milieubescherming. Naast nitraatuitspoeling stoot de veehouderij lachgas, methaan en koolstofdioxide uit. Dit zijn allemaal broeikasgassen en versterken dus het broeikaseffect op aarde. Lachgas heeft vergeleken met koolstofdioxide, een aardopwarmingseffect dat 310 keer groter is.

Volgens (Mosier et al., 1998) is de uitstoot van lachgas onder te verdelen in drie onderdelen:

- Directe emissies van landbouwbodems
- Emissies van dierlijke productie
- Indirecte emissies veroorzaakt door landbouwactiviteiten.

Lachgas kan direct worden uitgestoten naar de atmosfeer in landbouwgebieden. Daarnaast kan lachgas getransporteerd worden naar grond- en oppervlaktewater.

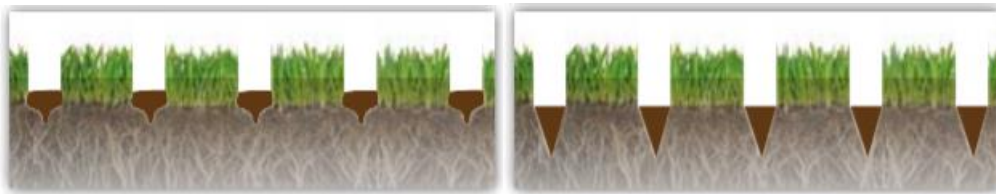
Verder is de stikstofcyclus genoemd binnen de Nitraatrichtlijn. De stikstofcyclus is een belangrijke nutriëntencyclus voor ecosystemen. Planten trekken stikstof uit de bodem en dieren eten deze planten vervolgens. Wanneer deze dieren sterven, komt de stikstof opnieuw in de bodem terecht waarna bacteriën de stikstof omzetten. De cyclus begint dan weer opnieuw (Europese Commissie, 2010).

Vanuit de Nitraatrichtlijn heeft Nederland de Meststoffenwet opgesteld. Het hoofddoel hierbij is: de verspreiding van nutriënten in het milieu voorkomen of beperken via het reguleren van de toepassing van mest. Momenteel is dit gerealiseerd door gebruik te maken van productierechten in de veehouderij. De veehouder heeft dan het recht om te produceren gelijk aan het aantal productierechten die diegene heeft. Hierbij past de veehouder een groot deel van de mest toe op het land. Het overige deel dat niet op het land gebruikt kan worden, voert de veehouder af waarna het verwerkt wordt. Zoals eerder genoemd, zijn er vanuit de EU richtlijnen betrekking tot milieu. Om hieraan te kunnen voldoen, heeft Nederland het zesde actieprogramma Nitraatrichtlijn opgesteld. Hierin wordt het mestbeleid van de Nederlandse overheid beschreven, dit alles ter voorkoming van

het uitspoelen van nutriënten naar het grond- of oppervlaktewater. Een onderdeel hiervan is bijvoorbeeld: het onderzaaien in de maïs ter voorkoming van uitspoeling (RVO, n.d.-d). Dit onderzoek richt zich op de mestwetgeving en de bijbehorende technieken in Nederland. Het onderzoek zal als eerst betrekking hebben op drijfmest omdat dit simpelweg het meeste wordt toegepast. Volgens een onderzoek van het CBS naar de mestproductie per diersoort in Nederland (CBS, 2020b), is er door rundvee in 2018 totaal 61187 miljoen kilogram mest geproduceerd. Hiervan is 54164 miljoen kilogram drijfmest in de stal, wat neer komt om 88%. Deze 88% kan de veehouder op het land toepassen of moet worden afgevoerd.

Huidige manier toepassen drijfmest

Op dit moment zijn er twee manieren voor het aanwenden van drijfmest: uitrijden in de grond en uitrijden op de grond. Uitrijden op de grond staat ook wel bekend als de sleepvoet (RVO, n.d.-a). De sleepvoet is bijna helemaal verboden vanwege de emissie-uitstoot die dit systeem met zich meebrengt. Echter is er een uitzondering op dit verbod. De sleepvoet mag namelijk nog wel gebruikt worden wanneer de drijfmest wordt aangewend op klei of veen en wanneer de drijfmest voor $\frac{1}{3}$ met water is verdund (RVO, n.d.-b). De meest toegepaste manier van mest aanwenden in Nederland is uitrijden in de grond, ook wel injecteren genoemd. Zie figuur 2 (Vredo, 2014): het verschil tussen uitrijden op de grond en uitrijden in de grond. Bij het uitrijden in de grond wordt als het ware een sleufje gemaakt waar de mest in ligt. Bij het uitrijden op de grond ligt de mest meer tussen het gewas.



Figuur 3. Mest uitrijden op de grond en in de grond. Overgenomen uit *sleepvoet en injectie* van Vredo, 2014 (https://www.vredo.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Brochures_Mailversie/NL/ZB/17.10.25_ZB_2017_NED_DEF_mail.pdf). Copyright 2014, Vredo.

Verder zijn er twee mogelijkheden bij het transport van de drijfmest: de mesttank en het sleepslangen. De mesttank zuigt de tank vol bij de mestopslag. Na het uitrijden van de drijfmest, keert de mesttank weer terug naar de mestopslag. De mesttank is dus constant heen en weer aan het rijden.

Bij het sleepslangen komt de drijfmest via de sleepslang, zie figuur 4. Hierbij staat de mestpomp op een vast punt bij de mestopslag. Deze pompt de drijfmest door de sleepslang naar de bemester. Daarnaast is er nog een trekker nodig met daaraan een haspel. Voordat er bemest wordt, moet de slang uitgerold zijn langs het perceel door middel van een haspel. Voor het sleepslangen zijn er dus drie trekkers nodig. Tegenwoordig zijn er echter wel autonome mestpompen waardoor men met een trekker en een medewerker minder kan volstaan.



Figuur 4. Sleepslang bemesten. Overgenomen uit *sleepslang bemesten door loonbedrijf Hendriks uit Den Horn* van Trekkerfotografie, 2018 (<https://www.trekkerfotografie.nl/sleepslang-bemesten-loonbedrijf-hendriks-den-horn/>). Copyright 2018, Trekkerfotografie.

Onrust

De huidige manier van bemesten is in Nederland al een aantal jaren doorgevoerd. Het ligt echter in de lijn der verwachting dat hier verandering in gaat komen. Mevrouw Schouten (minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit) heeft tenslotte een nieuw plan gepresenteerd (Kringlooplandbouw, n.d.). In het jaar 2019 is er veel onrust geweest vanuit de veehouderij. Meerdere malen zijn veehouders en loonwerkers met hun trekkers naar Den Haag geweest om te demonstreren tegen de huidige aanpak met betrekking tot de veehouderij. Hasper & Dollen (Haspels & Dollen, 2019) schreven in het AD: “Den Haag werd op 1 oktober overspoeld door duizenden boeren uit het hele land die protesteerden tegen de stikstofmaatregelen van het kabinet.” Deze onrust werd veroorzaakt door aangekondigde plannen van het kabinet en uitspraken van leden uit de Tweede Kamer. Zo zei Tjeerd de Groot dat hij samen met zijn partij, de D66, de veestapel wil halveren. Meneer de Groot (Winterman, 2019) beweerde: “Van de schadelijke stikstofuitstoot binnen Nederland is ongeveer 70 procent afkomstig van de landbouw en de intensieve veehouderij”

De onvrede en demonstraties zijn het gevolg van opgelegde regels vanuit de overheid en een lage prijs voor hun geleverde producten. Zo zijn er veehouders die een emissiearme vloer in hun stal moeten hebben. Veehouders die zo’n vloer nog niet hebben, moeten een grote investering doen (Kenniscentrum Infomill, n.d.). En dat terwijl de melkprijs in veel gevallen niet kostendekkend is (Pennings, 2019).

Verschuiving naar Kringlooplandbouw?

Alle veranderende regels binnen de melkveehouderij geven aan dat Nederland niet aan de opgestelde eisen, met betrekking tot het milieu, vanuit de Europese Unie kan voldoen. Om in de toekomst toch aan de eisen van de EU te kunnen voldoen, zal het landbouwsysteem moeten veranderen. Het is aannemelijk dat deze verschuiving richting de Kringlooplandbouw gaat. In het Zevende Actieprogramma werd er al geschreven over een kringlooeconomie waarin geen verspilling is en waarin natuurlijke hulpbronnen duurzaam worden beheerd (Europese Commissie, n.d.). Huidige minister van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid Carola Schouten deelt deze visie en schreef (Schouten, 2018): “*we kunnen de toekomst van onze voedselvoorziening alleen veilig stellen als we overstappen op Kringlooplandbouw*”.

De Kringlooplandbouw zal veel verandering brengen in ons huidige landbouwsysteem. Ook de mesttechniek zal zich hierop moeten aanpassen. De vraag is echter: Past de huidige mechanisatie binnen de gedachte van de Kringlooplandbouw?

Omvang probleem

Volgens de Rabobank (Rabobank, n.d.) zijn er in Nederland 3000 loonbedrijven actief in de agrarische sector. Deze bedrijven zorgen gezamenlijk voor 4 miljard euro omzet, waarbij er 33.000 medewerkers actief zijn. Volgens het CBS (CBS, 2020c) zijn er in Nederland 16.260 bedrijven met melk- en kalfkoeien. Het totaal aantal grasland voor agrarisch gebruik is: 987.100 hectare. Dit heeft dus betrekking op grasland dat gebruikt wordt voor voederwinning van bijvoorbeeld melkkoeien. Dit areaal bevat niet natuurlijk grasland, wat betekent dat dit grasland ook bemest mag worden .

Wanneer in de toekomst de landbouw over zal gaan naar Kringlooplandbouw, zal er een bepaalde milieuwinst behaald moeten worden om zo aan de gestelde eisen vanuit de Europese Unie te kunnen voldoen. Kunstmest zal niet meer passen in het plaatje van Kringlooplandbouw omdat dit een product is waarvan de grondstoffen uit verre landen geïmporteerd zijn. Het idee van de Kringlooplandbouw is immers om een nutriëntenkringloop te creëren waarin geen nutriënten verloren gaan en er dus ook niets geïmporteerd hoeft te worden (Ministerie LNV, 2019). Vaak worden deze grondstoffen vervoerd met grote schepen die de oversteek maken naar Nederland. Deze schepen zijn vervuilend voor het milieu (Houtekamer, 2019).

Ook moet het initiatief van Kringlooplandbouw zorgen voor het terugdringen van de emissie van ammoniak. Hiervoor is onder andere het scheiden van urine en mest, voordat het bij elkaar komt, van belang. Wanneer urine en mest namelijk met elkaar in contact komen, komt er ammoniak vrij. Verder is er gedacht aan een andere manier van aanwenden van mest. Momenteel wordt de drijfmest geïnjecteerd (in de grond) om zo de ammoniakemissie terug te dringen. Injecteren heeft echter ook verschillende nadelen. De machines moeten zwaarder uitgevoerd zijn om de injecteur achter de mesttank te kunnen tillen. Zwaardere machines komen de bodemstructuur en het brandstofverbruik niet ten goede. Verder is er een ander effect op de bodem waarop de drijfmest wordt toegediend. Door het injecteren komt de drijfmest namelijk direct in contact met de bodem, in plaats van dat de drijfmest in contact komt met zonlicht en daarna langzaam de bodem infiltreert. Binnen de Kringlooplandbouw komt het bovengronds uitrijden van drijfmest weer terug (Kringlooplandbouw, n.d.). Hierbij wordt de drijfmest direct besproeid met water waardoor de ammoniakemissie wordt teruggedrongen (figuur 5). Een injecteur is dan niet meer benodigd, wat veel gewicht bespaart.

Technische haalbaarheid

Bij veranderende mestwet- en regelgeving kan het zijn dat de mesttechniek zich moet aanpassen om aan de regels te kunnen voldoen. Bij het principe van de Duospray moet bijvoorbeeld water en drijfmest gescheiden getransporteerd worden (figuur 5). Dit betekent dat er in ieder geval twee compartimenten in de tank aanwezig moeten zijn. Daarnaast zullen er twee leidingen naar de achterzijde van de tank moeten om het water en de drijfmest apart aan te wenden (Zevenbergen, 2012). Voor loonwerkers en veehouders is dat dan ook de vraag of hun huidige mechanisatie omgebouwd kan worden om zo te kunnen voldoen aan de nieuwe mestwetgeving.



Figuur 5. Duospray. Overgenomen uit DuoSpray vanaf 2014 mogelijk toegelaten van G.J. Zevenbergen, 2012, (<https://www.mechaman.nl/veehouderij-techniek/2012/10/23/duospray-vanaf-2014-toegelaten/>). Copyright 2012, Mechaman

1.2 Definitie drijfmest en uitstoot

Binnen de Meststoffenwet van de overheid (Ministerie van Landbouw Natuurbeheer en Visserij, 1997) is er onderscheid gemaakt tussen vaste mest en drijfmest. Mest is 'vast' wanneer het niet verpompbaar is en mest is drijfmest wanneer het wel verpompbaar is. Daarnaast is er ook nog vaste storrige mest, hierin is een zichtbaar substantiële hoeveelheid stro te vinden. Verder wordt er met name in de melkveehouderij gebruik gemaakt van kunstmest. Dit zijn anorganische meststoffen waarin de aangegeven nutriënten voorkomen in de vorm van mineralen die door winning of door fysische of chemische industriële processen zijn verkregen.

Zoals eerder genoemd is het in Nederland gebruikelijk om te injecteren. Het uitrijden van drijfmest in de grond zorgt volgens de overheid voor een lagere ammoniak-emissie omdat het minder in contact komt de lucht. Het is hierbij belangrijk om als eerst te weten hoe ammoniak wordt gevormd.

Stikstof wordt in de urine uitgescheiden in de vorm van ureum. De conversie van ureum naar het gasvormige ammoniak gebeurt door het enzym urease. Dit enzym is door uitscheiding aanwezig in de mest van het vee en brengt een hydrolyse-reactie op gang. Wanneer urine en mest samenkomen, komen dus ook ureum en urease samen. Dit zorgt ervoor dat het proces van de vorming van ammoniak op gang komt. De reactie is als volgt: $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$. Het stikstof-molecuul komt hierbij uit ureum en de waterstof-moleculen komen voort uit de hydrolyse reactie van urease (Gay & Knowlton, 2005).

Naast ammoniak is er ook ammonia, dit is een oplossing van ammoniak in water. De omkeerreactie ziet er als volgt uit: $NH_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4^+ + OH^-$. De vorming van ammoniak of ammonia is afhankelijk van de pH. Wanneer de pH laag is (zuur) gaat de reactie naar rechts waardoor vloeibare ammonia gemaakt wordt. Wanneer de pH hoog is (basisch) gaat de reactie naar links waardoor het gasvormige ammoniak wordt gemaakt. Ammonia kan dus zorgen voor de uitspoeling in de bodem omdat dit een oplossing in water is. Ammoniak kan zorgen voor een vergrote emissie richting de lucht omdat dit gasvormig is. Het is dus afhankelijk van de pH of meer uitspoeling of meer emissie plaats vindt (Sawyer, 2008).

Volgens een onderzoek (Velthof et al., 2012) zorgt de agrarische sector voor het grootste aandeel ammoniak uitstoot. In 2009 was er in Nederland vanuit de agrarische sector een uitstoot van 8,88 miljoen kg ammoniacale stikstof (NH_3 -N). Hiervan werd 37 % veroorzaakt door bemesting.

Bodemdruk

In de landbouw is er de afgelopen jaren een trend te zien waarbij de landbouwmachines alsmaar groter en zwaarder worden. Deze grotere machines kunnen voor een negatieve effect op de bodem zorgen (Essink, 2018). Bodemverdichting ontstaat wanneer er een onjuiste balans is tussen de krachten van de machines op de bodem en de draagkracht van de bodem. Er ontstaat geen bodemverdichting als de draagkracht van de bodem groter is dan de druk van de machines op de bodem. (Bokhorst, n.d.). Bodemverdichting heeft veel negatieve effecten zoals bijvoorbeeld: verslechtering van de bewerkbaarheid en beperking van worteling. Daarnaast gaat de opname van water en de benutting van nutriënten achteruit waardoor lagere opbrengsten van gewassen ontstaan (de Haan, 2015). Voor veehouders is het dus belangrijk om rekening te houden met bodemdruk om zo schade aan de bodem te voorkomen.

Huidig mestbeleid

In Nederland zijn er maximum hoeveelheden vast gesteld van stikstof, fosfaat en dierlijke mest. De gebruikersruimte is de hoeveelheid die per soort gebruikt mag worden, dit is afhankelijk van de hoeveelheid landbouwgrond en de grondsoort van de veehouder. Voor het berekenen van de gebruikersruimte telt alleen beteelde landbouwgrond mee, die door de veehouder wordt gebruikt (RVO, n.d.-e).

Op het huidige mestbeleid is een uitzondering gemaakt door de komst van de derogatie. Er zijn een aantal voorwaarden vastgesteld waardoor een veehouder mee kan doen aan de derogatie. De belangrijkste is dat veehouder op minimaal 80% van zijn landbouwgrond gras verbouwd. Wanneer een veehouder aan deze 80-20 verhouding voldoet en aan nog een aantal andere regels, wordt de gebruiksnorm van dierlijke mest verhoogd van 170 kg naar 230 of 250 kg (RVO, 2019a).

Definitie performance parameters

Om te bepalen of de huidige mechanisatie binnen de wet- en regelgeving gaat passen, zijn er een aantal performance parameters opgesteld:

Economisch

Voor een veehouder zijn de kosten die verbonden zijn aan het aanwenden van drijfmest belangrijk. Als het principe van het aanwenden van mest gaat veranderen, kan het zijn dat de huidige mechanisatie ongunstig uitkomt qua kosten. Vooral wanneer de melkprijs dicht tegen de kostprijs ligt, kan de veehouder niet nog hogere kosten veroorloven. De economische kosten worden weergegeven aan de hand van een rangorde. Hierbij is de methode met de laagste kosten het meest toekomstbestendig en de methode met de hoogste kosten het minst toekomstbestendig.

Passend binnen wet- en regelgeving

Een ander belangrijk punt is dat de huidige mechanisatie binnen de wet- en regelgeving moet passen. Als de overheid bijvoorbeeld een gescheiden uitbreng van drijfmest en water verplicht, moet de mesttank of sleepslang daaraan kunnen voldoen. Wanneer de huidige mechanisatie simpelweg aan de gestelde regels voldoet, is het op het gebied van wet- en regelgeving toekomstbestendig.

Bodemdruk

Een ander belangrijk item binnen het huidige principe van bemesten, is de bodemdruk. Zware machines in combinatie met een klein contactoppervlak, kunnen zorgen voor bodemverdichting. Hierdoor kunnen bodemprocessen verstoord raken en als gevolg hiervan zal de opbrengst verminderen. Bij deze performance parameter zal ook een rangorde worden toegepast. De methode met de laagste bodemdruk is hierbij het meest toekomstbestendig.

Verwachting mestbeleid

De verwachting is dat de huidige mechanisatie in de toekomst nog steeds bruikbaar is ondanks de veranderende wet- en regelgeving. Het is mogelijk dat de mesttank in de toekomst meer in opkomst gaat komen ten opzichte van het sleepslangen. Vooral wanneer de overheid meer wil gaan toewerken naar emissiearm aanwenden door water over de drijfmest te sproeien. Hiervoor is het nodig om het water en de drijfmest gescheiden te houden. Bij een mesttank kan men dit realiseren door twee compartimenten in de mesttank te maken. Bij het sleepslangen moeten er twee slangen naar de bemester toe, een voor het water en een voor de drijfmest. Dit is als eerst te zwaar voor de trekker die voor de bemester staat. Deze trekker kan met het huidige principe van sleepslangen een beperkt aantal meter bemesten omdat de tegenwoordige kracht van de sleepslang, gevuld met mest te groot wordt. Met twee slangen zal dit effect twee keer zo groot zijn. Verder is het sleepslangen arbeidsintensief omdat er twee of drie medewerkers nodig zijn om te kunnen bemesten. Bij veel agrarische loonbedrijven is het verkrijgen van geschikt personeel al een probleem. Bij het sleepslangen is het belangrijk om geschikt personeel te vinden die goed met elkaar samen werken. Het is daarnaast belangrijk om een vast 'team' te hebben die het sleepslangen uitvoert (Smits, 2018). Een personeelstekort kan hierbij een belemmering zijn. Verder is het tarief van sleepslangen hoger dan bij de mesttank door de benodigde machines van de loonwerker. Het tarief van het bemesten met een 16 m³ -mesttank is €120 per uur terwijl sleepslangen €245 per uur kost. Deze tarieven kunnen overigens wel verschillen tussen verschillende regio's. De totale kosten van het bemesten door middel van sleepslangen kunnen wel gunstiger uitpakken naarmate een grote capaciteit behaald wordt. Dit is afhankelijk van de grootte van de percelen, vorm van het perceel en de afstand tot het perceel. Verder is het sleepslangen niet echt duurzaam met betrekking tot de emissie van uitlaatgassen. Met het sleepslangen zijn namelijk drie trekkers benodigd, terwijl er bij de mesttank maar een trekker benodigd is. Een grotere uitstoot past niet in het plaatje van de Kringlooplandbouw die gericht is op een beter milieu. Na het onderzoek kan er bekeken worden of de verwachtingen overeenstemmen met het werkelijke resultaat.

1.3 Beoordeling toekomstbestendigheid

Er is binnen dit onderzoek gekozen om af te bakenen naar drijfmest en grasland op zandgrond. Zoals eerder genoemd, is 88% procent van de vrijgekomen mest: drijfmest (CBS, 2020a). Drijfmest wordt dus simpelweg het meest toegepast. Verder is er het meeste grasland onder het agrarisch grondgebruik. Van het grasland is er in Nederland namelijk 987.100 hectare (Voskuilen, 2019). Als laatst is er voor zandgrond gekozen omdat deze grondsoort het meest uitspoelingsgevoelig is. De regels binnen het mestbeleid hebben betrekking op een minimale uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater en daarbij wordt vaak aan zandgrond gedacht.

De hoofdvraag binnen dit onderzoek zal zijn:

In hoeverre is de huidige mechanisatie voor het aanwenden van drijfmest op grasland (zandgrond) toekomstbestendig?

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden wordt er binnen dit onderzoek gewerkt met drie performance parameters. Door te oordelen aan de hand van de performance parameters kan er uiteindelijk een antwoord ontstaan op de hoofdvraag. Vanuit de performance parameters zijn de volgende deelvragen ontstaan:

- ❶ *In hoeverre is de huidige mechanisatie toekomstbestendig op **economisch** gebied?*
- ❷ *Past de huidige mechanisatie binnen de **mestwet- en regelgeving**, gericht op de toekomst?*
- ❸ *In hoeverre is de huidige mechanisatie toekomstbestendig op het gebied van **bodemdruk**?*

1.4 Doel van het onderzoek

De doelstelling van dit onderzoek is om te beoordelen of de huidige mechanisatie gereed is voor de toekomst. Het is dus de bedoeling dat de loonwerker of veehouder een beter inzicht krijgt in het toekomstige mestbeleid. Hopelijk is de ondernemer door dit inzicht beter gereed voor de toekomst. Misschien kan de ondernemer zelfs investeringen in de toekomst, in de mesttechniek baseren op de kennis die vanuit dit onderzoek is ontstaan. Het doel van het onderzoek is dus vooral meer kennis en een verbeterd inzicht met betrekking tot het toekomstige mestbeleid. Het antwoord op de hoofdvraag moet goed onderbouwd en goed te begrijpen zijn. Dit zorgt ervoor dat de ondernemer daadwerkelijk iets kan met de resultaten van het onderzoek. Het onderzoek zal online te vinden zijn zodat geïnteresseerden dit kunnen bekijken.

2. Materiaal en methode

Om tot een goed resultaat van het onderzoek te komen, is het belangrijk om een goede aanpak te hanteren. In het volgende hoofdstuk is er per deelvraag beschreven welke methodes er gebruikt worden.

2.1 Economisch

Om de eerste deelvraag te beantwoorden wordt er enkel naar de kosten gekeken. Hierdoor kan er een oordeel gegeven worden op de performance parameter: economisch. Om dit te realiseren is een voorbeeldcasus opgesteld van een gemiddeld melkveebedrijf. Aan het eind van de berekening zal naast een totale kostprijs, een kostprijs per kuub worden gemaakt. Dit is een variabele die in de agrarische sector vaker wordt gebruikt om bemesting methodes te vergelijken en is daarom interessant om mee te nemen in het onderzoek.

2.1.1 Cijfers gemiddelde melkveehouderij

Om een representatief resultaat te behalen, is er gekeken naar een gemiddeld melkveebedrijf in Nederland. Volgens het CBS is het gemiddeld aantal melkkoeien op een melkveebedrijf in Nederland: 99 in 2017. Daarbij hoort een gemiddeld aantal hectare grond van 52 hectare (CBS, 2017). De melkveehouder doet mee aan de derogatie waardoor er meer mest geplaatst mag worden (230 kg stikstof per hectare). Voorwaarde hiervoor is onder andere dat er op 20 procent van zijn grond snijmaïs en op 80 procent gras geteeld mag worden (RVO, 2019a).

Om een kostenberekening te maken van het bemesten, moet er als eerst bekend zijn hoeveel mest er geplaatst mag worden. De stikstofgebruikersruimte geeft aan hoeveel stikstof de melkveehouder op zijn land mag plaatsen. De berekening van de stikstofgebruikersruimte is als volgt: hectare landbouwgrond x 230 kilogram stikstof (in het geval van derogatie) (RVO, n.d.-c).

Als tweede moet er bekend zijn hoeveel kuub drijfmest er geplaatst mag worden. Door de tabel met de forfaitaire gehalten van het RVO te gebruiken, kan er omgerekend worden van kilogram stikstof naar een hoeveelheid drijfmest in ton. Bij de mestsoort: “drijfmest behalve van vleeskalveren” wordt er gerekend met vier kilogram stikstof per ton drijfmest (RVO, 2019b). Volgens het RVO staat hierbij het aantal ton drijfmest gelijk aan het aantal m³ drijfmest (RVO, 2019c).

De melkveehouder in deze casus kan zijn drijfmest verdelen over zijn grasland en zijn maïsland. Om te berekenen hoeveel drijfmest er gemiddeld op grasland wordt toegepast, wordt er aan de hand van de stikstofgebruiksnormen per gewas een verhouding gemaakt. De gebruiksnorm bij “Grasland met beweiden” is: 250 kilogram stikstof per jaar en de gebruiksnorm bij “Maïs, bedrijven met derogatie” is: 140 kilogram stikstof per jaar (RVO, 2019d). Aan de hand van deze verhouding is het percentage stikstofgebruiksnorm op grasland te bepalen waardoor er berekend kan worden hoeveel drijfmest de gemiddelde melkveehouder op zijn grasland plaatst. Hierbij gaat het om gebruiksnorm in een jaar. De kostenberekening zal echter betrekking hebben op een enkele bemesting en dus niet van een heel jaar. Hierbij is er vanuit gegaan dat de gemiddelde melkveehouder vier keer per jaar bemest.

Het toevoegen van water aan de drijfmest zorgt voor een reductie van ammoniakuitstoot (Groenkennisnet, 2020). Zoals eerder genoemd is het beperken van de emissie tijdens het bemesten een belangrijk punt. Vandaar dat ervoor gekozen is om bij deze kostenberekening $\frac{1}{3}$ deel water op te tellen. Hierdoor is duidelijk te zien wat de kosten zijn van het bemesten bij de drie verschillende methodes.

2.1.2 Gegevens machines

Om de kostenberekening compleet te maken, is er nog de capaciteit en het tarief van de drie verschillende methodes nodig. Bij de capaciteit zijn aannames gemaakt, omdat het lastig is bij elke methode een gemiddelde waarde te vinden. De capaciteit is namelijk afhankelijk van veel verschillende dingen, zoals bijvoorbeeld: ligging percelen, grootte percelen en mestgift per hectare.

De capaciteit van de mesttank is vastgesteld op 65 m³ per uur. De capaciteit van het sleepslangstelsel is: 105 m³ per uur en de Duospray: 40 m³ per uur. Het sleepslangstelsel heeft de grootste capaciteit omdat er niet heen en weer gereden hoeft te worden naar de mestopslag en naar het land. De Duospray heeft de kleinste capaciteit omdat er water en drijfmest apart opgezogen moeten worden. Bij de andere twee methodes is er vanuit gegaan dat het water al gemengd is in de mestopslag waardoor het vulproces sneller verloopt.

De tarieven van de drie methodes zijn gebaseerd op gemiddelde landelijke tarieven van de Loonwerkdokter. De Loonwerkdokter maakt enquêtes die loonbedrijven invullen waardoor per bewerking een landelijk gemiddelde wordt bepaald (Loonwerkdokter, 2020). Het gemiddelde tarief voor een "Graslandbemester getrokken 13 -18 m³" is: €119,76. Voor "Slangaanvoer < 13 m breed incl. pomp" is het gemiddelde tarief: €245,17. Met de Duospray is in de praktijk nog niet veel gewerkt en daarom is er nog geen tarief bekend. Binnen de berekening is er daarom uitgegaan van een tarief van €85 per uur. Vergeleken met de twee andere methoden is de Duospray namelijk een relatief eenvoudige tank. Zo is er bijvoorbeeld geen injecteur nodig waardoor er kosten bespaard worden. Bovenstaande gegevens zijn te vinden in tabel 1.

Tabel 1. Capaciteit en tarief

	Mesttank	Sleepslang	Duospray
<i>Capaciteit (m³/uur)</i>	65	105	40
<i>Tarief (€/uur)</i>	119,76	245,17	85

2.2 Wet- en regelgeving

Zoals eerder genoemd is het aannemelijk dat de verschuiving binnen de landbouw naar Kringlooplandbouw zal gaan om aan de eisen vanuit de Europese Commissie te kunnen voldoen. Het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit heeft met het oog op de Kringlooplandbouw een realisatieplan opgesteld en gepubliceerd.

Met betrekking tot de Kringlooplandbouw zijn er nog geen wetten of regels die betrekking hebben op het mestbeleid opgesteld. In het realisatieplan is echter wel veel te vinden over de idealen die het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit nastreven. Om te kunnen beoordelen of de drie verschillende bemestingsystemen aan de wet- en regelgeving voldoen, zal er een literatuuronderzoek plaats vinden. Dit literatuuronderzoek zal vooral gericht zijn op het realisatieplan van het ministerie van LNV. De beoordeling zal aan de hand van een tabel gebeuren. In deze tabel staan de zes belangrijkste punten met betrekking tot het mestbeleid, vanuit de Kringlooplandbouw.

2.2.1 Zoekplan

Om een goed literatuuronderzoek te kunnen doen, is het belangrijk een zoekplan te maken waardoor er meer structuur aan het onderzoek wordt gegeven. De volgende elementen komen hierbij aan bod: zoekvragen, zoektermen, zoekmethoden en informatiebronnen (School en educatie, 2015).

De zoekvraag voor dit literatuuronderzoek is afgeleid van de deelvraag. De deelvraag waar het literatuuronderzoek betrekking op heeft, gaat over de wet- en regelgeving. De zoekvraag voor deze deelvraag is dus: Kunnen de drie verschillende bemestingsmethoden aan de wet- en regelgeving voldoen?

Binnen het literatuuronderzoek worden zoektermen gebruikt om een tot een goed onderzoek te komen. Voorbeelden van zoektermen met betrekking tot dit onderzoek kunnen zijn: 'benutting dierlijke mest', 'precisiebemesting', 'emissiearm', 'kunstmest' en 'huidig mestbeleid'.

De zoekmethode die gebruikt zal worden is: de sneeuwbalmethode. Hierbij gebruikt de onderzoeker een belangrijk artikel of webpagina voor het onderzoek. Vervolgens wordt er naar de literatuurlijst gekeken van dit belangrijke artikel/webpagina om daaruit informatie te winnen. Op deze manier wordt er steeds verder informatie gewonnen en ontstaat er een 'sneeuwbaleffect' (Educatie en school, n.d.).

Bij dit literatuuronderzoek zal er veelal informatie worden gebruikt uit de categorie: officiële instanties, onderzoeksbureaus en deskundigen. Er zal namelijk veel gezocht worden in het toekomstplan van de Kringlooplandbouw.

2.2.2 Voorkomende begrippen

Stikstofbenutting

Doordat de emissie van ammoniak wordt beperkt, ontstaat er een betere benutting van de stikstof. Uit onderzoek blijkt namelijk dat wanneer ammoniak niet vervluchtigd, het gewas meer gebruik kan maken van de aanwezige stikstof (Philips, 2015).

Evenwichtsbemesting

Evenwichtsbemesting betekent dat een gewas net zo veel mest krijgt toegediend als dat het onttrekt. Er zouden dan minder verliezen optreden omdat de toediening is afgestemd op de vraag van de bodem (AgriConnect, 2014)

Streefwaarde

De streefwaarde is de hoeveelheid kuub drijfmest die per hectare wordt uitgereden.

Tabel 2. Beoordeling Wet- en regelgeving

Beoordeling Wet- en regelgeving	Mesttank	Sleepslangen	Duo-Spray
Optimale benutting dierlijke mest			
Precisiebemesting (evenwichtsbemesting)			
Voldoet aan huidig mestbeleid			

Er zijn drie mogelijkheden om bovenstaande onderdelen te beoordelen: voldoet, voldoet niet of twijfelachtig. Deze beoordelingen worden ingevuld in tabel 2. Uiteindelijk zal er per onderdeel een uitleg worden gegeven.

,

2.3 Bodemdruk

De laatste deelvraag heeft betrekking op de bodemdruk die door de mechanisatie kan worden veroorzaakt. Craul (Craul, 1994) definieerde bodemverdichting als volgt: *“Compaction of soil is a detrimental result of heavy human use of a site”*. Het is dus een nadelig resultaat veroorzaakt door zwaar, menselijk gebruik op een plek. Bodemverdichting is afhankelijk van het gewicht van de machine en het contactoppervlak met de grond. Het gewicht van een machine kan in kilogram worden uitgedrukt of in Newton. Om het aantal Newton te berekenen, kan men de wet van de zwaartekracht gebruiken. Hier wordt het gewicht vermenigvuldigt met de valversnelling, waarbij de valversnelling 9,81 is (Pastoor, 2019). De formule hiervan is:

$$F_z = m \times g \text{ (Arbab, 2010)}$$

Het contactoppervlak kan men uitdrukken in m². Informatie hierover wordt gewonnen vanuit tabellen van bandenfabrikanten.

Door als laatst het aantal Newton door het aantal vierkant meter te delen, is de druk per vierkante meter bekend. De formule hiervoor is:

$$P = F/A$$

Bij de berekening van de bodemdruk wordt bij de mesttank en de Duo-Spray onder andere gerekend met de helft van het gewicht van de inhoud van de tank. Hierbij is ervan uitgegaan dat een kuub drijfmest gelijk staat aan een ton drijfmest. Bij de mesttank en de Duo-Spray wordt namelijk met de mesttank en bijbehorende inhoud over het land gereden. Echter is de mesttank op een gegeven moment leeg waardoor er niet constant met een volle mesttank over het perceel wordt gereden. Er is daarom gekozen om te rekenen met een halve tankinhoud.

Verder gaat het bij de berekening van de mesttank om een inhoud van 16 kuub en een injecteur van acht meter breed. De mesttank is verder uitgerust met een schuifas waardoor twee banden niet door hetzelfde spoor gaan als de trekker. De injecteur van het sleepslangstelsel is 12 meter breed. Door deze grote breedte is de injecteur voorzien van twee loopwielen die als steun dienen. Deze twee wielen zorgen voor extra loopvlak. Verder is de trekker voorzien van een haspel om de slangen op te kunnen rollen. Bij de Duo-Spray gaat het om een mesttank met een inhoud van 14 kuub.

Het gewicht van de drie methodes wordt verkregen via machinefabrikanten. Het contactoppervlak is nodig om uiteindelijk de druk per vierkante meter te bepalen. Dit contactoppervlak wordt opgezocht door gebruik te maken van verschillende tabellen van bandenfabrikant Michelin (Michelin, 2020). Michelin gebruikt in de tabellen het begrip: *“Gross Flat Plate”*. Dit is het contactoppervlak van de band met de aarde in inches of vierkante centimeter (Tuschner, 2016).

2.3.1 Variabelen

Binnen het onderzoek naar de bodemdruk zullen de volgende afhankelijke variabelen gebruikt worden: zwaartekracht in Newton (N), massa in kilogram (kg), valversnelling (9,81 m/s), oppervlakte in vierkante-meter (m²), lengte in meter (m), breedte in meter (m). Door deze variabelen kan uiteindelijk de onafhankelijke variabele: druk in Newton per vierkante-meter (N/m²) berekend worden.

Om uiteindelijk een oordeel te kunnen geven, is het nodig om informatie te winnen. Het gewicht van de drie verschillende methodes is bijvoorbeeld een belangrijke om uiteindelijk op druk per m^2 uit te komen. Deze informatie zal worden gewonnen bij loon- en/of mechanisatiebedrijven via telefonisch contact. De verschillende gegevens kunnen in tabel 3 ingevoerd worden.

Tabel 3. Bodemdruk

	<i>Gewicht (kg)</i>	<i>Zwaartekracht (N)</i>	<i>Loopvlak banden (m^2)</i>	<i>Druk per m^2 (N/m^2)</i>
<i>Methode</i>				

2.4 Scoringstabel

Aan de hand van een scoringstabel zal uiteindelijk worden bepaald welke van de drie methodes toekomstbestendig is op het gebied van: economisch, passend binnen wet- en regelgeving en bodemdruk (zie tabel 4). Per methode en per performance parameter zal een score worden toegekend van 1 t/m 3, waarbij “1” staat voor een negatieve bijdrage aan de toekomstbestendigheid en “3” voor een positieve bijdrage aan de toekomstbestendigheid.

Tabel 4. Scoringstabel

In hoeverre is de huidige mechanisatie voor het aanwenden van drijfmest op grasland (zandgrond) toekomstbestendig?				
Score: 1 t/m 3	Economisch	Passend binnen wet- en regelgeving	Bodemdruk	Totaal score
Mesttank				
Sleepslang				
Duospray				

Economisch

De bemestingsmethode waarbij de kosten het hoogst zijn krijgt de score: 1. De methode waarbij de kosten het laagst zijn, krijgt de score: 3. De methode waarbij de kosten tussen de hoogste en de laagste in is, krijgt de score: 2.

Passend binnen wet- en regelgeving

De score die toegekend wordt op het gebied van wet- en regelgeving, is gebaseerd op het aantal raakvlakken van de bemestingsmethode met de visie van de Kringlooplandbouw. In het onderzoek komen drie belangrijke onderdelen naar voren. De methode die het beste kan voldoen aan de visie van de Kringlooplandbouw, krijgt de score: 3. De methode die het minst kan voldoen aan de visie, krijgt de score: 1. De methode die zich daar tussen bevindt, krijgt de score: 2.

Bodemdruk

Een hoge bodemdruk zorgt voor een negatieve bijdrage aan de toekomstbestendigheid. De methode met de laagste bodemdruk krijgt daarom de score: 3. De methode met de hoogste bodemdruk krijgt de score: 1 toegekend en de methode die daar tussen in zit, krijgt de score: 2.

De machine is toekomstbestendig wanneer er op elk onderdeel gemiddeld een ‘2’ gescoord is. Dit zou kunnen betekenen dat er meerdere machines toekomstbestendig zijn.

3. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten per deelvraag behandeld. Door literatuuronderzoek en telefonisch contact zijn gegevens verkregen die van belang zijn binnen dit onderzoek.

3.1 Economisch

Om een representatief resultaat te krijgen op de deelvraag over de economische toekomstbestendigheid, zijn er in het vooronderzoek gemiddelde waarden opgezocht. Deze gemiddelde waarden representeren een gemiddelde melkveehouder in Nederland. In tabel 5 is een overzicht gegeven van gemiddelde waarden van de verschillende variabelen.

Tabel 5. Gemiddelde waarden mestberekening

Variabele (onafhankelijk)	Waarde
<i>Melkkoeien (stuks)</i>	99
<i>Grasland (hectare)</i>	41,6
<i>Maïsland (hectare)</i>	10,4

Zoals eerder genoemd voldoet het bovenstaand gemiddeld bedrijf aan de derogatie waardoor er 230 kg stikstof per hectare geplaatst mag worden op het land (RVO, 2019a). Dit betekent dat de gemiddelde melkveehouder in totaal: 11960 kilogram stikstof ($230 \text{ kg} \times 52 \text{ ha}$) mag plaatsen op zijn land. De melkveehouder heeft naast grasland ook maïsland dat bemest moet worden. Volgens tabel 1 van het RVO is de stikstof gebruiksnorm van “gras met beweiden” per jaar: 250 kilogram stikstof. De stikstof gebruiksnorm van maïsland met derogatie is: 140 kilogram stikstof per jaar. Aan de hand van deze verhouding wordt er bepaald hoeveel drijfmest er op het grasland en op het bouwland geplaatst wordt. Dit betekent dat 64% van het totaal te plaatsen drijfmest tot het grasland behoort.

In totaal mag er 11960 kilogram stikstof geplaatst worden. Volgens tabel 5 van het RVO is er 4 kilogram stikstof in 1 ton drijfmest. Door de eerder genoemde formule in te vullen, wordt het aantal ton drijfmest gevonden.

$$\begin{aligned}\text{Aantal ton drijfmest} &= \text{totaal aantal kilogram te plaatsen stikstof} / \text{forfaitaire gehalte van stikstof} \\ &= 11960 \text{ kilogram stikstof} / 4 \text{ kilogram stikstof per ton} \\ &= 2990 \text{ ton drijfmest}\end{aligned}$$

Volgens het RVO mag de melkveehouder er vanuit gaan dat 1 ton drijfmest gelijk staat aan 1 m^3 drijfmest. De gevonden waarde van 2990 ton drijfmest staat dus gelijk aan 2990 m^3 drijfmest.

Door gebruik te maken van de verhouding van de stikstof gebruiksnorm tussen grasland en maïsland, kan nu berekend worden hoeveel drijfmest de gemiddelde melkveehouder op grasland plaatst. Binnen dit onderzoek wordt er namelijk alleen gekeken naar het uitbrengen van drijfmest op grasland.

$$\begin{aligned}\text{Aantal } \text{m}^3 \text{ drijfmest te plaatsen op grasland} &= \\ &= \text{percentage stikstof gebruiksnorm op grasland} \times \text{totaal aantal } \text{m}^3 \text{ drijfmest te plaatsen} \\ &= 64 \% \times 2990 \text{ m}^3 \text{ drijfmest} \\ &= 1918 \text{ m}^3 \text{ drijfmest te plaatsen op grasland}\end{aligned}$$

Bij de berekening worden de kosten berekend van het bemesten van een snede gras. Zoals eerder genoemd is er binnen de berekening vanuit gegaan dat er per jaar vier keer bemest wordt. Dit betekent dat er per keer: $1918 \text{ m}^3 / 4 = 480 \text{ m}^3$ bemest wordt.

Verder wordt er gerekend met een mestgift die bestaat uit $\frac{1}{3}$ water en $\frac{2}{3}$ drijfmest. Dit betekent dat er 480 m^3 drijfmest wordt uitgereden (tabel 5). $\frac{1}{3}$ deel van de totale gift bestaat uit water, dit betekent dat er 240 m^3 water wordt uitgereden. In totaal bestaat de gift dus uit 720 m^3 .

Door met een gemiddelde capaciteit te werken, kan er bepaald worden hoe lang het bemesten duurt bij iedere methode. Door het aantal uit te rijden kuub te delen door de capaciteit, is te berekenen hoe lang het bemesten bij iedere methode duurt. Door deze tijdsduur te vermenigvuldigen met het tarief is de totale kostprijs te berekenen. Vervolgens kan de kostprijs per kuub berekend worden door de totale kostprijs te delen door het aantal uit te rijden kuub, zie tabel 6.

Tabel 6. Economische gegevens

	Mesttank	Sleepslang	Duo-Spray
<i>Uit te rijden kuubs (m^3)</i>	720	720	720
<i>Capaciteit (m^3/uur)</i>	65	105	40
<i>Tarief (€/uur)</i>	119,76	245,17	85
<i>Kostprijs totaal (€)</i>	1326,57	1681,17	1530
<i>Kostprijs per m^3 (€)</i>	1,84	2,33	2,13

3.2 Wet- en regelgeving

Een ander belangrijk onderdeel van het bepalen van de toekomstbestendigheid is de wet- en regelgeving. Zoals eerder genoemd zal dit onderzoek betrekking hebben op het realisatieplan Kringlooplandbouw van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (Ministerie LNV, 2019). De resultaten zijn te vinden in tabel 7.

3.2.1 Optimale benutting dierlijke mest

Doordat de landbouw als een kringloop moet functioneren, moet het gebruik van kunstmest steeds verder teruggedrongen worden. Dit betekent dat het gebruik van dierlijk mest, in dit geval drijfmest, steeds belangrijker wordt. Het is daarbij belangrijk dat de drijfmest zo goed mogelijk wordt benut. Een goed hulpmiddel hierbij kan de NIRS-sensor zijn. Deze sensor meet de samenstelling van drijfmest waardoor er meer kennis ontstaat van het gene dat wordt uitgereden. Bij de mesttank en het sleepslangen functioneert de NIRS-sensor. Echter is het veranderen van de mestgift aan de hand van de gemeten waardes van de NIRS-sensor, lastiger bij het sleepslangen. Het variëren van de mestgift van de sleepslang zal door middel van de mestpomp of door het veranderen van de snelheid van de trekker met injecteur moeten gebeuren. Doordat de mestpomp bij de mestopslag staat, is er vaak een grote afstand tussen de mestpomp en de injecteur. Hierdoor ontstaat, afhankelijk van de afstand, een bepaalde vertraging als het om het variëren van de mestgift gaat. De mesttank kan de mestgift accurater bijsturen op basis van de gemeten waardes van de NIRS-sensor. Dit gebeurt namelijk door het variëren van het pomptoeental of door een By-Pass schuif op de mesttank zelf. Hierdoor is er een geringe vertraging tussen het meten van de waardes en het bijsturen op basis van de gevonden waardes. Bij de Duo-Spray is nog niet gewerkt met een NIRS-sensor. Aangezien de Duo-Spray veel op een mesttank lijkt, moet het gebruik van een NIRS-sensor mogelijk zijn. Echter is het nog onduidelijk of de bijsturing van de mestgift functioneert omdat er in de praktijk nog niet gewerkt is met een NIRS-sensor op een Duo-Spray.

Een andere bijdrage aan de optimale benutting van dierlijke mest is: de toevoeging van water. Er zijn onderzoeken die bewijzen dat het toevoegen van water aan drijfmest zorgt voor een afname van de ammoniakuitstoot. Een lagere ammoniakuitstoot betekent dat er meer stikstof beschikbaar is voor de bodem, zoals eerder genoemd. De toevoeging van water is bij alle drie de methodes mogelijk. Bij de mesttank moet het water al in de put zijn gemengd of het water wordt apart opgezogen. Bij het sleepslangen kan er water tijdens het pompen van drijfmest worden toegevoegd. Ook is het mogelijk dat het water al in de mestopslag is gemengd met drijfmest. Het principe van de Duo-Spray is dat het water niet gemengd wordt met drijfmest maar apart wordt opgezogen en toegediend. Er is daarbij nog niets bekend over de ammoniakuitstoot van de Duo-Spray.

De mesttank heeft de mogelijkheid tot een NIRS-sensor en daarnaast kan er accuraat bijgestuurd worden op basis van de gevonden waarden van de NIRS-sensor. Verder kan er drijfmest in combinatie met water worden uitgereden. De mesttank voldoet hierdoor aan de optimale benutting van drijfmest. De sleepslangcombinatie heeft de mogelijkheid tot een NIRS-sensor. Het bijsturen van de mestgift op basis van de gevonden waardes is bij de sleepslangcombinatie lastiger door de tijdsvertraging tussen de mestopslag en de injecteur. Het toevoegen van water is ook mogelijk. Dit kan tijdens het verpompen van de drijfmest of wanneer het water al bijgemengd is in de mestopslag. Hierdoor voldoet de sleepslangcombinatie ook aan de optimale benutting van drijfmest. Bij de Duo-Spray zou een NIRS-sensor in de praktijk mogelijk moeten zijn. Er is echter nog niet gewerkt met een NIRS-sensor op de Duo-Spray waardoor niet met zekerheid te zeggen is of het functioneert. Het toevoegen van water gebeurt bij de Duo-Spray apart van de drijfmest en is daardoor mogelijk. Over de positieve effecten van de ammoniakuitstoot van de Duo-Spray is nog niet veel bekend. Door deze onzekerheden wordt de Duo-Spray als “twijfelachtig” beoordeeld op het gebied van optimale benutting van drijfmest.

3.2.2 Precisiebemesting

In het realisatieplan Kringlooplandbouw van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit komt meerdere keren het woord “evenwichtsbemesting” voor. Dit betekent dat het gewas net zo veel meststoffen krijgt toegediend als dat het gewas onttrekt, hiervoor is precisiebemesting nodig. Dit houdt in dat er met een variërende mestgift gewerkt kan worden en dat verspilling tot het minimum wordt beperkt. Een hulpmiddel bij precisiebemesting kan het werken met streefwaardes zijn. Er kan dan ingegeven worden hoeveel kuub mest er per hectare bemest moet worden. Een toevoeging daarbij is het werken met taakkaarten. Hierbij kan een perceel in verschillende secties worden verdeeld waarbij de secties onderling een andere streefwaarde hebben. Op deze manier wordt er preciezer bemest en daarnaast wordt er specifiek gekeken naar de vraag naar meststoffen die het gewas heeft op verschillende plekken in het perceel.

Het werken met taakkaarten is mogelijk bij de mesttank. Er zijn verschillende mesttanks in Nederland die actief de mestgift kunnen veranderen aan de hand van een taakkaart. Daarnaast is het mogelijk om te werken met taakkaarten in combinatie met een NIRS-sensor. Door vooraf in te stellen hoeveel kilogram nutriënt elke sectie van het perceel moet hebben, kan er aan de hand van de gemeten waarde van de NIRS-sensor worden bijgestuurd. Verder is er bij de mesttank sectieafsluiting van de bemester mogelijk. Door secties van de bemester te openen of te sluiten wordt overlap voorkomen. Omdat de mesttank kan werken met taakkaarten, ook in combinatie met een NIRS-sensor en er sectieafsluiting mogelijk is, voldoet deze methode aan het onderdeel precisiebemesting.

Bij het sleepslangstelsel is het mogelijk om te werken met taakkaarten én met een NIRS-sensor. Echter is de aansturing van de mestgift hierbij lastiger omdat er altijd een bepaalde vertraging zit tussen de mestpomp en de bemester, zoals eerder beschreven. Verder kan de bemester van een sleepslangstelsel worden voorzien van sectieafsluiting waardoor er minder overlap ontstaat en er daardoor minder verspilling is. Omdat het actieve bijsturen van de mestgift bij het sleepslangstelsel lastig is, krijgt deze methode de beoordeling: “twijfelachtig”.

Op het gebied van precisiebemesting is nog niet veel bekend over de Duo-Spray. Het gebruik van taakkaarten, ook in combinatie met een NIRS-sensor is nog niet eerder gebruikt. Wel is bekend dat sectieafsluiting van de bemester niet mogelijk is omdat het simpelweg één breedte is. Een injecteur zoals die bij een mesttank of een sleepslangstelsel te vinden is, bestaat uit verschillende elementen die geopend en gesloten kunnen worden. De bemester van de Duo-Spray bestaat niet uit elementen maar uit een ketsplaat die ervoor zorgt dat de werkbreedte niet in secties te verdelen is. Verder kan de mestgift wel gevarieerd worden door de snelheid van de trekker te laten variëren. Bij de Duo-Spray is dus nog niet veel bekend over het functioneren van een NIRS-sensor en taakkaarten. Het variëren van de mestgift is bij deze methode ook lastiger. Om deze redenen voldoet de Duo-Spray niet aan de eisen van precisiebemesting.

3.2.3 Huidig mestbeleid

Naast de beoordeling van eventuele toekomstige regels, is het van belang om naar regels te kijken die op dit moment gelden. Het zou kunnen dat in de toekomst bij een nieuw mestbeleid regels worden overgenomen uit het oude mestbeleid dat op dat moment geldt. Op deze manier is er een beoordeling van de wet- en regelgeving die in de toekomst kan gaan gelden en een beoordeling op de wet- en regelgeving op dit moment.

Er zijn verschillende regels vanuit het huidige mestbeleid die nageleefd moeten worden. Zo moet de melkveehouder zijn gebruikersruimte uitrekenen waardoor er bekend is hoeveel er mag worden uitgereden op het land. Een belangrijke regel met betrekking tot het uitrijden op grasland is dat de drijfmest in de grond moet worden uitgereden. Dit wordt ook wel het injecteren genoemd. De injecteur moet tot aan de grond gesloten zijn zodat er zo min mogelijk emissie ontstaat. Er is echter een uitzondering op deze regel bij klei en veen grond. Daar mag mest bovengronds worden uitgereden wanneer het met water verdund is. Dit systeem moet tevens tot aan de grond gesloten zijn (RVO, n.d.-a).

In Nederland zijn veel mesttanks en sleepslangsystemen uitgerust met een injecteur. Hierbij wordt mest in de grond uitgereden en daarnaast is het systeem tot aan de grond helemaal gesloten. Er gaan immers mestleidingen naar het punt waar de drijfmest in contact komt met de bodem. Door de schijven aan de injecteur wordt een 'sleufje' gemaakt waardoor de drijfmest in de grond terechtkomt. Het is dus bij beiden methoden mogelijk om in de grond uit te rijden en met een gesloten systeem te werken. Bieden methoden krijgen daarom de beoordeling: "voldoet".

De Duo-Spray is een systeem dat de drijfmest niet injecteert maar vanaf een bepaalde hoogte sproeit. De drijfmest komt op deze manier op het gewas in plaats van in de bodem. Echter zorgt het sproeien van water na het sproeien van de drijfmest ervoor dat de drijfmest door kan dringen naar de bodem. Het systeem is verder niet gesloten omdat de drijfmest vanaf een bepaalde hoogte wordt uitgebracht. Het water zou echter wel zorgen voor een beperking van emissie. Doordat de Duo-Spray geen gesloten systeem is en niet in de grond kan uitrijden, voldoet het niet aan het huidige mestbeleid.

Tabel 7. Beoordeling wet- en regelgeving

Beoordeling Wet- en regelgeving	Mesttank	Sleepslangen	Duo-Spray
Optimale benutting drijfmest	Voldoet	Voldoet	Twijfelachtig
Precisiebemesting	Voldoet	Twijfelachtig	Voldoet niet
Voldoet aan huidig mestbeleid	Voldoet	Voldoet	Voldoet niet

3.3 Bodemdruk

Het laatste onderdeel bij het onderzoek naar de toekomstbestendigheid is de bodemdruk. Aan de hand van het totale gewicht van de drie methodes wordt de druk per vierkante meter berekend om zo een oordeel te kunnen geven over de bodemdruk. Voor de gegevens zijn machinefabrikanten benaderd en daarnaast zijn er gegevens opgezocht op het internet.

Om de bemestingswerkzaamheden uit te kunnen voeren is bij alle drie methodes gerekend met dezelfde trekker. Een trekker van ongeveer 240 pk voldoet om de werkzaamheden uit te voeren, hierbij is uitgegaan van een gewicht van 9500 kilogram.

3.3.1 Mesttank

Het totale gewicht van de mesttank-methode bestaat uit een trekker, een mesttank met injecteur en het gewicht van de mest. Het totale gewicht is 28500 kilogram. De totale zwaartekracht bedraagt 279585 Newton en het totale loopvlak is 2,8 vierkante meter. Met behulp van de voorgaande gegevens is berekend dat de druk per vierkante meter 99852 Newton per vierkante meter is. De resultaten zijn weergegeven in tabel 8.

Tabel 8. Bodemdruk mesttank

Mesttank	Gewicht (kg)	Zwaartekracht (N)	Loopvlak banden (m²)	Druk per m² (N/m²)
<i>Trekker</i>	9500	93195	2 x 0,45 2 x 0,25	
<i>Mesttank + injecteur</i>	11000	107910	4 x 0,35	
<i>Gewicht mest</i>	8000	78480		
Totaal	28500	279585	2,8	99852

3.3.2 Sleepslang

Een sleepslangcombinatie bestaat uit een trekker, een haspel en een injecteur. Het totale gewicht hiervan is 14770 kilogram. De zwaartekracht van deze combinatie is 144894 Newton. Bij het loopvlak en het totale loopvlak is 1,5 vierkante meter. De druk per vierkante meter is 96596 Newton per vierkante meter (tabel 9).

Tabel 9. Bodemdruk sleepslangstelsel

Sleepslang	Gewicht (kg)	Zwaartekracht (N)	Loopvlak banden (m²)	Druk per m² (N/m²)
<i>Trekker</i>	9500	93195	2 x 0,45 2 x 0,25	
<i>Injecteur</i>	4070	39927	2 x 0,05	
<i>Haspel</i>	1200	11772		
Totaal	14770	144894	1,5	96596

3.3.3 Duo-Spray

De combinatie van de Duo-Spray bestaat uit een trekker en een mesttank met daarop bevestigde ketsplaten. Het totale gewicht van deze combinatie is 23500 kilogram, waardoor de totale zwaartekracht 230535 Newton is. Het totale loopvlak bedraagt 2,8 vierkante meter. De druk per vierkante meter is 82334 Newton per vierkante meter, zie tabel 10.

Tabel 10. Bodemdruk Duo-Spray

Duo-Spray	Gewicht (kg)	Zwaartekracht (N)	Loopvlak banden (m²)	Druk per m² (N/m²)
<i>Trekker</i>	9500	93195	2 x 0,45 2 x 0,25	
<i>Mesttank + ketsplaten</i>	7000	68670	4 x 0,35	
<i>Gewicht mest</i>	7000	68670		
Totaal	23500	230535	2,8	82334

3.4 Scoringstabel

Nadat de resultaten van de drie performance parameters zijn gevonden, worden de gevonden waarden in een scoringstabel geplaatst (tabel 11). Op basis van deze scoringstabel kan een conclusie gemaakt worden over de toekomstbestendigheid van de drie methodes.

Tabel 11. Scoringstabel

In hoeverre is de huidige mechanisatie voor het aanwenden van drijfmest op grasland (zandgrond) toekomstbestendig?				
Score: 1 t/m 3	Economisch	Passend binnen wet- en regelgeving	Bodemdruk	Totaal score
Mesttank	3	3	1	7
Sleepslang	1	2	2	5
Duospray	2	1	3	6

4 Discussie

De doelstelling van dit onderzoek is om te beoordelen of de huidige mechanisatie gereed is voor de toekomst, oftewel: toekomstbestendig. Hierdoor kan de veehouder of loonwerker bepalen of de bemester, die op dat moment gebruikt wordt, ook in de toekomst gebruikt kan worden. Het onderzoek is uitgevoerd in drie stappen.

4.1 Economisch

De eerste deelvraag van het onderzoek gaat over de economische toekomstbestendigheid. Hierbij is gekeken naar de totale kosten van de drie methoden. Er is hierbij gekozen om een rangorde te hanteren waarbij de goedkoopste methode toekomstbestendig is. Dit betekent dat een methode de laagste score krijgt, ook al is het verschil met de andere methoden klein. Tegelijkertijd zorgt deze rangorde voor een duidelijke weergave van de resultaten. De doelgroep kan hierdoor eenvoudig zien welke methode voor de laagste kosten zorgt en welke methoden voor hogere kosten zorgt.

Bij het berekenen van de kostprijs is er gerekend met de volgende variabelen: aantal kuub (m^3), tarief (€) en capaciteit (m^3 / uur). Dit zijn allemaal variabelen die beïnvloedbaar zijn en kunnen zorgen voor veranderingen in de totale kostprijs. Wanneer er bijvoorbeeld meer drijfmest moet worden uitgereden, wordt de kostprijs hoger. Het kost immers meer tijd om te bemesten. Verder kan een hogere capaciteit zorgen voor een lagere kostprijs. Wanneer er namelijk meer mest wordt uitgereden in een uur, is de totale tijdsduur van het bemesten korter waardoor de totale kostprijs omlaag gaat. Ook het tarief kan in de praktijk verschillen. Een hoger tarief zorgt voor een hogere kostprijs omdat de kosten per uur hoger zijn.

Een belangrijk gedeelte van de berekening is de capaciteit. Zoals hiervoor beschreven, is de capaciteit afhankelijk van veel variabelen en daardoor kan deze verschillen. Voor de berekening is er toch een gemiddelde capaciteit bepaald. Hierbij is duidelijk te zien dat de sleepslangcombinatie de hoogste capaciteit behaalt gevolgd door de mesttank en de Duo-Spray. Deze volgorde is in de praktijk terug te vinden doordat de sleepslangcombinatie constant toevoer van drijfmest heeft. Verder moet de Duo-Spray drijfmest en water apart opzuigen, dit kost relatief veel tijd waardoor de capaciteit lager is. De capaciteit kan in de praktijk verschillen maar de volgorde van de capaciteit is in de praktijk hetzelfde als bij dit onderzoek.

Een ander gedeelte van de berekening is het tarief. Bij de mesttank en de sleepslangcombinatie is een gemiddeld tarief gebruikt. Van de Duo-Spray is nog niet veel bekend en daardoor is een schatting gemaakt met betrekking tot het tarief. Hierbij is rekening gehouden met de relatief eenvoudige bouwwijze van de Duo-Spray. Om die reden is het tarief van de Duo-Spray binnen deze berekening het laagst.

Uit het onderzoek kwam naar voren dat het sleepslangstelsel zorgt voor de hoogste kosten, veroorzaakt door het hoge tarief van dit stelsel. De Duo-Spray eindigde qua kosten tussen de sleepslang en de mesttank in, vooral door het lage tarief maar ook een lage capaciteit. De mesttank is volgens het onderzoek de goedkoopste methode om mee te bemesten. Met deze methode kan namelijk een relatief hoge capaciteit behaald worden ondanks dat het tarief hoger is dan de Duo-Spray. Door de resultaten is er duidelijk te zien dat de mesttank qua kosten gunstiger is dan de sleepslang en de Duo-Spray.

De goedkoopste methode zal als “toekomstbestendig” beoordeeld worden. De andere twee, duurdere methoden worden hierbij als “minder toekomstbestendig” beoordeeld. Er zijn binnen dit gedeelte van het onderzoek namelijk een aantal variabelen die in de praktijk kunnen variëren waardoor het resultaat verandert. Door deze kleine onzekerheden, worden de twee duurdere methoden niet direct als “niet toekomstbestendig” beoordeeld.

Om de resultaten te kunnen vergelijken met de praktijk is er naast een totale kostprijs, een kostprijs per kuub gemaakt. Deze waarden kunnen vergeleken worden met de waarden van de Loonwerkdokter, die gemiddelde waarden over heel Nederland weergeven. Van de Duo-Spray is geen gemiddelde kostprijs bekend.

In tabel 12 is duidelijk te zien dat de kostprijs per kuub vanuit het eigen onderzoek lager is dan de gemiddelde kostprijs van de Loonwerkdokter. Het tarief dat de verschillende loonbedrijven hanteren en de capaciteit die behaald kan worden, hebben invloed op dit verschil. De kostprijs vanuit het eigen onderzoek is lager en wordt dus veroorzaakt doordat er gerekend is met een lager tarief en/of een hogere capaciteit dan de Loonwerkdokter. Daarnaast zijn binnen dit onderzoek aannames gemaakt op het gebied van capaciteit, die in de praktijk kunnen verschillen. Er is echter wel te zien dat bij de gemiddelde kostprijs per kuub het verschil tussen de mesttank en sleepslang vergelijkbaar is met het verschil tussen de twee methodes uit het eigen onderzoek.

Tabel 12. Vergelijking kostprijs per kuub

	Mesttank	Sleepslang	Duo-Spray
<i>Kostprijs per m³ (€)</i> <i>Eigen onderzoek</i>	1,84	2,33	2,13
<i>Kostprijs per m³ (€)</i> <i>Loonwerkdokter</i>	2,33	2,69	-

4.2 Wet- en regelgeving

De tweede deelvraag over het onderzoek naar de toekomstbestendigheid ging over de wet- en regelgeving. Hierbij werd onderzocht of de drie methoden aan de wetten en regels van het toekomstige mestbeleid en het huidige mestbeleid kunnen voldoen. Op deze manier kan de doelgroep zien welke methode aan de regels van het huidige mestbeleid en aan het toekomstige mestbeleid voldoet.

Het onderzoek is gebaseerd op de visie op de Kringlooplandbouw van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. In het document over de visie op de Kringlooplandbouw werden zaken genoemd die belangrijk zijn voor de Kringlooplandbouw en daardoor in een nieuw mestbeleid als regels kunnen gelden. Echter is het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit nog niet verder dan een visie op de Kringlooplandbouw waardoor er nog geen concrete wetten en regels zijn. Dit betekent dat de beoordeling over de wet- en regelgeving meer een voorspelling is dan een beoordeling op basis van bestaande regels. Dit kan betekenen dat een methode op dit moment voldoet aan bepaalde eisen maar in de toekomst niet meer door een ander inzicht in het mestbeleid. Om toch een beoordeling te kunnen maken is de visie op de Kringlooplandbouw een goed hulpmiddel geweest. Het document weerspiegelt de bedoelingen van de overheid en is daarnaast betrouwbaar omdat het door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit is opgesteld.

De beoordeling van de wet- en regelgeving is gebeurd aan de hand van drie punten. Als eerst is er gekeken naar de optimale benutting van drijfmest. Hierbij is gekeken naar het toevoegen van water en het gebruik van een NIRS-sensor. Het is mogelijk dat er nog meer dingen zijn die bijdragen aan de optimale benutting, maar de NIRS-sensor en het toevoegen van water zijn beiden actuele zaken en kunnen bijdragen aan een betere benutting van drijfmest. Uit de beoordeling is gebleken dat de mesttank en het sleepslangstelsel beiden voldoen aan de optimale benutting van drijfmest. Beiden systemen hebben de mogelijkheid om water toe te voegen en het gebruik van een NIRS-sensor is mogelijk. De optimale benutting van drijfmest is bij de Duo-Spray twijfelachtig doordat er nog weinig bekend is over de ammoniakuitstoot tijdens het functioneren van een NIRS-sensor.

Als tweede is er gekeken naar de mogelijkheid tot precisiebemesting om evenwichtsbemesting te kunnen bereiken. Om precisiebemesting te bereiken is het belangrijk om te kunnen werken met een variërende mestgift en met een NIRS-sensor in combinatie met een taakkaart. Dit zijn beiden technieken die op dit moment gebruikt worden en die bij kunnen dragen aan precisiebemesting. Uit het onderzoek is gebleken dat de mesttank op het gebied van precisiebemesting voldoet omdat de mestgift accuraat kan worden bijgestuurd en het werken met een NIRS-sensor en een taakkaart goed mogelijk is. Ook is er sectieafsluiting mogelijk waardoor verspilling tot het minimum wordt beperkt. De sleepslang is bij dit onderdeel als “twijfelachtig” beoordeeld. Met dit systeem kan de mestgift gevarieerd worden en daarnaast functioneert het gebruik van een NIRS-sensor en een taakkaart. Daarnaast is sectieafsluiting van de injecteur mogelijk. Echter is de bijsturing van de mestgift minder accuraat dan de mesttank vanwege de tijdsvertraging tussen de mestpomp en de injecteur. De tijdsvertraging kan minder worden naarmate de afstand tussen de mestpomp en de injecteur kleiner wordt. Ook kan de positie van de NIRS-sensor een positief effect hebben op de vertraging van de bijsturing. Toch blijft de bijsturing van de mestgift minder accuraat waardoor deze methode een minder goede beoordeling krijgt dan de mesttank. De Duo-Spray voldoet niet aan dit onderdeel omdat sectieafsluiting niet mogelijk is en er weinig bekend is over het gebruik van een NIRS-sensor in combinatie met een taakkaart.

Als laatst is er gekeken naar het huidige mestbeleid. Het is mogelijk dat er regels vanuit het huidige mestbeleid worden overgenomen door het toekomstige mestbeleid. Een belangrijke regel om de emissie tijdens het bemesten te beperken, is het injecteren van drijfmest. Het is niet met zekerheid te zeggen dat deze regel daadwerkelijk wordt overgenomen door het toekomstige mestbeleid. Toch is het een regel die op dit moment erg belangrijk is. Huidige bemesting systemen zijn immers gebaseerd op het injecteren van drijfmest. De mesttank en het sleepslangstelsel voldoen beiden aan het huidige mestbeleid. Beiden systemen injecteren de drijfmest en daarnaast is er een gesloten mestweg. De Duo-Spray voldoet niet omdat er niet geïnjecteerd wordt, maar bovengronds uitgereden.

4.3 Bodemdruk

Binnen het onderzoek naar de bodemdruk is een rangorde gehanteerd waarbij de methode met de hoogste bodemdruk, de laagste score krijgt. Dit betekent dat er een methode de laagste score krijgt, ook al is het verschil klein of zijn de gevolgen van de bodemdruk klein. Door deze deelvraag kan de doelgroep zien wat de invloed van de verschillende methoden op de bodemdruk is. Binnen dit gedeelte van het onderzoek is gerekend met het gewicht van de huidige mechanisatie. Het is mogelijk dat bij een toekomstige wet- en regelgeving de mechanisatie lichter uitgevoerd kan worden, wat een positieve uitwerking op de bodemdruk heeft. Echter is hierover op dit moment niets bekend en daardoor is er gerekend met het gewicht van de huidige mechanisatie.

Binnen het onderzoek naar de bodemdruk zijn de volgende variabelen gebruikt: gewicht (kg), zwaartekracht (N), contactoppervlak (m^2) en de bodemdruk (N/m^2). Het gewicht is opgevraagd bij verschillende machinefabrikanten en is daardoor een vast gegeven. Ook de bodemdruk is een vast gegeven omdat het gewicht bij iedere methode met dezelfde waarde is vermenigvuldigt, namelijk: 9,81 (de valversnelling). Bij het contactoppervlak is uitgegaan van een bepaald loopvlak aan de hand van de bandenmaat. Deze variabele is beïnvloedbaar omdat de bandenmaat veranderd kan worden. Dit kan het geval zijn als de agrariër beslist om over te gaan op grotere banden. Een grotere band zorgt voor meer contactoppervlak en daardoor voor een lagere bodemdruk.

Binnen dit onderzoek is uitgegaan van een vast aantal kuub drijfmest dat de mesttank en Duo-Spray meeneemt, in de praktijk heeft dit echter een andere uitwerking. De mesttank of Duo-Spray komt namelijk met een gevulde tank het land op rijden. Aan het begin van het bemesten is de tank nog vol en drukt daardoor meer op de bodem dan op het einde, wanneer de tank bijna leeg is. De bodemdruk kan hierdoor binnen een werkgang verschillen. Het is niet bekend of deze het resultaat positief of negatief beïnvloed. Verder is er geen rekening gehouden met het effect dat veroorzaakt wordt als er meerdere keren door hetzelfde spoor wordt gereden. Bijvoorbeeld als de banden van de achterste as van de mesttank door hetzelfde spoor van de trekker gaan. Dit zorgt in de praktijk voor een grotere bodemdruk. Als laatst is er geen rekening gehouden met het effect van het trekken van de sleepslang op de achteras van de trekker. De trekker moet namelijk de slang voorwaarts trekken waardoor er meer druk op de achteras komt en waardoor de bodemdruk toeneemt. Deze druk is lastig te definiëren en daardoor niet meegenomen in het onderzoek. Ondanks dat er een aantal onzekerheden zijn, geeft dit onderzoek naar de bodemdruk een betrouwbaar resultaat. De variabelen die gebruikt zijn, konden opgevraagd worden waardoor er geen schatting gemaakt hoeft te worden.

Uit het onderzoek blijkt dat de mesttank de meeste bodemdruk veroorzaakt. De relatief grote bodemdruk wordt vooral veroorzaakt door het grotere gewicht van de combinatie in vergelijking met de andere twee methodes. Doordat het injecteren van de mest verplicht is in Nederland, moet de mesttank stevig en daardoor zwaar gemaakt worden. Om de injecteur te kunnen dragen, is er dan vaak een zware hefinrichting nodig. Daarnaast moet de mesttank de inhoud van de tank mee transporteren over het veld. De sleepslangbemester bespaart gewicht doordat er geen tank benodigd is omdat de drijfmest via de slang wordt aangevoerd. Echter heeft deze methode minder contactoppervlak met het perceel dan de andere twee methodes waardoor de druk per vierkante centimeter ongunstiger wordt. De Duo-Spray zorgt volgens dit onderzoek voor het minste bodemdruk. De machine is lichter uitgerust omdat er geen injecteur benodigd is en daarnaast heeft deze methode relatief veel contactoppervlak. Hierdoor is de bodemdruk het meest gunstig in vergelijking met de andere twee methodes.

In de praktijk wordt er veel gesproken over de lagere bodemdruk door het sleepslangbemesten (Akke**rb**ouwActueel, 2017). Veel gebruikers ervaren dit als een positief effect door het lagere gewicht van de sleepslangbemester. Het resultaat van dit onderzoek naar de bodemdruk is dat de sleepslangbemester gunstiger is dan de mesttank met betrekking tot bodemdruk. Dit komt overeen met de ervaringen uit de praktijk. Echter bleek uit het onderzoek ook dat de Duo-Spray voor een nog lagere bodemdruk zorgt dan de sleepslangbemester. In de praktijk is nog niet gesproken over de bodemdruk die de Duo-Spray veroorzaakt, daardoor is er geen vergelijkingsmateriaal.

5 Conclusie

Dit onderzoek heeft betrekking op de toekomstbestendigheid van de huidige mechanisatie, met betrekking tot bemesting. Het doel hierbij is om te beoordelen of de huidige mechanisatie kan voldoen aan het toekomstige mestbeleid. Door veranderende wet- en regelgeving kan het namelijk zijn dat bemesting systemen die op dit moment worden gebruikt, in de toekomst niet meer voldoen. De beoordeling van de toekomstbestendigheid wordt gedaan door te kijken naar de volgende performance parameters: economisch, wet- en regelgeving en bodemdruk. Er worden hierbij drie methodes van bemesting vergeleken, namelijk: de mesttank, het sleepslangstelsel en de Duo-Spray.

5.1 Economisch

*In hoeverre is de huidige mechanisatie toekomstbestendig op **economisch** gebied?*

Uit het onderzoek naar de totale kosten van het bemesten bij een bepaalde hoeveelheid drijfmest, blijkt dat de mesttank het meest voordelig is. Oorzaak hiervan is dat er met een relatief hoge capaciteit en een relatief lage kostprijs gewerkt kan worden. De sleepslang en de Duo-Spray zorgen voor hogere kosten in vergelijking met de mesttank. De hoge kosten worden bij de sleepslang veroorzaakt door het relatief hoge tarief dat wordt gerekend voor dit systeem. Bij de Duo-Spray is de relatief lage capaciteit de oorzaak van de hoge kosten. Het antwoord op de eerste deelvraag is hierdoor als volgt:

De mesttank is op economisch gebied toekomstbestendig. De sleepslang en de Duo-Spray zijn minder toekomstbestendig.

5.2 Wet- en regelgeving

*Past de huidige mechanisatie binnen de **mestwet- en regelgeving**, gericht op de toekomst?*

Uit het onderzoek naar de toekomstige wet- en regelgeving is gebleken dat de mesttank het beste aan de gestelde eisen voldoet. Vooral door de mogelijkheid tot precisiebemesting heeft deze methode een betere beoordeling gekregen. Verder was de optimale benutting van drijfmest een belangrijke eis, hieraan konden zowel de mesttank als de sleepslang voldoen. Als laatste kan de mesttank ook aan de eisen voldoen die het huidige mestbeleid hanteert. De Duo-Spray kan niet aan de eisen voldoen die zijn gesteld. Het antwoord op de tweede deelvraag is:

De mesttank past binnen de toekomstige mestwet- en regelgeving en is daardoor toekomstbestendig. De sleepslang voldoet minder goed aan de toekomstige mestwet- en regelgeving en is daardoor minder toekomstbestendig. De Duo-Spray voldoet niet volledig aan de gestelde eisen en is daardoor niet toekomstbestendig.

5.3 Bodemdruk

*In hoeverre is de huidige mechanisatie toekomstbestendig op het gebied van **bodemdruk**?*

Uit het onderzoek naar de bodemdruk bleek dat de Duo-Spray het minste bodemdruk tot gevolg heeft. Doordat dit systeem relatief licht is in combinatie met veel contactoppervlak, is de bodemdruk laag. De mesttank zorgt voor de grootste bodemdruk door de zwaardere bouwwijze van de machine. De sleepslang bevindt zich qua bodemdruk tussen Duo-Spray en de mesttank in. Een voordeel van dit systeem ten opzicht van de andere twee methoden is dat de mest niet 'gedragen' hoeft te worden. Het antwoord op de laatste deelvraag is:

De Duo-Spray is toekomstbestendig op het gebied van bodemdruk. De sleepslang-methode en de mesttank zijn minder toekomstbestendig op het gebied van bodemdruk.

5.4 Toekomstbestendigheid

In hoeverre is de huidige mechanisatie voor het aanwenden van drijfmest op grasland (zandgrond) toekomstbestendig?

Aan de hand van de behandelde deelvragen kan de hoofdvraag worden beantwoord. Het onderzoek begon met de beoordeling van de toekomstbestendigheid op economisch gebied waaruit bleek dat de mesttank het meest voordelig is. Vervolgens werd er een beoordeling gemaakt met betrekking tot de wet- en regelgeving. Hieruit bleek dat de mesttank het beste kan voldoen aan de gestelde eisen. Als laatste is er naar de bodemdruk gekeken die de drie methodes veroorzaken. Hieruit bleek dat de Duo-Spray het minste bodemdruk tot gevolg heeft. Als samenvatting van de resultaten van deze deelvragen is een scoringstabel opgesteld waaraan te zien is welke methode toekomstbestendig is. Aangezien er bij de deelvragen een rangorde is gebruikt, is er geen methode die op alle onderdelen een twee scoort. Vandaar dat er naar de totaalscore wordt gekeken. Uit de totaalscore bleek dat de mesttank de hoogste score behaalt en daardoor toekomstbestendig is. Het sleepslangstelsel en de Duo-Spray hebben beiden een lagere totaalscore en zijn daardoor beiden minder toekomstbestendig. Het antwoord op de hoofdvraag is uiteindelijk:

De mesttank is toekomstbestendig voor het aanwenden van drijfmest op grasland, met zand als grondsoort. De sleepslang en de Duo-Spray zijn minder toekomstbestendig voor het aanwenden van drijfmest op grasland, met zand als grondsoort

6. Aanbevelingen

Op korte termijn zal er nog niet veel veranderen aan het mestbeleid. Er zijn immers nog geen regels of eisen bekend gemaakt met betrekking tot het toekomstige mestbeleid. Dit betekent dat veehouders en loonbedrijven op korte termijn nog geen aanpassingen of investeringen hoeven te verrichten vanwege een nieuw mestbeleid. Met het huidige mestbeleid is de mesttank en de sleepslang toegestaan. Uit het onderzoek is gebleken dat de mesttank ook in de toekomst nog goed bruikbaar is. De sleepslang bleek minder toekomstbestendig, maar dit betekent niet dat deze methode helemaal niet meer bruikbaar is in de toekomst. Er is immers nog niet veel zeker over eisen en regels omtrent het toekomstige mestbeleid. Het is dus belangrijk om op dit moment verder te werken met de bemestingsmachines die zijn toegestaan in Nederland. Ook investeringen die op dit moment gedaan moeten worden op het gebied van bemesting, kunnen beter gebaseerd zijn op het huidige mestbeleid. Dit is immers het gene dat toegestaan is. De Duo-Spray is door het huidige mestbeleid niet toegestaan. Het is daardoor zinloos om op korte termijn te investeren in deze methode.

Het is aannemelijk dat op de lange termijn er een nieuwe mestbeleid ontstaat. Er is op dit moment nog niet veel met zekerheid te zeggen over wetten en regels die in dit mestbeleid komen te staan. Het is daardoor lastig voor een veehouder of loonwerker om zich voor te bereiden op het gene dat in de toekomst gaat veranderen. Toch lijkt het erop dat de mesttank, die door veel ondernemers op dit moment wordt gebruikt, ook in de toekomst nog bruikbaar is. Een investering in de mesttank is dus zowel op de korte als de lange termijn een goede keus. Het is verder aannemelijk dat de Duo-Spray in de toekomst wordt toegestaan of zelfs verplicht. Het kan dan zijn dat een loonwerker of een veehouder dan moet investeren in een Duo-Spray. Maar het is ook mogelijk dat de mesttank als Duo-Spray gaat functioneren door een aantal aanpassingen. Het zijn immers beiden mesttanken, alleen is de manier van toediening anders.

Bibliografie

- AgriConnect. (2014). *Wat is evenwichtsbemesting?* <https://agriconnect.nl/thema/wat-evenwichtsbemesting>
- AkkerbouwActueel. (2017). *Sleepslangbemesting: "Bemesten zonder schade in het perceel."* <https://www.akkerbouwactueel.nl/nieuwsartikel/2017/sleepslangbemesting-bemesten-zonder-schade-in-het-perceel-/b24g18c30o1603/>
- Arbab, A. I. (2010). The generalized Newton's law of gravitation. *Astrophysics and Space Science*, 325(1), 37.
- Bokhorst, J. (n.d.). *Bodemdruk*. Retrieved April 23, 2020, from <https://www.goedbodembeheer.nl/brandendruk>
- CBS. (2017). *Schaalvergroting melkveehouderij*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/48/schaalvergroting-melkveehouderij-maakt-pas-op-de-plaats>
- CBS. (2020a). *Productie dierlijke mest*. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83982NED/table?dl=EC0A>
- CBS. (2020b). *StatLine - Dierlijke mest; productie en mineralenuitscheiding, diercategorie, regio*. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83982NED/table?dl=EC0A>
- CBS. (2020c). *StatLine - Landbouw; gewassen, dieren, grondgebruik en arbeid op nationaal niveau*. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81302ned/table?fromstatweb>
- Craul, J. (1994). SOIL COMPACTION ON HEAVILY USED SITES. *Journal of Arboriculture*. <https://pdfs.semanticscholar.org/4fe4/267924384c6904345026d4af2f52b406b43c.pdf>
- de Haan, J. (2015). *Bodemverdichting: beter voorkomen dan herstellen*. <https://subsites.wur.nl/nl/show/Bodemverdichting-beter-voorkomen-dan-herstellen.htm>
- Di, H. J., & Cameron, K. C. (2002). Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 64(3), 237–256.
- Educatie en school. (n.d.). *Zoekplan*. Retrieved April 23, 2020, from <https://educatie-en-school.infonu.nl/studievaardigheden/153776-hoe-maak-je-een-goed-zoekplan-voor-je-research.html>
- Essink, S. (2018). *Mechanisatie knelpunt bodemverdichting*. <https://www.boerderij.nl/Mechanisatie/Achtergrond/2018/12/Mechanisatie-knelpunt-bodemverdichting-375338E/>
- Europese Commissie. (n.d.). *Goed leven, binnen de grenzen van onze planeet*. <https://doi.org/10.2779/61072>
- Europese Commissie. (2010). *Een wakend oog op water*. www.ecolabel.eu
- Gay, S. W., & Knowlton, K. F. (2005). Ammonia emissions and animal agriculture. *Ammonia Emissions and Animal Agriculture*.
- Groenkennisnet. (2020). *Minder ammoniakuitstoot door drijfmest te verdunnen - Groen Kennisnet*. <https://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/show/Minder-ammoniakuitstoot-door-drijfmest-te-verdunnen.htm>

- Haspels, J., & Dollen, C. (2019). *Boerenprotest Den Haag*. <https://www.ad.nl/den-haag/den-haag-maakt-zich-klaar-voor-boerenprotest-geen-beperking-van-aantal-trekkers~a65e1439/>
- Houtekamer, C. (2019). *Scheepvaart blijkt veel vervuilerder dan gedacht* - NRC. <https://www.nrc.nl/nieuws/2019/12/09/scheepvaart-blijkt-veel-vervuilerder-dan-gedacht-a3983201>
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151(2), 362–367.
- Kenniscentrum Infomil. (n.d.). *Emissiearme vloeren*. Retrieved March 9, 2020, from <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/emissiearme-vloeren/>
- KNMI. (n.d.). *Broeikaseffect*. Retrieved March 6, 2020, from <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/broeikaseffect>
- Kringlooplandbouw. (n.d.). *Theorie – Kringlooplandbouw*. Retrieved March 9, 2020, from <https://kringlooplandbouw.nl/mest/theorie/>
- Kweku, D. W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K. A., Danso, K. B., Oti-Mensah, E. A., Quachie, A. T., & Adormaa, B. B. (2017). Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming. *Journal of Scientific Research and Reports*, 1–9.
- Loonwerkdokter, D. (2020). *De Loonwerkdokter: Advies voor Infra, Agro en Groen*. <http://deloonwerkdokter.nl/>
- Metric Conversions. (2020). *Celsius naar Kelvin*. <https://www.metric-conversions.org/nl/temperatuur/celsius-naar-kelvin.htm>
- Michelin. (2020). *Michelin Agricultural Tyres*. <https://landbouw.michelin.nl/nl>
- Ministerie LNV. (2019). *Realisatieplan Kringlooplandbouw*. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2019/06/17/realisatieplan-visie-Inv-op-weg-met-nieuw-perspectief>
- Ministerie van Landbouw Natuurbeheer en Visserij. (1997). *Besluit gebruik meststoffen - BWBR0009066*. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0009066/2020-01-01>
- Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., & van Cleemput, O. (1998). Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52(2–3), 225–248.
- Pastoor, J. (2019). *Zwaartekracht*. https://inask.nl/index.php?option=com_content&view=article&id=53
- Peel, J. L., Haeuber, R., Garcia, V., Russell, A. G., & Neas, L. (2013). Impact of nitrogen and climate change interactions on ambient air pollution and human health. *Biogeochemistry*, 114(1–3), 121–134.
- Pennings, J. (2019). *Melkprijs bij lange na niet kostendekkend*. <https://www.boerenbusiness.nl/melk/artikel/10883304/melkprijs-bij-lange-na-niet-kostendekkend>

- Philips, B. (2015). *Juiste toediening van drijfmest geeft hogere N-benutting*.
<https://www.verantwoordeveehouderij.nl/show/-Juiste-toediening-van-drijfmest-geeft-hogere-Nbenutting.htm>
- Rabobank. (n.d.). *Agrarisch loonbedrijf, cijfers en trends*.
- Rieuwerts, J. (2017). *The elements of environmental pollution*. Routledge.
- RVO. (n.d.-a). *Hoe mest uitrijden*. Retrieved April 20, 2020, from
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/gebruiken-en-uitrijden/hoe-mest-uitrijden>
- RVO. (n.d.-b). *Mest waterverdund uitrijden*. Retrieved March 9, 2020, from
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/gebruiken-en-uitrijden/hoe-mest-uitrijden/mest-waterverdund-uitrijden>
- RVO. (n.d.-c). *Stikstofgebruikersruimte*. Retrieved June 15, 2020, from
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/gebruiken-en-uitrijden/hoeveel-dierlijke-mest-landbouwgrond>
- RVO. (n.d.-d). *Wegwijs in het mestbeleid*. Retrieved April 20, 2020, from
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/wegwijs-het-mestbeleid>
- RVO. (n.d.-e). *Wegwijs in het mestbeleid*. Retrieved April 21, 2020, from
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/wegwijs-het-mestbeleid>
- RVO. (2018). *Rijenbemesting maïs*. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/mest/gebruiksnormen/equivalente-maatregelen/extra-stikstof-rijenbemesting-mais>
- RVO. (2019a). *Derogatie*. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/derogatie>
- RVO. (2019b). *Forfaitaire gehalten*.
- RVO. (2019c). *Hoeveel mest gebruiken. Hoe rekent u dat uit?*
- RVO. (2019d). *Tabel 1 Stikstofgebruiksnormen*.
- Sawyer, J. (2008). *Surface Waters: Ammonium is Not Ammonia*.
<https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2008/04/surface-waters-ammonium-not-ammonia---part-1>
- School en educatie. (2015). *Maken van een zoekplan*. <https://educatie-en-school.infonu.nl/studievaardigheden/153776-hoe-maak-je-een-goed-zoekplan-voor-je-research.html>
- Schouten, C. (2018). *Landbouw, natuur en voedsel: waardevol en verbonden Nederland als koploper in kringlooplandbouw*.
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/richtlijnen/2018/09/01/landbouw-natuur-en-voedsel-waardevol-en-verbonden-nederland-als-koploper-in-kringlooplandbouw>

- Smits, M. (2018). *Sleepslangen*.
<https://www.boerderij.nl/Mechanisatie/Achtergrond/2018/3/Sleepslangen-is-vooruitdenken-263370E/>
- Tuschner, J. (2016). *Flat Plate & Flotation* | *AGTireTalk*. <https://agtiretalk.com/flat-plate-flotation/>
- van Oldenborgh, G. J., & van Ulden, A. (2003). On the relationship between global warming, local warming in the Netherlands and changes incirculation in the 20th century. *International Journal of Climatology*, 14.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.966>
- Velthof, G. L., van Bruggen, C., Groenestein, C. M., de Haan, B. J., Hoogeveen, M. W., & Huijsmans, J. F. M. (2012). A model for inventory of ammonia emissions from agriculture in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, 46, 248–255.
- Voskuilen, M. (2019). *Agrarisch grondgebruik*.
<https://www.agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2232&themaID=2286&indicatorID=2911>
- Vredo. (2014). *ZB3 & ZBFE Brengt de mest bij de wortel*.
- Winterman, P. (2019). *D66 wil veestapel halveren*. <https://www.ad.nl/politiek/d66-wil-veestapel-halveren-drastische-afname-stikstofuitstoot~a7872ea4/>
- Zevenbergen, G. J. (2012). *DuoSpray*. <https://www.mechaman.nl/veehouderij-techniek/2012/10/23/duospray-vanaf-2014-toegelaten/>

Alle overige afbeeldingen en tabellen: eigen werk.

Bijlagen

1. Uitkomsten tarievenenquête Loonwerkdokter

Loonwerkactiviteit	Eenheid	Landelijk Tarief
Graslandbemester getrokken 8 -12 m ³	per uur	€ 96,56
Graslandbemester getrokken 8 -12 m ³	per m ³	€ 2,76
Graslandbemester getrokken 13 -18 m ³	per uur	€ 119,67
Graslandbemester getrokken 13 -18 m ³	per m ³	€ 2,73
Graslandbemester getrokken > 18	per uur	€ 125,50
Graslandbemester getrokken > 18	per m ³	€ 2,50
Zelfrijder 12 - 16 m ³	per uur	€ 136,20
Zelfrijder 12 - 16 m ³	per m ³	€ 2,93
Zelfrijder > 16 m ³	per uur	€ 162,11
Zelfrijder > 16 m ³	per m ³	€ 2,79
Slangaanvoer < 13 m breed incl. pomp	per uur	€ 245,17
Slangaanvoer < 13 m breed incl. pomp	per m ³	€ 3,03
Slangaanvoer > 13 m breed incl. pomp	per uur	€ 256,00
Slangaanvoer > 13 m breed incl. pomp	per m ³	€ 2,45

2. Tabellen RVO

Gewas	Klei 2019-2021	Noordelijk ¹⁰ , westelijk ¹¹ en centraal ¹² zand 2019-2021	Zuidelijk ¹³ zand 2019-2021	Löss ⁴ 2019-2021	Veen 2019-2021
Grasland (kg N per ha per jaar)					
Grasland met beweiden	345	250	250	250	265
Grasland met volledig maaien ¹	385	320	320	320	300
Akkerbouwgewassen (kg N per ha per teelt)					
Consumptieaardappellassen hoge norm (zie tabel 1a)	275	260	208	204	270
Consumptieaardappellassen overig	250	235	188	184	245
Consumptieaardappellassen lage norm (zie tabel 1a)	225	210	168	164	220
Consumptieaardappel, vroeg (loofvernietiging voor 15 juli)	120	120	96	96	120
Pootaardappellassen hoge norm (zie tabel 1b)	140	140	140	140	140
Pootaardappellassen overig	120	120	120	120	120
Pootaardappellassen lage norm (zie tabel 1b)	100	100	100	100	100
Pootaardappelen, uitgroei teelt (loofvernietiging na 15 augustus)	180	165	165	165	170
Zetmeelaardappelen	240	230	184	184	230
Suikerbieten	150	145	116	116	145
Cichorei	70	70	70	70	70
Voederbieten	165	165	132	132	165
Wintertarwe ⁵	245	160	160	190	160
Zomertarwe	150	140	140	140	140
Wintergerst ⁵	140	140	140	140	140
Zomergerst	80	80	80	80	80
Triticale ⁵	160	150	120	120	150
Winterrogge ⁵	140	140	140	140	140
Haver ⁵	100	100	100	100	100
Maïs, bedrijven met derogatie ⁶	160	140	112	112	150
Maïs, bedrijven zonder derogatie ⁶	185	140	112	112	150

Diersoort	Omschrijving	Mestcode	Kg stikstof per ton	Kg fosfaat per ton
Rundvee	Vaste mest	10	6,4	3,2
	Filtraat na mestscheiding	11	4,0	1,3
	Gier	12	4,0	0,2
	Koek na mestscheiding	13	16,9	9,8
	Drijfmest behalve van vleeskalveren	14	4,0	1,5
	Bewerkte kalvergier	17	4,2	5,0
	Vleeskalveren, witvlees	18	3,2	1,2
	Vleeskalveren, rosé vlees	19	5,5	2,2

3. Tabellen Michelin

IF 800/70 R38 179D TL AXIOBIB

MSPN: 99142

CAI: 528166

Load per tire (single)			Tire Technical Data			
40 mph	40 mph Dual	Pressure				
65 km/h	65 km/h Dual	6 psi	Unloaded Dimensions		Loaded Dimensions	
		0.4 bar	Overall Width	Overall Diameter	Loaded Radius	Rolling Circumference
	3,040 kgs	9 psi	31.9 in	81.4 in	35.2 in	239.7 in
	8,080 lbs	0.6 bar	810 mm	2,067 mm	894 mm	6,089 mm
	3,665 kgs	12 psi	Rolling Circumference Index 48 Number of Lugs 20 x 2		Rims (preferred in bold) DW27B (A)	
	9,460 lbs	0.8 bar				
	10,750 lbs	15 psi				
	4,875 kgs	1.0 bar	Rolling Circumference Index 48 Number of Lugs 20 x 2		Tube MSPN 88038 Tube CAI 170088 Minimum Dual/Triple Spacing 39.5 in 1,004 mm	
	12,320 lbs	1.1 bar				
	5,590 kgs	1.2 bar				
	13,110 lbs	19 psi	Rolling Circumference Index 48 Number of Lugs 20 x 2		Tube MSPN 88038 Tube CAI 170088 Minimum Dual/Triple Spacing 39.5 in 1,004 mm	
	11,530 lbs	1.3 bar				
	5,230 kgs	20 psi				
	13,890 lbs	1.4 bar	Rolling Circumference Index 48 Number of Lugs 20 x 2		Tube MSPN 88038 Tube CAI 170088 Minimum Dual/Triple Spacing 39.5 in 1,004 mm	
	12,210 lbs	1.5 bar				
	6,300 kgs	22 psi				
	14,680 lbs	23 psi	Rolling Circumference Index 48 Number of Lugs 20 x 2		Tube MSPN 88038 Tube CAI 170088 Minimum Dual/Triple Spacing 39.5 in 1,004 mm	
	12,920 lbs	1.6 bar				
	6,660 kgs					
	15,490 lbs		Rolling Circumference Index 48 Number of Lugs 20 x 2		Tube MSPN 88038 Tube CAI 170088 Minimum Dual/Triple Spacing 39.5 in 1,004 mm	
	13,620 lbs					
	7,025 kgs					
	16,290 lbs		Rolling Circumference Index 48 Number of Lugs 20 x 2		Tube MSPN 88038 Tube CAI 170088 Minimum Dual/Triple Spacing 39.5 in 1,004 mm	
	14,330 lbs					
	7,390 kgs					
	17,090 lbs		Rolling Circumference Index 48 Number of Lugs 20 x 2		Tube MSPN 88038 Tube CAI 170088 Minimum Dual/Triple Spacing 39.5 in 1,004 mm	
	15,040 lbs					
	7,750 kgs					



600/70 R30 152D TL MACHXBIB

MSPN: 76077

CAI: 334318

Load per tire (single)							Tire Technical Data			
40 mph	30 mph	25 mph	20 mph	6 mph	25 mph Dual	Pressure				
65 km/h	50 km/h	40 km/h	30 km/h	10 km/h	40 km/h Dual		Unloaded Dimensions		Loaded Dimensions	
			4,220 lbs	5,510 lbs	3,540 lbs	6 psi	Overall Width	Overall Diameter	Loaded Radius	Rolling Circumference
			1,915 kgs	2,500 kgs	1,605 kgs	0.4 bar	24.1 in	63.2 in	27.8 in	186.8 in
	4,630 lbs	4,830 lbs	5,070 lbs	6,610 lbs	4,250 lbs	9 psi	613 mm	1,605 mm	706 mm	4,745 mm
	2,100 kgs	2,190 kgs	2,300 kgs	3,000 kgs	1,930 kgs	0.6 bar	Rolling Circumference Index 43 Number of Lugs 18 x 2		Rims (preferred in bold) DW20B (A) DW18L	
5,150 lbs	5,390 lbs	5,620 lbs	5,910 lbs	7,170 lbs	4,960 lbs	12 psi				
2,335 kgs	2,445 kgs	2,550 kgs	2,680 kgs	3,250 kgs	2,250 kgs	0.8 bar				
5,880 lbs	6,150 lbs	6,420 lbs	6,750 lbs	8,270 lbs	5,650 lbs	15 psi	Rolling Circumference Index 43 Number of Lugs 18 x 2		Tube MSPN 192251	
2,665 kgs	2,790 kgs	2,910 kgs	3,060 kgs	3,750 kgs	2,565 kgs	1.0 bar				
6,530 lbs	6,920 lbs	7,220 lbs	7,580 lbs	9,200 lbs	6,360 lbs	17 psi				
2,960 kgs	3,140 kgs	3,275 kgs	3,440 kgs	4,175 kgs	2,885 kgs	1.2 bar	Rolling Circumference Index 43 Number of Lugs 18 x 2		Tube CAI 192251	
7,180 lbs	7,680 lbs	8,010 lbs	8,420 lbs	10,140 lbs	7,050 lbs	20 psi				
3,255 kgs	3,485 kgs	3,635 kgs	3,820 kgs	4,600 kgs	3,200 kgs	1.4 bar				
7,830 lbs	8,440 lbs	8,810 lbs	9,260 lbs	11,080 lbs	7,760 lbs	23 psi	Rolling Circumference Index 43 Number of Lugs 18 x 2		Minimum Dual/Triple Spacing 30.0 in 761 mm	
3,550 kgs	3,830 kgs	3,995 kgs	4,200 kgs	5,025 kgs	3,520 kgs	1.6 bar				
				11,300 lbs		25 psi				
				5,125 kgs		1.7 bar	Rolling Circumference Index 43 Number of Lugs 18 x 2		Tube MSPN 192251	
				11,530 lbs		26 psi				
				5,230 kgs		1.8 bar				
				11,750 lbs		28 psi	Rolling Circumference Index 43 Number of Lugs 18 x 2		Tube CAI 192251	
				5,330 kgs		1.9 bar				

850/50 R30.5 182D TL CARGOXBIB

MSPN: 69986

CAI: 938016

Load per tire (single)						*All load values are for maximum indicated speeds at low torque. *20 mph (30 km/h): high torque field work or max road speed. *All load values for ground slopes up to 20% (above 20% consult Michelin)				
40 mph	30 mph	25 mph	15 mph	6 mph	Pressure	Tire Technical Data				
65 km/h	50 km/h	40 km/h	25 km/h	10 km/h		Unloaded Dimensions		Loaded Dimensions		Rims (preferred in bold)
7,500 lbs	9,060 lbs	10,190 lbs	11,840 lbs	14,180 lbs	15 psi	Overall Width	Overall Diameter	Loaded Radius	Rolling Circumference	AG28.00 (H2)
3,400 kgs	4,110 kgs	4,620 kgs	5,370 kgs	6,430 kgs	1.0 bar	33.9 in	64.1 in	27.3 in	188.1 in	
8,420 lbs	10,190 lbs	11,440 lbs	13,300 lbs	15,750 lbs	17 psi	861 mm	1,628 mm	692 mm	4,778 mm	
3,820 kgs	4,620 kgs	5,190 kgs	6,035 kgs	7,145 kgs	1.2 bar	Rolling Circumference Index 0 Number of Lugs x 2				Tube MSPN
10,270 lbs	12,420 lbs	13,970 lbs	16,230 lbs	18,890 lbs	23 psi					Tube CAI
4,660 kgs	5,635 kgs	6,335 kgs	7,360 kgs	8,570 kgs	1.6 bar					TL
12,130 lbs	14,670 lbs	16,480 lbs	19,150 lbs	22,040 lbs	29 psi					Minimum Dual/Triples Spacing
5,500 kgs	6,655 kgs	7,475 kgs	8,685 kgs	9,995 kgs	2.0 bar	Gross Flat Plate	Tire Weight	100% Tire Volume	Centerline Tread Depth	
13,980 lbs	16,910 lbs	19,000 lbs	22,070 lbs	25,180 lbs	35 psi	555 sq in	538 lbs	287.6 gals	29/32nd	42.7 in
6,340 kgs	7,670 kgs	8,620 kgs	10,010 kgs	11,420 kgs	2.4 bar	3,583 sq cm	244 kgs	1,089 liters	23 mm	1,085 mm
15,170 lbs	18,350 lbs	20,620 lbs	23,950 lbs	27,320 lbs	41 psi					
6,880 kgs	8,325 kgs	9,355 kgs	10,865 kgs	12,390 kgs	2.8 bar					
16,360 lbs	19,800 lbs	22,240 lbs	25,840 lbs	29,450 lbs	46 psi					
7,420 kgs	8,980 kgs	10,090 kgs	11,720 kgs	13,360 kgs	3.2 bar					
17,550 lbs	21,240 lbs	23,870 lbs	27,720 lbs	31,590 lbs	52 psi					
7,960 kgs	9,635 kgs	10,825 kgs	12,575 kgs	14,330 kgs	3.6 bar					
18,140 lbs	21,960 lbs	24,670 lbs	28,660 lbs	32,660 lbs	55 psi					
8,230 kgs	9,960 kgs	11,190 kgs	13,000 kgs	14,815 kgs	3.8 bar					
18,740 lbs	22,690 lbs	25,490 lbs	29,610 lbs	33,730 lbs	58 psi					
8,500 kgs	10,290 kgs	11,560 kgs	13,430 kgs	15,300 kgs	4.0 bar					