

Haalbaarheid van maaimeststoffen in een biologische productiemethode

Jasper Van Opstal

Promotor: prof. Hilde Vandendriessche

Copromotoren: Dr. Annemie Elsen &
Helena Vanrespaille

Masterproef ingediend tot het behalen van de
graad van master of Science in de
biowetenschappen: Land- en tuinbouwkunde,
afstudeerrichting plantaardige en dierlijke
productie

Academiejaar 2020-2021

© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven Campus Geel, Kleinhoefstraat 4, B-2440 Geel, +32 14 72 13 00 of via e-mail iiw.geel@kuleuven.be.

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

Voorwoord

Het onderwerp van de masterproef heb ik samen met mijn promotoren vormgegeven en mee mogen bepalen. Hierdoor werd het een studie dat me volledig aansprak en waar ik helemaal achter stond. Het heeft me sterk geboeid en wijzer gemaakt. Echter zou de masterproef niet zijn tot stand zijn gekomen zonder de hulp van verschillende mensen.

Eerst en vooral bedank ik mijn (co)-promotoren, prof. Hilde Vandendriessche, Dr. Annemie Elsen en Helena Vanrespaille. Nadat ik samen met Annemie en Helena op een studienamiddag de krijtlijnen van het onderzoek uitzette kon de masterproef van start gaan. De opvolging nadien werd haarfijn geregeld door Helena. Ze stond steeds klaar om me te helpen, gaf heel nuttige feedback, stelde dingen in vraag en beantwoordde mijn vragen. Door haar prima ondersteuning heeft ze me voortdurend uitgedaagd om de masterproef constant te verbeteren. Hiervoor ben ik haar zeer dankbaar!

Daarnaast bedankt ik graag enkele werknemers van de Bodemkundige Dienst van België. Zo kon ik rekenen op de steun van Sophie en Thomas voor het opzetten en opvolgen van de incubatieproef en Marc en Hedwig voor het helpen bij het uitpalen en oogsten van de veldproef.

Graag bedank ik ook de landbouwers waarmee ik voor deze masterproef heb samengewerkt. Door met hen samen te werken en in gesprek te gaan, kon ik een ruimer beeld schetsen van de praktische haalbaarheid van hetgeen ik onderzocht.

Tenslotte bedank ik mijn familie en vrienden. Ze stonden steeds voor me klaar om te luisteren naar mijn verhalen en me te helpen op verschillende vlakken.

Jasper Van Opstal

Sint-Pieters-Leeuw, december 2020

Samenvatting

Om een hoge opbrengst en goede kwaliteit in de biologische akkerbouw te bekomen moet er op een doordachte manier bemest worden. Door veranderende regelgeving is er binnen de biologische landbouw vraag naar een duurzame bemestingsvorm. De huidige mestwetgeving gecombineerd met de vaak ongunstige stikstof/fosfor-verhouding in dierlijke mest zorgen voor een beperking in de hoeveelheid dierlijke mest die gebruikt mag worden. Anders dan gangbare telers, kunnen biologische landbouwers geen minerale stikstofmeststoffen gebruiken. Om deze reden worden maaimeststoffen steeds geschikter als bemestingsbron. Maaimeststoffen zijn gewassen (vaak vlinderbloemige groenbedekkers) die worden gemaaid, gehakseld, en als plantaardige meststof gebruikt op een ander perceel dan waar ze groeiden. Ze kunnen met name worden ingezet om in de stikstofbehoefte van het gewas te voorzien, zonder de plaatsingsruimte voor fosfaat te overschrijden.

Omwille van deze stijgende interesse voor het gebruik van maaimeststoffen is de doelstelling van deze thesis de haalbaarheid ervan te onderzoeken. Deze haalbaarheid hangt af van de stikstofwerking van de maaimeststoffen. Deze werd zowel in een veldproef met korrelmaïs (*Zea mays* L.) als in een incubatieproef in het labo onderzocht. Bij de veldproef werden op twee verschillende tijdstippen ingekuilde en op een derde tijdstip zowel verse als ingekuilde luzerne (*Medicago sativa* L.) toegediend. Bij de incubatieproef werd enkel met ingekuilde luzerne (*M. sativa* L.) gewerkt.

Allereerst zagen we grote verschillen in samenstelling tussen verse en ingekuilde luzerne, zo lagen zowel het drogestofgehalte als de gehalten aan nutriënten bij ingekuilde luzerne veel hoger. Daarnaast zagen we lichte verschillen in gehalten door het verschil in maaitijdstip en duurtijd van inkuilen.

De stikstof-werkingscoëfficiënten gemeten bij de veldproef waren met waarden van 40 tot 95 % relatief hoog en kenden de volgende tendens:

- Naarmate luzerne dichter tegen de zaai werd toegediend, was de werkingscoëfficiënt hoger zijn.
- De stikstof-werkingscoëfficiënt van ingekuilde luzerne was bijna dubbel zo hoog als deze van verse luzerne.

De eindwaarde van de stikstof-werkingscoëfficiënt gemeten bij de incubatieproef voor ingekuilde luzerne bedroeg 46 %. Dit is een hoge waarde maar zeker niet onmogelijk omwille van de ideale omstandigheden in het labo.

Alhoewel de stikstof-werkingscoëfficiënten relatief hoog zijn, vertaalde dit zich niet eenduidig naar een opbrengstverhoging of efficiëntere nutriëntenopname. Algemeen was er een opbrengstverhoging ten opzichte van de niet bemeste grond, maar deze meeropbrengst was minder groot dan wat verwacht werd uit de stikstof-werkingscoëfficiënten. Zo ligt de opname efficiëntie voor stikstof tussen 6 en 18 %. De waargenomen tendens is dezelfde als de hierboven beschreven tendens voor de stikstof-werkingscoëfficiënt.

Vijf trefwoorden die de essentie van de masterproef weergeven:

Maaimeststof, stikstofwerking, fosforproblematiek, kostenefficiëntie, biologisch

Abstract

To ensure high yield and quality in organic agriculture, crops must be fertilized in a well-considered way. Due to changing fertilising legislation, there is a demand within organic farming for a sustainable form of fertilization. The current legislation combined with the often unfavourable nitrogen/phosphorus ratio in livestock manure often limits the amount of livestock manure that can be used. Unlike conventional farmers, organic farmers cannot use mineral nitrogen fertilizers. Therefore, plant-based fertilizers are becoming more and more suitable as a source of fertilizer, in order to meet the nitrogen requirements without exceeding the phosphate norms. Plant-based fertilizers -also called mobile green manures- are crops (often leguminous green covers) that are mowed, chopped, and used as a plant fertilizer on a different field than where they grew.

Because of this increasing interest in the use of mobile green manures, the aim of this thesis is to investigate their feasibility. This feasibility is very much based on the nitrogen recovery of the mobile green manures. This was investigated both in a field trial with maize and in an incubation trial in the lab. During the field trial ensiled alfalfa was applied at two different times and a third time both fresh and ensiled alfalfa were administered. During the incubation trial only ensiled alfalfa was used.

Firstly, we noticed large differences in composition between fresh and ensiled alfalfa, for example, both the dry-matter content and the levels of nutrients in ensiled alfalfa were much higher. Additionally, we saw slight differences in contents due to the difference in mowing time and duration of ensilage.

The nitrogen recovery measured in the field test were relatively high with values of 40 to 95 % and have the following tendency:

- The closer alfalfa was applied to the seeding date, the higher the nitrogen recovery.
- The nitrogen recovery of ensiled alfalfa was almost double the nitrogen recovery of fresh alfalfa.

The final value of the nitrogen recovery measured during the incubation trial for ensiled alfalfa was 46%. This is a high value, but certainly not impossible because of the ideal conditions in the lab.

Although the nitrogen recovery values were relatively high, this did not clearly translate into a higher yield or a more efficient nutrient uptake. In general there was an increase in yield compared to the unfertilized soil, but this increase was less than what was expected from the nitrogen recovery values. For example, the uptake efficiency for nitrogen is between 6 and 18%. The observed tendency is the same as the one described above for the nitrogen recovery.

Keywords:

Mobile green manure, Nitrogen recovery, Phosphorus problems, Cost-efficiency, Organic

Publiceerbaar artikel

Haalbaarheid van maaimeststoffen in een biologische productiemethode

Om een hoge opbrengst en goede kwaliteit in de biologische akkerbouw te bekomen moet er op een doordachte manier bemest worden. Door veranderende regelgeving is er binnen de biologische landbouw vraag naar een duurzame bemestingsvorm. De huidige mestwetgeving gecombineerd met de vaak ongunstige stikstof/fosfor-verhouding in dierlijke mest zorgen vaak voor een beperking in de hoeveelheid dierlijke mest die gebruikt mag worden. Om deze reden worden maaimeststoffen een steeds geschikter alternatief als bemestingsbron.

Doel en context

Maaimeststoffen zijn gewassen (vaak vlinderbloemige groenbedekkers) die worden gemaaid, gehakseld, en als plantaardige meststof gebruikt op een ander perceel dan waar ze groeiden. Omwille van de stijgende interesse voor het gebruik van maaimeststoffen is de doelstelling van het onderzoek de haalbaarheid ervan te onderzoeken.

Proefopzet

De haalbaarheid van maaimeststoffen hangt af van zijn stikstofwerking. Deze werd zowel in een veldproef met korrelmaïs als in een incubatieproef in het labo onderzocht. In deze proeven willen we nagaan of de vorm (ingekuild of vers) en het toedieningstijdstip waarop de maaimeststof wordt toegepast bepalend is voor de beschikbaarheid van de stikstof (N) voor het gewas. Zo werd bij de veldproef op twee verschillende tijdstippen ingekUILde en op een derde tijdstip zowel verse als ingekUILde luzerne toegediend. Bij de incubatieproef werd enkel met ingekUILde luzerne gewerkt.

Resultaten

Samenstelling van de maaimeststof

Er waren grote verschillen in samenstelling tussen verse en ingekUILde luzerne, zo lag

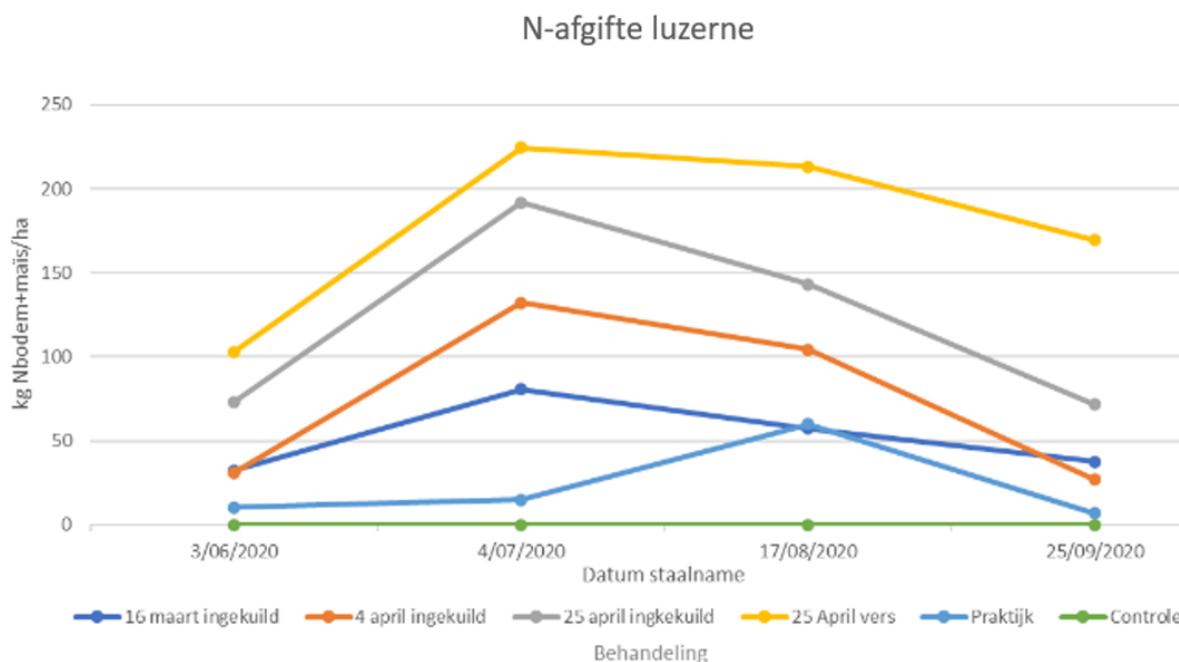
zowel het drogestofgehalte (DS-gehalte) als de gehalten aan nutriënten bij ingekUILde luzerne veel hoger. Daarnaast zien we lichte verschillen in gehalten door het verschil in maaitijdstip en duurtijd van inkuilen. Het DS-gehalte is toonaangevend wat betreft het N-gehalte, bij een hoog DS-gehalte zal de maaimeststof een hogere hoeveelheid N/kg vers product bevatten. Daarnaast bevatten maaimeststoffen slechts een kleine hoeveelheid fosfor en een grote hoeveelheid effectieve organische koolstof. Hierdoor hebben ze een zeer interessante N/P- en C/N-verhouding.

Stikstofwerking

De stikstof-werkingscoëfficiënten gemeten bij de veldproef zijn met waarden van 40 tot 95 % relatief hoog en kennen de volgende tendens:

- Naarmate luzerne dichter tegen de zaai wordt toegediend zal de werkingscoëfficiënt hoger zijn.
- De stikstof-werkingscoëfficiënt van ingekUILde luzerne is bijna dubbel zo hoog dan deze van verse luzerne.

De eindwaarde van de stikstof-werkingscoëfficiënt gemeten bij de incubatieproef voor ingekUILde luzerne bedroeg 46 %.



Figuur 1: N-afgifte van luzerne als maaimeststof

Opbrengst

Alhoewel de stikstof-werkingscoëfficiënten relatief hoog zijn, vertaalde dit zich niet eenduidig naar een opbrengstverhoging of efficiëntere nutriëntenopname. Algemeen was er een opbrengstverhoging ten opzichte van de niet bemeste grond, maar deze meeropbrengst was minder groot dan wat verwacht werd uit de stikstof-werkingscoëfficiënten. Zo ligt de opname efficiëntie voor stikstof tussen 6 en 18 %, de waargenomen tendens is wel dezelfde als deze beschreven voor de stikstof-werkingscoëfficiënt.

Kostprijs

Of een bemestingsvorm interessant kan zijn, hangt ook van het kostenplaatje af. Wanneer we alle kosten in rekening brengen, kost 1 kg N verse luzerne 4,13 €. Afhankelijk of het nog wordt ingekuild of gepelleteerd, komt er nog een kost bij, deze is respectievelijk 0,28 € en 5,29 €/kg N. Deze berekende prijs komt overeen met deze van Nelissen et al. (2017). Wanneer we de prijs voor de verse en ingekulde luzerne vergelijken met deze van een in de

handel verkrijgbare biologische organische meststoffen ligt deze zo'n 1,5 tot 1,9 keer lager. Wanneer we de prijs van de gepelleteerde luzerne vergelijken ligt deze echter 1,3 tot 1,6 keer hoger.

Conclusie

Het besluit dat maaimeststoffen weldegelijk haalbaar zijn in een biologische context is moeilijk te veralgemenen en bedrijfs-specifiek. Zo hangt dit zeer sterk af van het teeltplan, de progressiviteit en toekomstvisie van de landbouwer, de toekomstige wetgeving, de beschikbaarheid van biologische dierlijke mest...

Voor een aantal biologische landbouwers kan in de huidige context het gebruik van maaimeststoffen, al dan niet ter aanvulling van een hoofdbemesting, zowel grote ecologische als economische voordelen opleveren. Toch zal deze bemestingsvorm voor een overgroot deel van de biologische landbouwers vanwege de hoge kostprijs momenteel niet interessant zijn, dit kan echter steeds wijzigen door veranderlijke omstandigheden.

INHOUD

Voorwoord	i
Samenvatting.....	ii
Abstract	iii
Publiceerbaar artikel	iv
Lijst met afkortingen	ix
Lijst van illustraties	x
Lijst van tabellen	xii
Inleiding	13
1 Wettelijk kader mestwetgeving	14
1.1 MAP 6 en fosfor (P).....	14
1.2 Fosfaatklassen.....	14
1.3 Fosforbemestingsnormen.....	14
1.4 Uitzonderingen.....	15
2 Mobiliteit van fosfor	16
2.1 Voorkomen in de bodem	16
2.2 Plantbeschikbaarheid van fosfor	16
2.3 Fosfor-buffercapaciteit van de bodem	17
2.4 Uitspoeling van fosfor.....	17
3 Bodembeheerstrategieën	18
3.1 Organische bemesting	18
3.2 Groenbedekkers als oplossing voor de fosforproblematiek	23
3.3 Maaimeststoffen als oplossing voor de fosforproblematiek.....	25
4 Doelstellingen en onderzoeksvragen	30
5 Materiaal en methode.....	31
5.1 Veldproef.....	31
5.2 Incubatieproef	39
5.3 Detectie van uitschieters	42
5.4 Statistische verwerking.....	42
6 Resultaten.....	43
6.1 Verschillen in samenstelling maaimeststof	43
6.2 Stikstofwerking van maaimeststoffen	44

6.3	<i>Opbrengst</i>	51
6.4	<i>Efficiëntie van de nutriëntenopname</i>	56
6.5	<i>Toegediende effectieve organische koolstof</i>	56
6.6	<i>Bedrijfseconomische resultaten</i>	57
6.7	<i>Incubatieproef</i>	59
7	Discussie	61
7.1	<i>Verschillen in samenstelling maaimeststof</i>	61
7.2	<i>Stikstof werking van maaimeststoffen</i>	62
7.3	<i>Opbrengst</i>	62
7.4	<i>Efficiëntie van de nutriëntenopname</i>	63
7.5	<i>Maaimeststof als oplossing voor de fosforproblematiek</i>	63
7.6	<i>Bedrijfseconomische resultaten</i>	64
7.7	<i>Incubatieproef</i>	65
7.8	<i>Haalbaarheid van maaimeststoffen</i>	65
	Besluit	68
	Referenties	70

Lijst met afkortingen

C	koolstof
EOC	effectieve organische koolstof
EOS	effectieve organische stof
K	kalium
MAP	mestactieplan
N	stikstof
OC	organische koolstof
OM	organic matter = organische stof
OS	organische stof
P	fosfor
P-AL	plantbeschikbare fosfaat gemeten bij een bodemanalyse na extractie met ammoniumlactaat
P _{anorg}	anorganische fosfor
P _{org}	organische fosfor
OPF	organic plant feed (organische biologische meststof)
ANE	apparent N efficiency (stikstofefficiëntie)
DS	droge stof
AXR	apparent X recovery (Opname efficiëntie van nutriënt X)

Lijst van illustraties

Figuur 2.1 Schematische weergave P-beschikbaarheid en gewasopname (Bussink et al., 2011) De opgeloste fosfor in de bodemoplossing beslaat slechts een kleine hoeveelheid van de totale aanwezige fosfor in de bodem	17
Figuur 3.1: Vereenvoudigde voorstelling Quick wash techniek (Amery & Vandecasteele, 2015)	21
Figuur 5.1: Locatie perceel (Sint-Pieters-Leeuw)	31
Figuur 5.2: Inplanting proefveld op 40 en 31,5 m van de perceelsgrenzen om randeffecten te vermijden.....	31
Figuur 5.3: Indeling proefveldjes.....	33
Figuur 5.4: Afwegen van de verse luzerne met een veldweegschaal.....	37
Figuur 5.5: De ingekuilde luzerne werd vooraleer het kon afgewogen worden uit de baal 'gestoken'	37
Figuur 5.6: Hoop afgewogen vers luzernemaaisel vlak voor het uitspreiden, merk het veel grotere volume op ten opzichte van Figuur 5.7 met de ingekuilde luzerne.....	37
Figuur 5.7: Hoop afgewogen ingekuilde luzerne vlak voor het uitstrooien met de riek	37
Figuur 5.8: Resultaat na het uitspreiden van het luzernemaaisel.....	38
Figuur 5.9: Resultaat na het infresen, de bodem en luzerne zijn goed gemengd	38
Figuur 5.10: Luzernemaaisel infresen met bakfrees	38
Figuur 5.11: Verse luzerne toegediend aan referentiebodem, net voor het homogeen inwerken	40
Figuur 5.12: Toedienen van ingekuilde luzerne, net voor het inwerken.....	40
Figuur 5.13: Afwegen van ingekuilde luzerne	40
Figuur 5.14: Staalname op 25 september van de drie proefperceeltjes van de behandeling 4 april ingekuild, laat duidelijk zien dat proefperceeltje 3 hier een afwijkend resultaat geeft. Dit werd gedetecteerd als een uitschieter en verwijderd uit onze data	42
Figuur 6.1: Accumulatie van stikstof in maïs in functie van de toegepaste behandeling.....	45
Figuur 6.2: Accumulatie van stikstof in maïs in functie van de toegepaste behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$). De tabel geeft het aantal herhalingen weer. De verticale strepen tonen de standaarddeviatie binnen een behandeling.....	46
Figuur 6.3: Verloop totale nitraat-N voorraad in de bodem van 0-90 cm in functie van de toegepaste behandeling, zeer grote verschillen tussen de staalnamemomenten.....	46
Figuur 6.4: Verloop van de totale nitraat N-voorraad in de bodem van 0-90 cm in functie van de toegepaste behandeling. De significante verschillen zijn steeds bepaald tussen het staalnametijdstip per behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$). De tabel geeft het aantal herhalingen weer. De verticale strepen tonen de standaarddeviatie binnen een behandeling.	48

Figuur 6.5: Iedere curve geeft de stikstofafgifte van een bemestingsvariant weer	49
Figuur 6.6: Stikstofafgifte van de verschillende bemestingsvarianten. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$). De verticale strepen tonen de standaarddeviatie binnen een behandeling	50
Figuur 6.7: Verse opbrengst van maïs in functie van de behandeling	51
Figuur 6.8: figuur uit (Sibma., 1987), hierin wordt duidelijk dat het vers gewicht daalt omwille van het verdwijnen van water.	52
Figuur 6.9: Verse opbrengst van maïs in functie van de behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$). De tabel onderaan geeft het aantal herhalingen weer. De verticale strepen tonen de standaarddeviatie binnen een behandeling	52
Figuur 6.10: Droge stof-opbrengst van maïs in functie van de behandeling	53
Figuur 6.11: Gemiddelde droge stof-opbrengst voor een maïsteelt in Nederlandse omstandigheden (Sibma., 1987)	53
Figuur 6.12: Droge stof-opbrengst van maïs opgedeeld in stengel- en kolffractie in functie van de behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$). De verticale strepen tonen de standaarddeviatie binnen een behandeling	54
Figuur 6.13: ANE in functie van de behandeling. De hoeveelheid kg droge stof meeropbrengst/kg N meststof	55
Figuur 6.14: N-vrijzetting van ingekuilde luzerne gemeten tijdens een incubatieproef	59

Lijst van tabellen

Tabel 1-1 Fosforbestedingsnormen per klasse en teelt (Vlaamse Landmaatschappij, 2018)	15
Tabel 3-1 Fosfaat- en stikstofopname en droge stof productie van groenbedekkers per grondbewerkingssysteem (van Wijk et al., 2014).....	24
Tabel 3-2 Eigenschappen maaimeststoffen, elk met een verschillende behandeling. Grote verschillen in samenstelling door een verschil in toedieningsvorm en tijdstip. (Nelissen et al., 2017).....	26
Tabel 5-1: Voorstelling behandelingen	32
Tabel 5-2: Samenstelling en toe te dienen massa luzernemaaisel	35
Tabel 5-3: Overzicht behandelingen met vorm, dosis en tijdstip van bemesting	36
Tabel 6-1: Samenstelling van luzerne op basis van eigen staalname. * deze waarde zijn gebruikt voor berekeningen van de hoeveelheid stikstof die werd toegediend.....	43
Tabel 6-2: Overzicht van de toegediende N- dosis, N-afgifte en stikstofwerkingscoëfficiënt in functie van de behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$).....	50
Tabel 6-3: Opname efficiëntie voor stikstof, fosfor en kalium in functie van de behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$)	56
Tabel 6-4: Verschillende bemestingsvormen en hun hoeveelheid aangevoerde effectieve organische koolstof. Er zijn zeer grote verschillen waar te nemen tussen de verschillende bemestingsvormen. * deze waarde zijn gebruikt voor berekeningen van de hoeveelheid stikstof die werd toegediend tijdens de proef	57
Tabel 6-5: Kostprijsberekening biologische luzerneteelt. Kosten aangegeven met * zijn afkomstig van (Anonymus, 2018), de andere zijn gebaseerd op facturen van een loonwerker en een zaadhuis.....	58
Tabel 6-6: Prijsvergelijking tussen luzerne en andere biologische organische meststoffen...58	
Tabel 6-7: Samenstelling van de ingekuilde luzerne die gebruikt werd bij de incubatieproef. Hierin is vooral de C/N-verhouding bepalend voor de mate van N-vrijzetting.....	59
Tabel 6-8: Percentage van de toegevoegde totale stikstof die ingekuilde luzerne vrijgezet heeft gedurende de incubatieproef	60
Tabel 7-1: Resultaten van de studie van Sorensen et al. (2011) waarin de vergelijking wordt gemaakt tussen zeven snedes verse luzerne, elk van een andere oogstdatum.....	61
Tabel 7-2: Dezelfde bemestingsvormen als in Tabel 6-4 met hierin de gehalten stikstof en fosfor. De berekende N/P verhouding geeft een goede indicatie op vlak van geschiktheid als fosfor-arme bemestingsvorm, hoe hoger de N/P verhouding hoe geschikter. * deze waarde zijn gebruikt voor berekeningen van de hoeveelheid stikstof die werd toegediend.....	63
Tabel 7-3: Afhankelijk van de bemestingsdosis kan er met 1 hectare luzerne meer of minder hectare bemest worden en is het aandeel luzerneareaal hoger of lager	67

Inleiding

Voorgaand op deze masterproef was er een bachelorproef omtrent de fosforproblematiek in de (bio)landbouw en mogelijke oplossingen hiervoor. Een van de beschreven oplossingen was het gebruik van maaimeststoffen als bemesting, dit was het vertrekpunt van deze masterproef. Maaimeststoffen zijn gewassen (vaak vlinderbloemige groenbedekkers) die worden gemaaid, gehakseld, en als plantaardige meststof gebruikt worden op een ander perceel dan waar ze groeiden. Door deze manier van bemesting toe te passen is er geen externe input van stikstof en fosfor nodig, het enige dat gebeurt is mobilisatie van fosfor uit de bodem en binden van luchtstikstof.

De interesse uit de biologische sector voor maaimeststoffen groeit, dit om verscheidene redenen. Zo zorgt de huidige mestwetgeving gecombineerd met de vaak ongunstige stikstof/fosfor-verhouding in dierlijke mest voor een beperking in de hoeveelheid dierlijk mest dat gebruikt mag worden. Anders dan gangbare telers, kunnen biologische landbouwers geen minerale stikstofmeststoffen gebruiken. Daarnaast ligt bemesten met maaimeststoffen helemaal in lijn met het duurzaamheidsaspect dat de biologische landbouw hoog in het vaandel draagt.

Of het implementeren van maaimeststoffen als bemestingsvorm haalbaar is voor een gemiddeld (biologisch) Vlaams landbouwbedrijf is nog maar de vraag. Deze wordt in de loop van de masterproef aan de hand van verschillende onderdelen en vanuit verschillende standpunten beantwoord.

Het eerste deel van deze masterproef is een literatuurstudie. Hier wordt de fosforproblematiek aan de hand van de huidige mestwetgeving en de mobiliteit van fosfor geschetst waarna verscheidene bodembeheerstrategieën worden voorgesteld als mogelijke oplossingen. Eén van deze bodembeheerstrategieën is het gebruik van maaimeststoffen, hier wordt wat langer bij stilgestaan. In het tweede deel wordt de doelstelling en onderzoeksvraag geformuleerd en uitgelegd. Na de onderzoeksvraag te kennen wordt in het gedeelte materiaal en methode duidelijk hoe het onderzoek praktisch wordt aangepakt.

Vervolgens volgt de bespreking van de resultaten om ze daarna in het onderdeel discussie te vergelijken met de literatuur. Ten slotte volgt het besluit waar de voornaamste bevindingen en discussiepunten naar boven komen en waaruit duidelijk wordt of er een toekomst is voor het gebruik van maaimeststoffen in de biologische akkerbouw.

1 WETTELIJK KADER MESTWETGEVING

1.1 MAP 6 en fosfor (P)

Sinds MAP 5 zijn er fosforbestedingsnormen ingesteld aan de hand van de P-gewasexport en de P-beschikbaarheid. Dit alles om een P-ontmijning van landbouwbodems te realiseren. Ieder perceel werd in een fosfaatklasse ingedeeld die de fosforbeschikbaarheid weerspiegelt en per fosfaatklasse werden gewasspecifieke P-bestedingsnormen opgesteld (Vlaamse Landmaatschappij, 2015). Deze wetgeving is eveneens van kracht binnen het huidige MAP 6.

1.2 Fosfaatklassen

De landbouwbodems zijn ingedeeld in vier klassen naargelang de fosforbeschikbaarheid. In de klassen wordt een onderscheid gemaakt tussen akkerland en grasland. De hoeveelheid plantbeschikbare fosfaat in grasland ligt voor eenzelfde fosfaatklasse hoger dan bij akkerland. De hierna vermelde cijfers gelden voor akkerland en geven de hoeveelheid mg fosfor per 100g luchtdroge grond weer. Bodems met een lage P-beschikbaarheid krijgen klasse I (≤ 12) toegewezen, bodems in de streefzone klasse II (> 12 en ≤ 18), bodems met een matige P-beschikbaarheid klasse III (> 18 en ≤ 40) en bodems met een hoge P-beschikbaarheid klasse IV (> 40).

Elke klasse heeft een specifieke fosforbestedingsnorm. Zo is de P-bestedingsnorm voor een klasse I bodem hoger dan de P-gewasexport, zodat fosfor in deze bodems nog kan opstapelen. Voor een klasse II bodem is de P-bestedingsnorm gelijk aan de P-gewasexport. Bij een klasse III en zeker bij een klasse IV bodem ligt de bestedingsnorm ruim onder de P-gewasexport zodat het risico op fosforverliezen verkleint en er een fosforuitmijning plaatsvindt (Vlaamse Landmaatschappij, 2015).

Wanneer er geen bodemanalyse van het perceel gekend is, wordt het perceel automatisch in fosfaatklasse IV geplaatst. Via een bodemanalyse kan aan een perceel andere fosfaatklasse toegewezen worden. Bij die bodemanalyse wordt de plantbeschikbare fosfaat (P-AL) gemeten, dit is een P-meting na ammoniumlactaatextractie. Landbouwers zijn zelf verantwoordelijk om fosforstalen te laten nemen maar zijn niet verplicht dit te doen, zij moeten zelf uitmaken of het voor hun bedrijf zinvol is. Dit betekent voor veel landbouwers een verminderde besteding waardoor velen toch stalen laten nemen. Bij een fosfaatklasseverlaging naar klasse I of II wordt er een tegemoetkoming per staalname van 25 € voor akkerland en 50 € voor grasland toegekend (Vlaamse Landmaatschappij, 2017).

1.3 Fosforbestedingsnormen

De fosforbestedingsnorm hangt niet enkel af van de fosfaatklasse, maar ook van de teelt. Tabel 1-1 vermeldt alle fosforbestedingsnormen per klasse en teelt. Hoe hoger de P-gewasexport, hoe hoger de P-bestedingsnorm is (Vlaamse Landmaatschappij, 2018). Percelen die als fosfaatverzadigd gekend zijn, hebben een P-bestedingsnorm van 40 kg P₂O₅/ha (Vlaamse Landmaatschappij, 2016). Percelen worden als fosfaatverzadigd bestempeld wanneer deze in een gebied liggen dat op basis van een bemonstering een

fosfaatverzadigingsgraad heeft boven de kritische grenswaarde voor fosfaatdoorslag van 35% (Salomez et al., 2006).

Tabel 1-1 Fosforbestedingsnormen per klasse en teelt (Vlaamse Landmaatschappij, 2018)

Teelt		Totale P ₂ O ₅ (kg/ha, jaar)			
		Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV
Grasland	Maaien	115	95	90	70
	Maaien + grazen	115	95	90	70
Wintertarwe of triticale		95	75	70	55
Wintergerst of andere		95	75	70	55
Suikerbieten		85	65	55	45
Voederbieten		85	65	55	45
Aardappelen		95	75	70	55
Maïs		100	80	70	55
Groenten groep I		85	65	55	45
Groenten groep II		85	65	55	45
Groenten groep III		85	65	55	45
Sierteelt en boomkweek		85	65	55	45
Aardbeien		85	65	55	45
Spruitkool		85	65	55	45
Teelten met een lage stikstofbehoefte ¹		85	65	55	45
Andere leguminosen dan erwten en bonen		85	65	55	45
Andere teelten incl. voederkool en bladrammenas		85	65	55	45

1.4 Uitzonderingen

Wanneer een perceel in fosfaatverzadigd gebied ligt en de berekende klasse I, II of III bedraagt, is de overeenkomstige P-bestedingsnorm uit Tabel 1-1 van toepassing in plaats van de bestedingsnorm van 40 kg P₂O₅/ha (Vlaamse Landmaatschappij, 2017).

In het MAP 6 willen ze het gebruik van meststoffen die bijdragen tot een toename van het organische stofgehalte en tegelijkertijd een laag risico vormen voor ongewenste verliezen van N en P, zoals compost en stalmest stimuleren. Daarom is er de mogelijkheid slechts 50 % van de fosforgift met gecertificeerde gft- en groencompost op alle fosfaat-klassegronden in rekening te brengen. Daarnaast is er de mogelijkheid slechts 50 % van de hoeveelheid P₂O₅ van stalmest of boerderijcompost in rekening te brengen. Dit laatste geldt enkel bij gebruik op klasse I en II percelen (Vlaamse Landmaatschappij, 2016).

2 MOBILITEIT VAN FOSFOR

Om de mogelijke oplossingen voor de fosforproblematiek goed te kunnen interpreteren is het belangrijk meer te weten over fosfor. Hoe gedraagt het zich in de bodem, in welke vorm wordt het opgenomen door de plant en in welke vorm komt het voor in de bodem? Onderstaande literatuurstudie probeert deze vragen te beantwoorden.

2.1 Voorkomen in de bodem

In de bodem kunnen we fosfor indelen in twee groepen: de organische fosfor (P_{org}) en de anorganische fosfor (P_{anorg}). In landbouwbodems is 25-30 % van de aanwezige fosfor organisch (Fardeau & Conesa, 1994). Alhoewel de meeste fosfor opgenomen door de plant anorganisch is, zal P_{org} fungeren als een onmisbaar fosforreservoir van waaruit opneembare fosfor komt (Cross & Schlesinger, 1995). De mate waarin fosfor vrijkomt vanuit de P_{org} hangt af van de mate van mineralisatie van de organische stof. Die wordt beïnvloed door de bodembioïologie, bodemtextuur, concentratie organische stof en verschillende fysische en chemische factoren zoals temperatuur, pH, ... (Johnston, 2000). Anorganische fosfor komt voor als de ionen HPO_4^{2-} en H_2PO_4^- . Bij een pH van 7,22 is evenveel H_2PO_4^- als HPO_4^{2-} aanwezig, bij een pH lager dan 7,22 is meer H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} aanwezig en bij een pH hoger dan 7,22 is minder H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} aanwezig (Bussink et al., 2011).

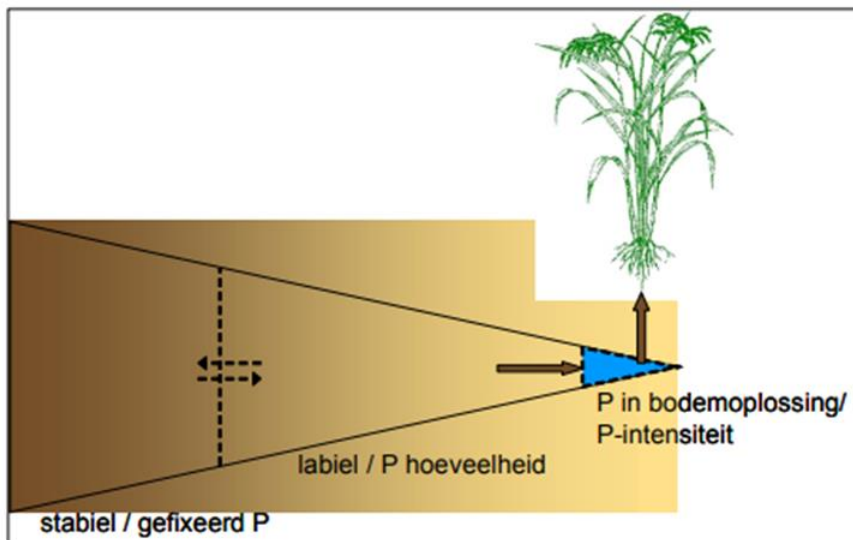
2.2 Plantbeschikbaarheid van fosfor

Niet alle fosfor die aanwezig is in de bodem, is beschikbaar voor de plant. We onderscheiden twee vormen fosfor aanwezig in de bodem: de opgeloste fosfor en de niet-opgeloste fosfor. De opgeloste fosfor bevindt zich in de bodemoplossing. Het grootste deel van de fosfor hiervan is opneembaar door de plant. De opgeloste fosfor in de bodemoplossing beslaat echter slechts een kleine hoeveelheid van de totale fosfor in de bodem, waardoor het leeuwendeel van de fosfor niet onmiddellijk beschikbaar is voor de plant (Figuur 2.1).

De niet-opgeloste fosfor is te verdelen in een labiele en een stabiele toestand. De labiele fosfor is in evenwicht met de fosfor in de bodemoplossing en is daardoor de belangrijkste bron voor nalevering van fosfor naar de bodemoplossing. Tot de anorganische fosfor in de labiele toestand behoort geabsorbeerde fosfor en ijzer-, aluminium- en calciumfosfaten die in zure bodems vaker gebonden zijn aan ijzer en aluminium, en in kalkrijke bodems eerder aan calcium. De stabiele fosfor gaat niet meteen in oplossing met het bodemvocht. In de stabiele toestand zal anorganische fosfor in fosforhoudende bodemmineralen omvat zitten. Organische fosfor is afkomstig van afgestorven planten, mest, compost,... De belangrijkste labiele en stabiele organische fosfor-verbindingen in bodems zijn myo-inositol-fosfaten, nucleïnezuren, fosfolipiden en eiwitgebonden fosfor-verbindingen. De hoeveelheid organische fosfor in de bodem is sterk afhankelijk van grondsoort, koolstofgehalte, landgebruik, bemesting,... en kan sterk variëren (Bussink et al., 2011).

Het is dus belangrijk voor de beschikbaarheid niet enkel uit te gaan van de opgeloste fosfor, maar ook van de hoeveelheid die er vanuit de labiele toestand nageleverd kan worden (Bussink et al., 2011).

Dit alles is weergegeven in Figuur 2.1 . Hierin staat uiterst links de stabiele toestand, daarnaast de labiele toestand. De blauwe driehoek stelt de opgeloste fosfor voor. De bruine pijl geeft de nalevering van labiele fosfor weer (Bussink et al., 2011).



Figuur 2.1 Schematische weergave P-beschikbaarheid en gewasopname (Bussink et al., 2011)
De opgeloste fosfor in de bodemoplossing beslaat slechts een kleine hoeveelheid van de totale aanwezige fosfor in de bodem

2.3 Fosfor-buffercapaciteit van de bodem

De P-buffercapaciteit van de bodem is de eigenschap van de bodem om de wisselwerking tussen de labiele en de opgeloste fosfor te regelen. De P-buffercapaciteit is de mogelijkheid van de bodem om fosfor in de bodemoplossing aan te vullen vanuit de labiele fase (Holford, 1997). Voor een goede groei van gewassen speelt de P-buffercapaciteit dus een belangrijke rol. Zo moet de snelheid waarmee fosfor vrij kan komen hoger zijn dan de kritische opnamesnelheid van de plant (Koopmans et al., 2004).

2.4 Uitspoeling van fosfor

Fosfor verplaatst in de bodem voornamelijk door diffusie. Het concentratieverschil bepaalt dus de transportsnelheid. Diffusie is een traag proces waardoor fosfor weinig mobiel is in de bodem (Timmermans et al., 2012). Toch kunnen er verliezen optreden wanneer fosfor uitspoelt. Fosforverliezen worden veroorzaakt door verschillende factoren: de fosforconcentratie in de bodem, de erosiegevoeligheid, de hoeveelheid neerslag, de textuur... Zo treden fosforverliezen in hogere mate op bij fosforverzadigde landbouwbodems, alsook bij erosiegevoelige percelen. Daarnaast zal fosforverlies vooral optreden bij een zandbodem, zeker wanneer die sterk verzadigd is met fosfor, bijvoorbeeld door aanhoudende bemesting met fosforrijke mest zoals varkensmest (Renneson, 2013).

3 BODEMBEHEERSTRATEGIEËN

In het onderdeel bodembeheerstrategieën komen alle mogelijke oplossingen om de P-problematiek aan te pakken kort aan bod. Het wordt steeds ingeleid door de nodige achtergrondinformatie en onderverdeeld in verschillende groepen. In de laatste subcategorie wordt specifiek de nadruk gelegd op het gebruik van maaimeststoffen.

3.1 Organische bemesting

Organische bemesting is de belangrijkste bemestingsvorm waarover we beschikken in de biologische landbouw. Gewassen voedt men bij voorkeur via het ecosysteem van de bodem en niet door toevoeging van oplosbare meststoffen aan de bodem. Indien externe productiemiddelen noodzakelijk zijn mogen binnen de biolandbouw enkel minerale meststoffen met een lage oplosbaarheid gebruiken. Minerale stikstofmeststoffen zijn altijd uit den boze (VERORDENING (EG) Nr. 834/2007 VAN DE RAAD van 28 juni 2007).

Een organische bemesting voegt organische stof (OS) toe aan de bodem. Organische stof wordt omgezet tot humus die de bodemdeeltjes aan elkaar kleeft tot zich een stabiele kruimelstructuur vormt (Vanrespaille et al., 2018). Organische stof in de bodem is onmisbaar, de inzet van organische bemesting is daarom essentieel.

We onderscheiden twee organische mestgroepen: dierlijke mest en organische reststromen.

3.1.1 Dierlijke mest

Naargelang de diersoort en de wijze (rantsoen, huisvesting) waarop we de dieren houden zal de mestsamenstelling verschillen. Ook zal de mestsamenstelling tijdens de bewaring veranderen, in welke mate hangt af van het stalsysteem, de opslagmethode en opslagduur (Bloem et al., 2017).

Twee belangrijke kwaliteitsparameter die we bij verschillende mestvormen bekijken is de N/P-(stikstof/fosfor) verhouding en de hoeveelheid effectieve organische koolstof (EOC). Hoe hoger de N/P verhouding en EOC van de mestsoort, hoe beter (binnen de huidige Vlaamse context). Bij een hogere N/P-verhouding zal het aandeel stikstof namelijk hoger zijn in vergelijking met fosfaat en bij een hoge EOC zal de aanvoer van organische stof groter zijn.

Algemeen kunnen we stellen dat stalmest gemiddeld een lagere N/P-verhouding heeft dan drijfmest. Daarnaast bevat stalmest meer effectieve organische koolstof (EOC) dan drijfmest. Alsook hebben pluimveemest en varkensmest gemiddeld een veel lagere N/P-verhouding dan rundermest.

Om de fosforuitloging deels op te lossen bij gebruik van dierlijk mest bestaan er oplossingen die berusten op enerzijds het verminderen van fosforverliezen en anderzijds op het verlagen van de fosforinhoud.

3.1.1.1 Verminderen van fosforverliezen

Om fosforverliezen door uitloging te verminderen is het handig te weten welk mesttype het gevoeligst is voor fosforverliezen. De gevoeligheid aan fosforverliezen varieert namelijk tussen verschillende mesttypes. De grootste fosforverliezen zijn waargenomen na het toepassen van stalmest (Vanden Nest et al., 2014). De grotere fosforverliezen met stalmest ten opzichte van kunstmest zijn te verklaren door de hogere mobiliteit van organische fosforcomponenten (McDowell & Sharpley, 2004). Hoe hoger het gehalte aan organische fosforcomponenten, hoe groter het fosforverlies. Een tweede verklaring door McDowell & Sharpley (2004) stelt dat de organische zuren aanwezig in stalmest in competitie treden met fosfaat voor bodemsorptieplaatsen, waardoor die niet kan binden en dus uitlooft.

Daarnaast zien we dat dierlijk mest dat veel calcium bevat, een verminderd fosforverlies vertoont, omdat calciumfosfaat-verbindingen makkelijk neerslaan en slecht oplosbaar zijn. Dit werd duidelijk uit resultaten waarbij kippenmest dat veel calcium bevat een lagere fosforuitloging gaf dan rundermest (Vanden Nest et al., 2014).

Algemeen stelt Vanden Nest et al. (2014) dat het fosforverlies bij de verschillende mesttypes daalt volgens stalmest > kunstmest > compost.

We kunnen fosforverliezen dus verminderen door gericht te kiezen voor een bemestingsvorm. Daarnaast kunnen we om fosforverliezen te verminderen en de fosfor aanwezig in de mest zo goed mogelijk te benutten de mest op een correcte wijze toedienen. We bespreken dit aan de hand van verschillende factoren:

- **Bemestingsbron:**
Het is belangrijk naargelang de nutriëntenbehoefte van het gewas een mesttype te kiezen, zodat de gewasbehoefte zo dicht mogelijk bij de mestsamenstelling zit (Bussink et al., 2011).
- **Bemestingstijdstip:**
Het duurt even voordat fosfor wordt vastgelegd in de bodem daarom treden fosforverliezen via run off vaak kort na bemesting plaats, zeker indien kort na bemesting een regenbui plaatsvindt (van der Salm et al., 2006). Het is dus aan te raden niet te bemesten voor een hevige regenbui. Daarnaast is bemesten op een verzadigde of bevroren bodem ten sterkste af te raden (Schoumans et al., 2011).
- **Plaatsen van bemesting:**
Zoals aangehaald in het deel over de mobiliteit van fosfor, is fosfor weinig mobiel in de bodem (Timmermans et al., 2012). Het is dus raadzaam fosfor zo dicht mogelijk bij de plantenwortels te brengen, dit is mogelijk via rijenbemesting. Uit onderzoek blijkt dat plaatsing van de mest een positief effect zal hebben naarmate de fosfaattoestand van de bodem lager is. Plaatsing zal niet altijd een opbrengstverhoging veroorzaken maar wel een lagere bemestingsdosis (van Dijk et al., 2007).
- **Inwerken van de mest**
Net zoals bij N-verlies treedt er minder P-verlies op indien mest wordt ingewerkt (Djodjic et al., 2002).

3.1.1.2 Fosforinhoud van dierlijk mest verlagen

Wanneer we er in slagen de fosforinhoud van dierlijk mest te verlagen zou de mest een betere C/P- en N/P-verhouding hebben. Dit betekent een beter aangepaste bemesting en een vollediger invulling van plaatsingsruimte in de huidige wetgeving.

3.1.1.2.1 Door verlagen van fosfor in het diervoeder

Wanneer we de fosforinhoud van het diervoeder of de fosforefficiëntie van het dieet optimaliseren zal de N/P-verhouding van de mest verhogen (Maguire et al., 2005). Maguire et al. (2005) en van Krimpen et al. (2010) onderzochten vier methodes om via het rantsoen van dieren de fosforinhoud van de mest te verlagen:

- Het rantsoen nauwkeurig afstemmen op de behoefte van het dier naargelang zijn leeftijd. De fosforbehoefte van dieren varieert namelijk tijdens hun levensloop.
- Fytase toevoegen aan het rantsoen van varkens en pluimvee om de vertering van fytaat te verhogen. Fytaat is het deel van de fosfor in plantaardige grondstoffen dat niet beschikbaar is voor het dier. Door fytase toe te voegen aan het rantsoen wordt die fosfor beschikbaar gemaakt.
- Het fytaatgehalte in het rantsoen verlagen.
- Een beter verteerbaar rantsoen voederen.

In de biologische veehouderij is het niet toegestaan fytase of zuivere aminozuren te gebruiken, waardoor biologische veevoerders een hoger N- en P-gehalte heeft. Daarnaast hebben biologische dieren een hogere voederconversie. Om die twee redenen zijn de berekende P-excretie voor een biologisch dier per jaar veel hoger in vergelijking met gangbaar gehouden dieren. Zo'n 25 % hoger voor biologische vleesvarkens, 75 % voor biologische zeugen met biggen, 17- 26 % voor biologische leghennen en wel 105 % hoger voor biologische vleeskuikens (Bikker et al., 2013).

Het verlagen van het fosforgehalte in het veevoeder kan nuttig zijn, wel mag het fosforgehalte niet te laag zijn zodat de diergezondheid en productiviteit niet in het gedrang komen (van Krimpen et al., 2010).

3.1.1.2.2 Door mestverwerking

Via mestverwerking wordt fosfor selectief uit dierlijke mest verwijderd. Volgens vele studies heeft die manier van werken een zekere toekomst. Dit door de hoge kwaliteit van het bekomen product en de steeds minderende kwaliteit van de hedendaags gemijnde fosformeststoffen aldus Smil (2000). We bespreken voor kippenmest en varkensdrijfmest het proces en het kostenplaatje.

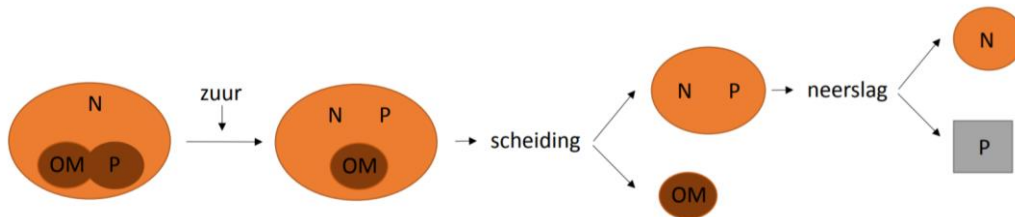
Quick wash:

Met de quick wash techniek kunnen we fosfor afzonderen uit mest en opslaan in een andere vorm. De ontwikkeling van de quick wash techniek staat beschreven in Bauer et al. (2007) en Szögi et al. (2008). De techniek bestaat uit 3 stappen: Fosforextractie, fosforrecovery en fosforverrijking.

- Fosforextractie: bij toevoeging van zuren wordt de organisch gebonden fosfor omgezet in oplosbare fosfor. Wanneer de pH van de mest onder 4,5 daalt is er zo'n 60-80 % van de totale fosfor opgelost, aangezien dan de anorganische fosfor ook in oplossing kan komen. Na het aanzuren wordt de vaste, fosforarme en koolstofrijke fractie van de vloeibare fractie gescheiden (Szögi & Vanotti, 2009).

- Fosforrecovery: een oplossing van 1,6 g $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{l}$ wordt toegevoegd aan de vloeibare fractie zodat de pH stijgt tot 8. Daardoor zal de fosfor neerslaan als calciumfosfaat. We hebben nu een vloeibare, fosforarme en stikstofrijke fractie en een fosforrijke, vaste neerslag (Szögi & Vanotti, 2009).
- Fosforverrijking: aan de vaste, fosforrijke neerslag voegt men een polyelektrolyt toe om de kwaliteit van het fosfor bevattend product te verhogen (Szögi & Vanotti, 2009).

Zoals in Figuur 3.1 aangegeven, bekomen we zo drie eindproducten: een fosforarme koolstofrijke vaste fractie (OM = organic matter (organische stof)), een fosforarme maar stikstofrijke fractie (N) én een fosforrijke vaste fractie (P).



Figuur 3.1: Vereenvoudigde voorstelling Quick wash techniek (Amery & Vandecasteele, 2015)

De quick wash techniek is zowel op kippen als op varkensmest toegepast en onderzocht.

Kosten-batenanalyse van Quick wash:

- Voor kippenmest, uitgevoerd door Szögi & Vanotti (2009):
De kostprijsberekening is gemaakt voor één ton kippenmest in de regio van South Carolina. Uit 1 ton kippenmest wordt 14 kg P of 32 kg P_2O_5 gehaald, dit heeft een meststofwaarde van € 56 (€ 1,75 /kg P_2O_5). De chemische kost bedraagt € 38,9, we bekomen zo een winst van € 56 - € 38,9 = € 17,1. Die winst is veel hoger dan de standaardprijs van 3 tot 6 € die landbouwers nu krijgen voor één ton kippenmest.
- Voor varkensmest, uitgevoerd door Szögi et al. (2015):
De kostprijsberekening is gemaakt voor 1 ton varkensdrijfmest met een samenstelling van 9,9 kg N en 16,3 kg P_2O_5 . Zo'n 80 % van de fosfor (13.0 kg P_2O_5) wordt uit de mest gehaald, dit heeft een meststofwaarde van € 19,76 (€ 1,52 /kg P_2O_5). De chemische kost bedraagt € 10,54 de winst bedraagt dus € 19,76 – € 10,54 = € 9,22.

In beide berekeningen hebben we nog een bijkomende winstfactor, namelijk de goede mest samenstelling van het overblijvend fosforarm en stikstofrijk product. In beide onderzoeken geven de auteurs wel aan nog geen rekening te houden met bijkomende kosten zoals de machines nodig voor de verwerking, transport, ... Over het algemeen geloven de auteurs dat er een mooie toekomst is weggelegd voor de techniek (Daumer et al., 2010 ; Szögi & Vanotti, 2009; Szögi et al., 2015).

Andere toepassing van mestaanzuring:

Naast het aanzuren van mest om fosfor te verwijderen, wordt mest ook aangezuurd om ammoniak- en methaanverliezen te beperken. Zo is er een ammoniak-emissieverlaging van 70 % in de stal en 67 % bij toediening van zwavelzuur aan varkensdrijfmest wanneer de pH onder 6 gaat (Kai et al., 2008). Een methaan-emissieverlaging tussen 67 – 87 % is waar te nemen wanneer runderdrijfmest een pH onder 5,5 bereikt (Petersen et al., 2012). Volgens Birkmose & Vestergaard (2013) is er een hogere stikstofwerking van de mest wanneer deze

is aangezuurd. Het aanzuren om een emissieverlaging te bekomen gebeurt in de stal, tijdens de opslag of bij toediening van de mest. Dit zouden we kunnen combineren met een fosforverwijdering, de mest moeten we dan niet verder aanzuren maar kunnen we meteen scheiden. Aanzuren van de mest heeft ook nadelen, zo zal de bodem verzuren bij toediening van de aangezuurde mest. De meeste bodems verzuren spontaan en krijgen dus bij voorkeur een eerder basische bemesting (Bussink et al., 2012). Bij het gebruik van aangezuurde mest zal de bodem dus vaker een bekalking nodig hebben, dit is in de kostprijberekening hierboven niet meegerekend.

3.1.1.2.3 Door filtratie

Uit een onderzoek van Penn et al. (2007) blijkt dat het mogelijk is fosfor uit runderdrijfmest te filteren. Met behulp van filters gemaakt van fosfor-absorberend materiaal. Via deze techniek is het mogelijk 60 % van de fosfor in de runderdrijfmest te verwijderen.

3.1.2 Organische reststromen

Organische reststromen zijn vaak afvalstromen uit de industrie zoals slachthuizen en voedingsindustrie, vaak hebben deze organische reststromen een gunstige N-P-K verhouding. Wanneer de organische reststromen van biologische oorsprong zijn en de landbouwer kan aantonen dat een bijbemesting hiermee noodzakelijk is, mag hij deze gebruiken. Zoals er staat in EG-verordening NR 834/2007 'Extra meststoffen, bodemverbeteraars en gewasbeschermingsmiddelen mogen alleen worden gebruikt wanneer zij verenigbaar zijn met de doelstellingen en beginselen van de biologische productie' (VERORDENING (EG) Nr. 834/2007 VAN DE RAAD van 28 juni 2007).

Enkele voorbeelden van organische reststromen met een gunstige N-P-K verhouding (Vandenberge et al., 2010):

- Verenmeel: bestaat uit verwerkte veren, heeft een gemiddelde werkingsnelheid (50% N gemineraliseerd na 3 maand), bestaat voor 90-95 % uit droge stof en heeft een N-P-K verhouding van 11/13-0/1-0/1. Wanneer er geen snelle werking nodig is, is verenmeel een prijsgunstige organische meststof.
- Haarmeel: bestaat uit verwerkte haren, de eigenschappen zijn gelijkaardig aan die van verenmeel. Verenmeel en haarmeel zijn dierlijke producten, daarom bevatten ze geen cellulose of lignine. Het draagt bijgevolg niet bij tot de opbouw van humus in de bodem.
- Bloedmeel: wordt bekomen door het vermalen van gedroogd bloed, heeft een snelle werking, bestaat voor 90-95 % uit droge stof en heeft een N-P-K verhouding van 12/14-0-0. Door de snelle werking en het hoge stikstofgehalte wordt het vaak ingezet om het gewas een stikstof-boost te geven. Net zoals bij veren- en haarmeel bevat bloedmeel geen cellulose of lignine, het draagt dus niet bij tot de opbouw van humus in de bodem.
- Sojaschroot (*Glycine max* L.), cacaodoppen, moutkiemen, vinasse, plantaardig digestaat,...

3.2 Groenbedekkers als oplossing voor de fosforproblematiek

Een groenbedekker is een 'tussengewas' in de vruchtwisseling met drie hoofdfuncties:

1. Het opnemen van restnutriënten, waaronder fosfor, die reeds aanwezig zijn of vrijkomen na mineralisatie. Zo dragen ze bij aan de vermindering van nutriëntenverliezen en kan het hoofdgewas deze nutriënten hergebruiken.
2. Het tegengaan van bodemerosie en -verstuiving door middel van bodembedekking met vegetatie en vasthouden van grond met wortels.
3. De opslag van OS in de bodem, wat de bodemstructuur, vruchtbaarheid, waterhuishouding,... ten goede komt.

Een groenbemester past dus perfect in een teeltsysteem waar ze streven naar behoud van bodemkwaliteit, een optimale sluiting van nutriëntenkringlopen en minimale externe input zoals het biologisch teeltsysteem (Thorup-Kristensen et al., 2012).

Een groenbemester wordt na -of in sommige gevallen ruim voor- de oogst van de hoofdteelt gezaaid en blijft op het land tot de volgende teelt wordt gestart (Thorup-Kristensen et al., 2012).

3.2.1 Soorten groenbedekkers

3.2.1.1 Bladrijke groenbedekkers

Bladrijke groenbemesters kennen een snelle bovengrondse groei met een daarbij gepaarde aanzienlijke stikstofopname. Door hun relatief lage C/N-verhouding zullen bladrijke groenbedekkers na onderwerpen relatief snel verteren zodat een vroege vrijstelling van stikstof kan plaatsvinden. In tegenstelling tot hun bovengrondse biomassa is de totale wortelmassa veel minder in vergelijking met andere groenbedekkers. Hierdoor is hun bijdrage aan de OS voorziening gering. Veel voorkomende bladrijke groenbedekkers zijn gele mosterd (*Sinapis alba* L.), bladrammenas (*Raphanus sativus* subsp. *oleiferus*), bladkool (*Brassica oleracea* L.) en facelia (*Phacelia tanacetifolia* Benth.) (Hermans et al., 2010).

3.2.1.2 Grasachtige groenbedekkers

Grasachtigen kunnen naast hun functie als veevoeder ook als groenbedekker dienst doen. Grasachtige groenbedekkers kennen door hun vlotte opkomst een hoge maar langzame N-opname. Een grasachtige zal bij een goede wortelontwikkeling een grote hoeveelheid OS toevoegen aan de bodem. De meest gebruikte grasachtige groenbedekkers zijn Italiaans raaigras (*Lolium multiflorum* Lam.), rogge (*Secale cereale* L.) en Japanse haver (*Avena strigosa* L.) (Hermans et al., 2010).

3.2.1.3 Vlinderbloemige groenbedekkers

Vlinderbloemigen komen in vruchtwisseling voor als hoofdgewas zoals erwt (*Pisum sativum* L.), grasklaver, soja (*G. max* L.), luzerne (*Medicago sativa* L.), ... of als groenbedekker zoals wikke (*Vicia sativa* L.), klaver (*Trifolium*),... Uniek aan de vlinderbloemige gewassen is de symbiose met stikstof-fixerende rhizobiumbacteriën. De bacteriën geven plantbeschikbare minerale N aan de plant en nemen hiervoor in ruil fotosyntheseproducten zoals glucose van de plant. De motor achter deze werking is het bacterieel enzymcomplex nitrogenase die de omzetting van N₂ naar NH₃ of andere plantbeschikbare mineralen katalyseert. Dit complex werkt enkel in anaerobe omstandigheden. Daarom gaan de bacteriën een symbiose aan met

de plant waardoor die wortelknolletjes vormt, die knolletjes hebben het geschikte milieu voor de werking van het enzymcomplex (Gage, 2004).

Een vlinderbloemig gewas voegt dus extra stikstof toe aan de bodem, zonder toevoeging van fosfor. Meer nog, het verhoogt de fosforopname voor het volggewas (van Wijk et al., 2014), dit komt later aan bod. Daarnaast zal het bij inwerken in de bodem OS aanbrengen. Het kan dus interessant zijn een vlinderbloemig gewas als groenbedekker, voor of na de hoofdteelt te gebruiken.

3.2.2 P-opname verhogen voor het volggewas

Groenbedekkers kunnen de opname van P voor het gewas dat erna geteeld wordt verhogen. Wanneer een groenbedekker gedurende zijn groei fosfor zal opnemen, wordt die fosfor in een organische vorm gebracht. Wanneer de groenbedekker wordt ingewerkt in de bodem zal door mineralisatie die P geleidelijk vrijkomen, en wordt zo beschikbaar gesteld voor het volggewas (Nuruzzaman et al., 2005).

Om dit principe in de praktijk te gebruiken is het belangrijk te weten welke groenbedekkers fosfor het efficiëntst benutten. In een studie van Wijk et al. (2014) wordt de opname van P₂O₅ en N bepaald voor 3 verschillende groenbedekkers. Ook wordt er een onderscheid gemaakt tussen percelen waar geploegd wordt en percelen waarbij niet-kerende grondbewerking wordt toegepast. Beide percelen hebben een gelijke bodem-P_w waarde van 28.

Tabel 3-1 Fosfaat- en stikstofopname en droge stof productie van groenbedekkers per grondbewerkingssysteem (van Wijk et al., 2014)

Grond-bewerking	groenbemesters	monster-name op*	P ₂ O ₅ -opname (kg/ha)	N-opname (kg/ha)	Droge stof prod (t/ha)
Ploegen	Ital. raaigras.	9-11-2012	38	84	6,2
Ploegen	gele mosterd	9-11-2012	19	61	1,8
Ploegen	geen groenbemester.	9-11-2012	0	0	0
Niet Ploegen	gele mosterd	27-11-2012	25	57	2,5
Niet Ploegen	Ital. raaigras	25-4-2013	23	55	3,1
Niet Ploegen	bonte wikke	25-4-2013	10	35	1,3
Niet Ploegen	geen groenbemester.	25-4-2013	0	0	0

Uit Tabel 3-1 blijkt dat op de geploegde percelen er een P₂O₅ opname is van 38 kg/ha voor Italiaans raaigras (*Lolium multiflorum* Lam.) en 19 kg/ha voor gele mosterd. Op de niet-geploegde percelen is er een P₂O₅ opname van 23 kg/ha voor Italiaans raaigras (*L. multiflorum* Lam.), 25 kg/ha voor gele mosterd en 10 kg/ha voor bonte wikke (*Vicia villosa* Roth.) (vlinderbloemige). Uit Tabel 3-1 blijkt eveneens dat de resultaten sterk samen hangen met de droge-stofproductie, hoe hoger de droge-stofproductie, des te hoger de P₂O₅ opname.

Niet alleen de fosfor aanwezig in de groenbemester zal de P-opname voor het volggewas verhogen. Door de toevoeging van plantenresten afkomstig van de groenbedekker zal de OS verhogen waardoor een betere structuur, vochtgehalte, ... ontstaat wat een positief effect heeft op de P-beschikbaarheid (Kirkby & Johnston, 2008).

Damon et al. (2014) stelt dat de bijdrage van gewasresten zeer variabel is en enkel van belang bij grote hoeveelheden gewasresten met een hoge fosforconcentratie. Horst et al. (2001) vindt de bijdrage die gewasresten leveren te klein in vergelijking met het effect van fosforbemesting.

3.2.3 Fosforverlies beperken met groenbedekkers

Doordat groenbedekkers zorgen voor een verhoogde P-opname, zou het logisch zijn dat ze ook zorgen voor een groter P-verlies door uitspoeling. Dit is een aanname die Vanden Nest et al. (2014) tegenspreken door de resultaten die uit hun onderzoek voortvloeien. Zo vergeleken ze het P-verlies van vier percelen groenbedekkers met het verlies dat zich voordoet bij een braakliggend perceel (controle). Uit de resultaten blijkt dat drie van de vier groenbedekkers zorgden voor een afname van het P-verlies, enkel zwarte haver had eenzelfde P-verlies als de controle. Dit komt volgens de auteurs doordat de vrijgekomen P door bodemmineralisatie bij braak uitspoelt en bij een groenbedekker wordt opgenomen. Een andere studie van Liu et al. (2015) kwam tot dezelfde vaststelling, zij stelden wel een grote variatie tussen verschillende groenbedekkers vast. Daarnaast stelden ze vast dat een groenbedekker in onderzaai het fosforverlies nog meer verminderde. Dit komt door de betere aansluiting op de vorige teelt en dus een langere groeiperiode.

Zoals vermeld in het hoofdstuk over uitspoeling van fosfor is erosie ook een factor die de mate van P-verlies door uitspoeling bepaalt. Door het telen van groenbedekkers wordt erosie en dus ook het P-verlies verminderd (De Baets et al., 2011).

3.3 Maaimeststoffen als oplossing voor de fosforproblematiek

Een maaimeststof is een snede van een groenbedekker, doorgaans een vlinderbloemige, die geoogst wordt om als bemesting op een ander perceel te dienen. De meest gebruikte maaimeststoffen zijn luzerne, klaver of grasklaver. Door vlinderbloemige maaimeststoffen toe te passen wordt een gedeelte van de stikstofbehoefte van de gewassen vervuld door gebonden luchtstikstof. Deze wordt dan niet meer extern via dierlijke - of kunstmest aangevoerd. Dit is positief voor de stikstof- en energiebalans op het bedrijf. Via deze manier wordt stikstof gegeven zonder een bijkomende fosfaatbemesting, wat met andere vormen van organische bemesting wel het geval is. Maaimeststoffen worden zowel vers, gedroogd als ingekuuld toegepast. Het maaimoment valt namelijk vaak niet samen met het moment van bemesten waardoor bewaring noodzakelijk is.

In een studie uitgevoerd door Nelissen et al. (2017) wordt de toediening van grasklaver zowel vers als ingekuuld onderzocht, dit met de nadruk op de N-werking. De N-werking van de maaimeststof is namelijk zeer bepalend voor functionaliteit ervan. De kwaliteit van de maaimeststof wordt uitgedrukt in C/N-verhouding, aangezien de C/N-verhouding de N-werking beïnvloedt. Wanneer de C/N-verhouding lager is dan 20 is er een netto N-vrijzetting en dus een hoge N-werking. Bij een C/N-verhouding tussen 20 en 30 is er een neutrale N-werking, de N-immobilisatie is dan gelijk aan de N-vrijzetting. Bij een C/N-verhouding hoger dan 30 is er een N-immobilisatie, dus een negatieve N-werking. Dit komt doordat N wordt geïmmobiliseerd om de grote hoeveelheden organisch materiaal af te breken. Naarmate de C/N-verhouding afneemt, verhoogt de N-werkingscoëfficiënt (Tabel 3-2). Hoewel de kwaliteit van de maaimeststof van belang is voor een goede N-werking, zijn factoren zoals bodemcondities, weersomstandigheden, wijze van inwerking... zeker even belangrijk. Dergelijke factoren zijn niet altijd onder controle, waardoor de N-werking moeilijk op voorhand te voorspellen is. Aangezien de N in het maaisel organisch is en het maaisel bijdraagt aan de opbouw van organische stof, verhoogt het stikstofleverend vermogen van de bodem, wat positief is op lange termijn. Bij de dosering van de maaimeststoffen geldt 'meten is weten', voor een correcte

dosering is een juiste inschatting van het droge stofgehalte van belang om overdosering te voorkomen.

Maaimeststoffen hebben een hogere N/P₂O₅-verhouding dan dierlijke mest, er wordt dus meer N per eenheid P aangevoerd. Zo varieert de N/P₂O₅-verhouding van maaimeststoffen tussen 2,3 en 4,5 afhankelijk van de toegepaste methodes (Tabel 3-2). Dit is beduidend hoger dan bij het reeds gunstige runderstalmest met een N/P₂O₅-verhouding van gemiddeld 2,4. Ook is de fractie ammoniakale N kleiner, hetgeen het risico op N-verliezen door vervluchtiging verlaagt. (Nelissen et al., 2017).

Tabel 3-2 Eigenschappen maaimeststoffen, elk met een verschillende behandeling. Grote verschillen in samenstelling door een verschil in toedieningsvorm en tijdstip. (Nelissen et al., 2017)

	Grasklaver	Bodemconditie	N werkingscoëfficiënt		N _{zaai} kg/ton vers	P kg/ton vers	P ₂ O ₅ kg/ton vers	K ₂ O kg/ton vers	MgO kg/ton vers	CaO kg/ton vers	Na ₂ O kg/ton vers	DS %	OS % droog	OS % vers	C/N	C/P	N/P	N/P ₂ O ₅	pH-H ₂ O	EC µS/cm	
			0-10 cm (%)	10-30 cm (%)																	
2015	ILVO	Gekuild	Geen compost	1.4	-2.5	8.7	1.2	2.8	11.0	1.2	3.3	0.7	28.7	84.6	24.3	15.6	111.3	7.1	3.1	4.9	2873
	ILVO	Gekuild	Compost	-2.3	5.8	8.7	1.2	2.8	11.0	1.2	3.3	0.7	28.7	84.6	24.3	15.6	111.3	7.1	3.1	4.9	2873
	Inagro_KT	Gekuild		4.8	2.3	8.7	1.2	2.8	11.0	1.2	3.3	0.7	28.7	84.6	24.3	15.6	111.3	7.1	3.1	4.9	2873
	Inagro_LT	Vers*	Kerend	47.7	33.9	9.9	1.0	2.2	13.1	1.4	4.3	0.3	29.8	89.4	26.6	15.0	151.7	10.1	4.4	5.9	5665
	Inagro_LT	Vers*	Niet-kerend	39.3	31.1	9.9	1.0	2.2	13.1	1.4	4.3	0.3	29.8	89.4	26.6	15.0	151.7	10.1	4.4	5.9	5665
	PCG_LT	Gekuild	Stalmest	30.2	26.4	14.7	1.4	3.3	14.0	2.3	4.9	1.0	39.7	85.8	34.1	12.9	131.8	10.2	4.5	5.5	1990
	PCG_LT	Gekuild	Compost	27.6	29.8	14.7	1.4	3.3	14.0	2.3	4.9	1.0	39.7	85.8	34.1	12.9	131.8	10.2	4.5	5.5	1990
	PCG_KT	Vers		33.8	48.1	4.7	0.5	1.1	5.1	0.0	6.9	1.1	12.3	87.5	10.7	12.8	125.4	9.8	4.3	5.9	2720
2016	ILVO	Gekuild	Geen compost	7.9	6.0	10.6	1.7	4.0	15.7	1.8	6.2	1.8	48.6	88.0	42.8	22.5	137.5	6.1	2.7	5.3	1945
	ILVO	Gekuild	Compost	8.2	5.4	10.6	1.7	4.0	15.7	1.8	6.2	1.8	48.6	88.0	42.8	22.5	137.5	6.1	2.7	5.3	1945
	Inagro_KT	Gekuild		22.7	25.3	19.3	3.1	7.2	30.9	2.7	8.0	0.6	72.3	87.1	63.0	18.2	112.0	6.2	2.7	5.9	1624
	Inagro_LT	Gekuild	Kerend	20.3	22.5	19.3	3.1	7.2	30.9	2.7	8.0	0.6	72.3	87.1	63.0	18.2	112.0	6.2	2.7	5.9	1624
	Inagro_LT	Gekuild	Niet-kerend	16.9	17.6	19.3	3.1	7.2	30.9	2.7	8.0	0.6	72.3	87.1	63.0	18.2	112.0	6.2	2.7	5.9	1624
	PCG_LT	Gekuild	Stalmest	-1.0	9.2	9.1	1.7	3.9	15.1	1.7	5.8	1.7	34.8	85.0	29.6	18.0	95.8	5.3	2.3	7.8	4180
	PCG_LT	Gekuild	Compost	-4.2	11.5	9.1	1.7	3.9	15.1	1.7	5.8	1.7	34.8	85.0	29.6	18.0	95.8	5.3	2.3	7.8	4180
	PCG_KT	Vers**		39.0	35.6	22.6	3.5	8.1	28.4	3.9	8.1	0.6	69.5	89.3	62.1	15.2	98.2	6.4	2.8	6.4	1625

*Licht ingedroogd; **Sterk ingedroogd.

3.3.1 Kostprijsberekening

De kostprijs van het gebruik van maaimeststoffen als bemestingsvorm wordt hieronder weergegeven aan de hand van twee verschillende studies:

- Kostprijsberekening van Nelissen et al., 2017: bij een productie van 11 ton droge stof grasklaver/ha is de kostprijs 4,0 €/kg N en 0,15 €/kg OS. Wanneer de grasklaver wordt ingekuild, komt er een inkuilkost bij waardoor de kostprijs dan 4,5 €/kg N en 0,16 €/kg OS bedraagt.
- Kostprijsberekening van Hospers-Brands et al., 2015: bij een productie van 11 ton droge stof grasklaver/ha met een stikstofgehalte van 2,8 % verkrijgt men 308 kg N. De arbeidskost per ha bedraagt € 150 voor zaaizaad en zaaien en € 400 voor het maaien en oprapen. Dit levert een kostprijs op van $\frac{€150 + €400}{308 N} = 1,79 \text{ €/kg N}$. Het inkuilen van de maaimeststof kost 300 € waardoor de kostprijs verhoogt tot 2,76 €/kg N. De kostprijs van de OS wordt hier niet berekend.

De kostprijs berekend door Hospers-Brands et al., 2015 is veel lager dan die berekend door Nelissen et al., 2017. Dit komt omdat bij Hospers-Brands et al., 2015 vaste kosten zoals pacht en andere algemene kosten niet meegerekend zijn, alsook zijn de andere kosten op een andere manier ingeschat.

In de kostprijsberekening van Nelissen et al., 2017 wordt de prijs vergeleken met de aankoopkost van een biologische plantaardige meststof OPF (11-0-5, 28 % OS). De prijs van 1 kg N aanwezig in de meststof is dubbel zo duur als 1 kg N in de zelfgeproduceerde maaimeststof en die voor OS zo'n 20 keer duurder.

Het produceren en gebruiken van maaimeststoffen kan dus een goed alternatief zijn in vele situaties. Wel is dit zeer bedrijfsgebonden en dus moeilijk te veralgemenen. Samengevat is de maaimeststof goedkoop (binnen de biologische landbouw), bevat het veel N en slechts een kleine hoeveelheid P en zorgt het voor een opbouw van effectieve organische stof. Nadelig is de moeilijke dosering en wisselende en moeilijk voorspelbare N-werking (Nelissen et al. 2017).

3.3.2 Maaimeststoffen in de praktijk

Om te achterhalen in hoeverre het toepassen van maaimeststoffen in de praktijk haalbaar is, komen twee zaken aan bod. Enerzijds een deskstudie van van Hamont et al. (2014) en anderzijds een interview afgenomen met een biologische akkerbouwer die al wat experimenteerde met maaimeststoffen.

Voorstelling biologisch akkerbouwbedrijf:

Het bedrijf omvat momenteel 70 ha biologische landbouwgrond. Het bouwplan is met 1 op 9 redelijk extensief en omvat pompoen (*Cucurbita maxima*), rode biet (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris* var. *Ruba*), aardappel (*Solanum tuberosum* L.), chicorei (*Chicorium intybus* L.), ui (*Allium cepa* L.), bruine boon (*Phaseolus vulgaris* L.), wortel (*Daucus carota* L. subsp. *sativus*), graan, grasklaver of luzerne. Momenteel wordt er nog biologisch gewerkt maar in de korte toekomst zou het bedrijf overgaan naar een biodynamische teeltmethode. Mede hierdoor lonkt de keuze voor maaimeststoffen.

De bemesting is momenteel een combinatie van biologisch dierlijk mest met OPF (biologische organische meststof) ter aanvulling. De OPF is relatief duur en biologische dierlijke mest is steeds moeilijker te verkrijgen. Voor de toekomst van het bedrijf ziet de landbouwer drie mogelijke scenario's:

- 1) Het vinden van een goed koppelbedrijf, een biologisch veebedrijf waarmee op lange termijn afspraken omtrent afname van mest kunnen gemaakt worden.
- 2) Zelf dieren houden om zo zelfvoorzienend te zijn. Dit is echter een grote verandering en gezien de steeds strengere regelgeving moeilijk haalbaar.
- 3) Inzetten op maaimeststoffen, deze piste wordt reeds onderzocht.

3.3.2.1 Hoe passen we maaimeststoffen toe?

Er zijn vier methodes om maaimeststoffen toe te passen binnen een bemestingsstrategie. Elk met hun voor- en nadelen, de ene wat praktischer dan de andere en elk met een verschillende kostprijs.

- Groenbedekker: Het niet maaien van een snede luzerne of grasklaver en deze na klepelen inwerken in de bodem. Hier wordt de maaimeststof geteeld op het perceel waarop het productiegewas gepland is. Hier kan de maaimeststof dus eerder bekeken worden als een groenbedekker.
- Vers: Het telen van een maaimeststof, deze maaien en hakselen waarna deze direct als vers product wordt uitgereden op een ander perceel. Hier dient de maaimeststof als een bemesting op een ander perceel waar een productiegewas gepland is of staat te groeien.
- Ingekuilde maaimeststof: Hier wordt de maaimeststof na het maaien ingekuild waarna het op een gewenst tijdstip voor het zaaien van het productiegewas wordt uitgereden.
- Gedroogde pellet: Hierbij wordt de maaimeststof na het maaien in een drogerij gedroogd en verwerkt tot pellet. Dit is een methode die reeds wordt toegepast bij de

voederwinning in de veehouderij. Het grote voordeel bij deze methode is de gemakkelijke toepassing ervan. Het kan eenvoudig verstrooid of zelfs als rijenbemesting toegepast worden. Daarnaast neemt het product door zijn geconcentreerde vorm weinig plaats in en is het goed te bewaren. Praktijkervaring is tot nog toe dat dit bij een voldoende bodemtemperatuur prima kan werken (van der Burgt, 2010).

3.3.2.2 Voor- en nadelen van maaimeststoffen

Voordelen

- Snelle stikstof-vrijgave. Binnen zo'n 6 weken is ruim 30 % van de stikstof reeds afgegeven. (van Hamont et al., 2014)
- Geen afvoer van mineralen. Mogelijkheid tot een gesloten en dieronafhankelijk systeem.
- Maaimeststoffen tellen niet mee in de wettelijke gebruiksruimte aangezien ze niet van buiten worden aangevoerd.
- De stikstof is aanwezig in organische vorm, daarnaast is de fractie ammoniakale N beperkt. Dit verkleint het risico op N-verliezen door uitspoeling of vervluchtiging.
- Bij inkuilen is slechts een beperkt verlies aan stikstof en andere nutriënten waargenomen.
- Maaimeststoffen dragen bij tot de OS-opbouw in de bodem. Hierdoor hebben ze een duidelijk positief effect op het bodemleven.
- Veel lagere risico's van schadelijke E-colibacteriën uit bijvoorbeeld dierlijke mest. Dit is vooral interessant voor de teelt van verse groenten waarbij voedselveiligheid van cruciaal belang is.
- Minder transport van en naar veehouderijen.
- Bij oplopende mestprijzen kunnen maaimeststoffen economisch interessanter zijn. Dit is sterk afhankelijk van vraag en aanbod, beschikbaarheid van mest vlakbij of ver weg. Door een negatieve biologische mestbalans kan dit dus in de toekomst wel het geval zijn.

Nadelen

- De organisatie van het bedrijf moet aangepast worden. Het teeltplan wordt extensiever waardoor bij het telen van minder hoog salderende gewassen er een negatief bedrijfsresultaat kan ontstaan.
- Te veel maaimeststoffen toepassen kan een inkuileffect in de bouwvoor veroorzaken en zal dan productieverlagend werken door een zuurstoftekort en stikstofonttrekking voor de vertering.
- Maaimeststoffen werken optimaal in aanwezigheid van voldoende vocht. Onder droge omstandigheden komt stikstof uit maaimeststoffen moeilijker vrij dan uit dierlijke mest.
- Bij het veelvuldig en exclusief toepassen van maaimeststoffen kan de aanvoer van andere nutriënten in het gedrang komen. Vooral de aanvoer van kalium kan een knelpunt vormen.
- De kosten per kg N zijn vooralsnog relatief hoog ten opzichte van dierlijke mest en in sommige gevallen ook ten opzichte van biologische organische meststoffen.
- Concurrentie met de veevoeders, een snede grasklaver of luzerne die gebruikt wordt als meststof kan niet als diervoeder dienen.

3.3.2.3 Maaimeststoffen in de praktijk volgens de landbouwer

De biologische akkerbouwer ziet het gebruik van maaimeststoffen op zijn bedrijf zeker zitten, al zijn er veel aspecten die dan zullen veranderen en zijn er nog veel onbekende factoren die nog bekeken moeten worden. Zo moet het kostenplaatje kloppen, moeten er nieuwe machines aangekocht worden om het praktisch uit te voeren en zal het bouwplan aangepast moeten worden. Zo zal een groot areaal 'bezet' zijn door luzerne of grasklaver waardoor er meer intensievere teelten op de overige grond zullen geteeld worden, zodat het totaalrendement niet zakt. De landbouwer geeft aan een sterke interesse te hebben in het toepassen van luzernepellets als bemesting. "Het gemak bij het toepassen, het bewaren en de beter te bepalen toegediende dosis zijn daarin doorslaggevend. Tot nu toe is de berekende kostprijs van de pellets te hoog in vergelijking met dierlijk mest of OPF, hierdoor dringt een omschakeling naar pellets zich nog niet op."

4 DOELSTELLINGEN EN ONDERZOEKSVRAGEN

Door veranderende regelgeving is er binnen de biologische landbouw vraag naar een duurzame bemestingsvorm. De huidige mestwetgeving gecombineerd met de vaak ongunstige N/P verhouding in dierlijk mest zorgen vaak voor een beperking in de hoeveelheid dierlijk mest dat gebruikt mag worden. Anders dan gangbare telers, kunnen biologische landbouwers geen kunstmatige stikstofmeststoffen gebruiken. Om deze reden worden maaimeststoffen steeds geschikter als stikstofbron. Ze kunnen namelijk worden ingezet om in de stikstofbehoefte van het gewas te voorzien, zonder de plaatsingsruimte voor fosfaat te overschrijden. Omwille van deze stijgende interesse voor het gebruik van maaimeststoffen is de doelstelling van deze thesis de haalbaarheid ervan te onderzoeken.

Er zijn twee grote onderzoeksvragen die we gedurende de masterproef moeten kunnen beantwoorden.

- Wanneer?: Welk tijdstip is het beste om maaimeststoffen toe te dienen, hoeveel weken voor het zaaien van de hoofdteelt? Om deze onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden wordt de maaimeststof op verschillende tijdstippen toegediend.
- Wat?: In welke vorm dienen we de maaimeststof het beste toe? Gedroogd, vers of na inkuilen? Om deze onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden wordt de maaimeststof in twee verschillende vormen toegediend, in ingekuilde en verse vorm.

5 MATERIAAL EN METHODE

5.1 Veldproef

5.1.1 Locatie

De proeflocatie is gelegen in Sint-Pieters-Leeuw, een gemeente ten zuidwesten van Brussel. Het perceel is 1,50 ha groot, heeft een lemige bodemtextuur, is licht hellend en heeft een goede doorwatering. Het was tot 2013 weiland, hierdoor heeft het een koolstofgehalte van 1,73 %, wat relatief hoog is, de pH ligt in de streefwaarde. Het



Figuur 5.1: Locatie perceel (Sint-Pieters-Leeuw)

hoge koolstofgehalte gaat gepaard met een N-index van 212, wat relatief hoog is. Dit kan afwijkende resultaten geven en is dus iets waarmee we gedurende de verdere resultaten rekening mee moeten houden. Sinds 2005 wordt het perceel op een biologische wijze bewerkt. Het perceel is eigendom van een familiebedrijf met 6000 biologische leghennen. De mest die de dieren produceren wordt gebruikt als bemesting op hun akkerland. Hierdoor heeft het perceel een hoge fosfortoestand, waardoor het de hoogste fosfaatklasse heeft (klasse 4) en de toegelaten dosis mest beperkt is. Het proefveld wordt in het midden, op 40 en 31,5 m van de perceelsgrenzen geplaatst om nadelige effecten van kopakkers of schaduw van bomen uit te sluiten. Gedurende 2019 werd er winterrogge (*Secale cereale* L.) op het perceel geteeld, deze werd geoogst op 27 juli waarbij het stro gehakseld achterbleef op het land. Er werd beslist geen groenbedekker in te zaaien, maar de winterrogge (*S. cereale* L.) opnieuw te laten doorschieten. De rogge is gedurende het najaar echter slechts beperkt en onregelmatig opgekomen.



Figuur 5.2: Inplanting proefveld op 40 en 31,5 m van de perceelsgrenzen om randeffecten te vermijden

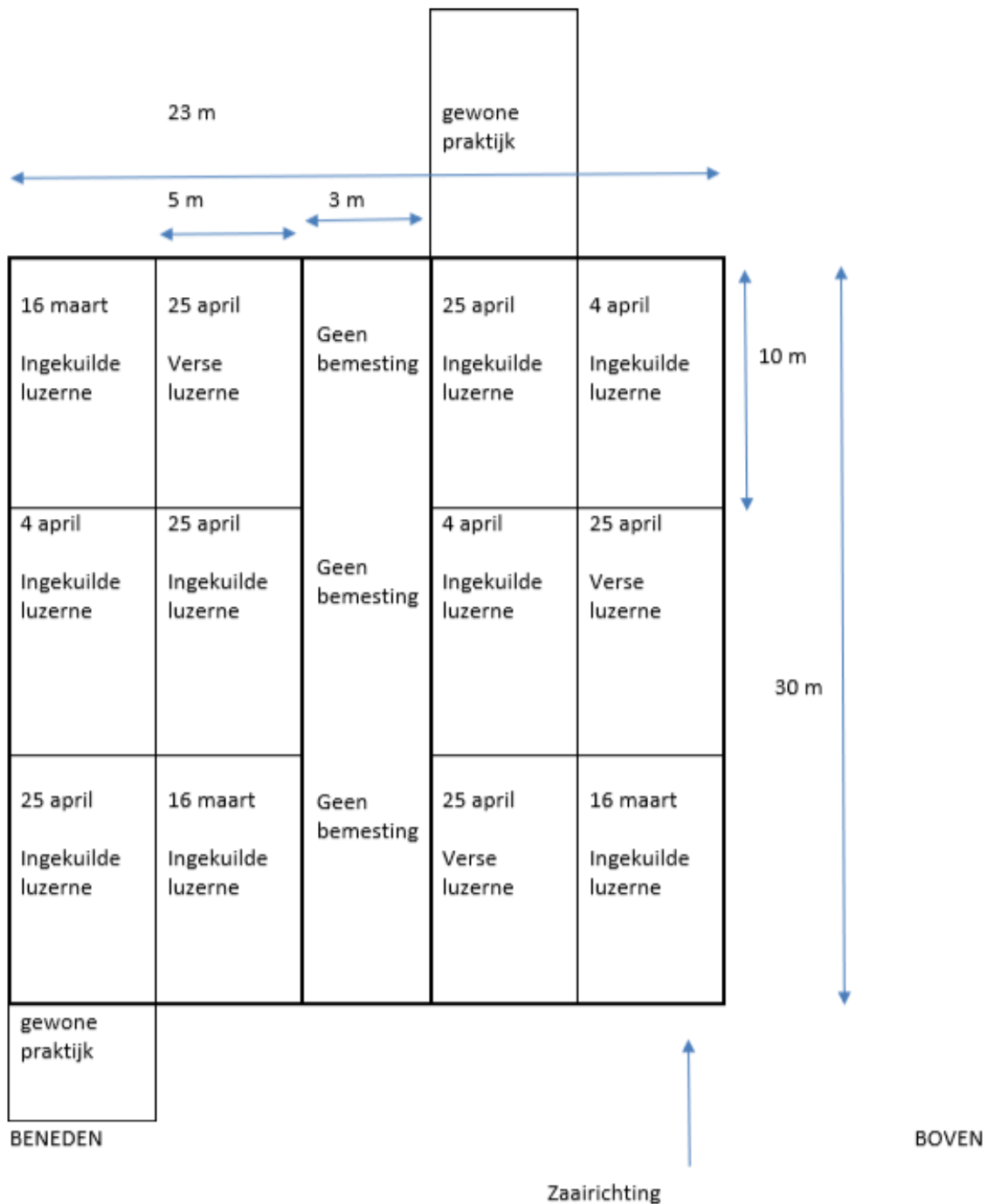
5.1.2 Proefopzet

Zoals eerder vermeld is het de bedoeling de haalbaarheid van het gebruik van maaimeststoffen als bemesting te achterhalen. Die haalbaarheid berust zeer sterk op de potentiële stikstofwerking van de maaimeststof, het is dan ook voornamelijk deze stikstofwerking die onderzocht wordt. De stikstofwerking wordt enerzijds in relatie tot het tijdstip van toediening en anderzijds in relatie tot de vorm van de maaimeststof bepaald. Om deze twee grote onderzoeksvragen te onderzoeken bestaat het proefveld uit vijf verschillende behandelingen, telkens met drie herhalingen, zie Tabel 5-1. Het betreft een eenjarige studie op nieuw aangelegde proefvelden waarop korrelmaïs (*Zea mays* L.) geteeld wordt, al dan niet bemest met de maaimeststof (luzerne).

Tabel 5-1: Voorstelling behandelingen

Behandeling	Bemesting	Tijdstip toediening
1	Ingekuilde luzerne	16 maart
2	Ingekuilde luzerne	4 april
3	Verse luzerne	25 april
4	Ingekuilde luzerne	25 april
5 (controlebehandeling)	/	/
Praktijk	20 m ³ runderdrijfmest/ha	10 april

De indeling van de proefveldjes ziet er als volgt uit:



Figuur 5.3: Indeling proefveldjes

Elk proefveldje is 5 m X 10 m = 50 m² groot, begrensd door een bemestingsvrije zone van telkens 0,3 m. Dit wil zeggen dat 4,4 m x 9,4 m = 41,36 m² van het proefveldje bemest wordt. In het midden van het proefperceel bevindt zich een strook van 3 m breed waar geen bemesting wordt toegepast, deze dient als referentie. Rondom het proefperceel wordt de gewone praktijk aangenomen, dit is een bemesting met biologische runderdrijfmest aan een dosis van 20 m³/ha. Runderdrijfmest heeft een forfaitaire/gemiddelde samenstelling van 4,8 kg N/ton en 1,4 kg P₂O₅/ton, de gewone praktijk is dus naar schatting bemest met 96 kg N en 28 kg P₂O₅/ha. (Vlaamse Landmaatschappij, 2018).

5.1.3 Resultaatbepaling en -berekening

De stikstofwerking van de toegediende bemesting wordt berekend aan de hand van volgende redenering:

	N aanwezig in luzerne (maaimeststof)	→	N-afgifte
Totale N =	N aanwezig in de maïsplant	→	N opname
	N aanwezig in de bodem	→	N afgifte door mineralisatie

In de controlebehandeling werd niet bemest, alle N in de bodem en in de maïsplant is N die is vrijgekomen door mineralisatie van bodemorganische stof. Er wordt vanuit gegaan dat in iedere behandeling dezelfde hoeveelheid N vrijkomt door mineralisatie van organische stof. De surplus aan N in de bodem enerzijds of in de maïs anderzijds bij de andere behandelingen zijn dus te wijten aan de toegediende bemesting. Hieruit wordt de N-afgifte van luzerne bepaald:

$$N_{\text{maïs+bodem}} \text{ bemestingsvariant} - N_{\text{maïs+bodem}} \text{ controle} = \text{N afgifte luzerne}$$

Verder wordt bij de resultaten de schijnbare stikstofefficiëntie (ANE) bepaald, deze geeft weer hoeveel kg DS-meeropbrengst er ontstaat bij toediening van 1 kg N. De meeropbrengst is in vergelijking met de controlebehandeling.

De waarden worden berekend volgens volgende formule:

$$\text{ANE (apparent N efficiency)} = \frac{(\text{DS opbrengst bemest gewas} - \text{DS opbrengst controle})}{\text{totaal toegediende hoeveelheid N}}$$

Naast de stikstofwerking wordt binnen dezelfde proefopstelling nog vijf andere parameters bepaald, namelijk de efficiëntie van de nutriëntenopname, de toegediende effectieve OS, de opbrengst, de productkwaliteit en het economisch kader.

- **Efficiëntie van de nutriëntenopname:**

Het is uiteraard de bedoeling dat de bemesting (in dit geval de maaimeststof) instaat voor een gedeelte van de nutriënten van de hoofdteelt. De mate waarin de hoofdteelt nutriënten kan opnemen is de nutriëntenopname efficiëntie. Deze wordt berekend aan de hand van verschillen in gewasonttrekking tussen het te onderzoeken object en de controle. Dit doen we door op verschillende tijdstippen het bovengrondse deel van de hoofdteelt te 'oogsten', waarna we de hoeveelheid en de inhoud ervan bepalen.

Om concreet de nutriëntenopname te berekenen, wordt steeds de formule beschreven door Schröder et al. (2013) gebruikt:

$$\text{Opname efficiëntie X} = \text{AXR (apparent X recovery)} = \frac{(\text{opname nutriënt X behandeling} - \text{opname nutriënt X controle})}{\text{Totaal toegediende hoeveelheid X}}$$

- **Toegediende effectieve OS:**

Doordat de opbouw van organische stof in landbouwbodems essentieel en zeer actueel is wordt bepaald hoeveel effectieve OS de maaimeststoffen aanbrengen. Dit gebeurt door het OS-percentages volgens gewasanalyse in rekening te nemen met de toegediende massa.

- Opbrengst:
De opbrengst van de hoofdteelt (korrelmaïs) wordt tussendoor en bij oogst bepaald aan de hand van massabepalingen van 5 willekeurig gekozen planten per proefperceeltje. Per onderzoeksobject wordt zo de opbrengst bepaald aan de hand van 15 willekeurig gekozen planten.
- Productkwaliteit:
De productkwaliteit van de hoofdteelt wordt bij de oogst bepaald aan de hand van gewasanalyse van willekeurig gekozen planten per proefperceeltje. Uit de gewasanalyse wordt door middel van het DS gehalte objectief de productkwaliteit beoordeeld ten opzichte van de productstandaarden.
- Economisch:
Om de rendabiliteit van het gebruik van maaimeststoffen te bepalen wordt een kosten-baten analyse opgesteld. Voor deze analyse wordt gebruik gemaakt van gemiddelde standaardkosten aangevuld met eigen opbrengstresultaten.

5.1.4 Aanleg proefveld

Op 16 maart werd het proefveld aangelegd door het uitpalen van de verschillende proefperceeltjes. Gelijkzeitig werd de eerste maal maaimeststof toegediend aan een dosis van 200 kg N/ha en oppervlakkig ingewerkt met een bakfrees. Uit gewasanalyse van de luzerne en rekening houdend met de oppervlakte van 1 proefperceeltje werd 56,49 kg ingekuilde of 207,27 kg verse luzerne afgewogen met een veldweegschaal en uitgestrooid op elk proefperceeltje. Aan een dosis van 200 kg N/ha wordt dan $200 \text{ kg N/ha} * 0,004136 \text{ ha} = 0,827 \text{ kg N}$ per proefveldje uitgestrooid. Volgens tabel 2 komen we zo aan bovenstaande hoeveelheid uitgestrooide luzerne. Bij elke dosering wordt uitgegaan van 100% N-werking.

Tabel 5-2: Samenstelling en toe te dienen massa luzernemaaisel

Luzerne	DS (%)	N op DS (%)	P op DS (%)	N per 100 kg product (kg) [DS * N op DS]	Toe te dienen massa luzerne (kg) [$\frac{0,827 \text{ kg N}}{N \text{ per } 100 \text{ kg product}} * 100$]
Ingekuild	61	2,40	0,299	1,464	56
Vers 3 ^e snede(15/07/19)	27,9	1,43	0,200	0,399	207
Vers 1 ^e snede(26/04/20)	24,7	3,7	0,361	0,9139	90

Aangezien de gewasanalyse van de verse luzerne die toegediend werd pas enige tijd na toediening zou gekend zijn werd reeds op 15 juli 2019 een analyse op de toen voorradige verse luzerne uitgevoerd. Vanuit die resultaten werd de benodigde hoeveelheid verse luzerne bepaald. Echter blijkt uit gewasanalyse van de werkelijk toegediende verse luzerne (1^e snede 2020) dat de resultaten niet helemaal in lijn liggen met deze van de gewasanalyse uit het voorgaande jaar (3^e snede 2019). Zo is het N-percentage van de toegediende verse luzerne 2,29 keer hoger dan deze van het eerste monster. Concreet wil dit zeggen dat de proefperceeltjes bemest met verse luzerne een bemesting kregen van 458 kg N/ha, en dus niet de beoogde dosis van 200 kg N/ha.

Een tweede en derde maaimeststof-toediening vond plaats op respectievelijk 4 april en 25 april. Enkel bij de derde toediening werden ook drie proefperceeltjes met verse luzerne bemest. Op 26 april werd de korrelmaïs gezaaid, enkele weken na het zaaien werd begonnen met de mechanische onkruidbestrijding. Op 3 juni, 4 juli en 17 augustus werden enkele maïsstengels van elk proefperceeltje reeds geanalyseerd om de verschillen in samenstelling te achterhalen. Gelijktijdig hiermee werd een N-staal genomen om de N-balans bij de verschillende bemestingstechnieken op te volgen. Bij de oogst op 14 september wordt de opbrengst bepaald en het gewas nogmaals geanalyseerd.

Tabel 5-3: Overzicht behandelingen met vorm, dosis en tijdstip van bemesting

Behandeling	Bemestingsvorm	Toegediende dosis N	Tijdstip toediening
1	Ingekuilde luzerne	200 kg N/ha	16 maart
2	Ingekuilde luzerne	200 kg N/ha	4 april
3	Verse luzerne	458 kg N/ha	25 april
4	Ingekuilde luzerne	200 kg N/ha	25 april
5 (Geen bemesting)	Geen	0 kg N/ha	/
Praktijk	20 m ³ runderdrijfmest/ha	96 kg N/ha	10 april

5.1.5 Veldwerk

5.1.5.1 N-staalname

Er werden bij op voorhand vastgelegde tijdstippen N- grondstalen genomen. Dit omwille van twee redenen:

- Voor het opvolgen van de N-balans alvorens de proef van start gaat:
Deze N-staalname gebeurde op 3 grondlagen (0-30, 30-60, 60-90 cm). Per staalname werden er 15 boorsteken genomen op minstens 25 m afstand van elkaar, door de mooie vorm van het perceel kon er in kruisverband bemonsterd worden.
- Voor het opvolgen van de N-balans bij de verschillende bemestingstechnieken:
Zoals aangegeven in tabel 1 zijn er vijf verschillende behandelingen in drie herhalingen. Per herhaling wordt een N-staal genomen, dit om eventuele variatie in het perceel te detecteren. Door het grote aantal proefperceeltjes werden er steeds 10 boorsteken per staalname genomen, dit in kruisverband op drie grondlagen en op minstens 50 cm van elkaar.

5.1.5.2 Uitpalen

Het uitpalen heeft 2 functies. Enerzijds het proefperceel een juiste plaats geven ten opzichte van het perceel en anderzijds het proefperceel correct opdelen in verschillende proefperceeltjes. Het is dan ook in die volgorde dat het uitpalen verloopt.

5.1.5.3 Luzerne toedienen en infresen

Eerst werd de benodigde hoeveelheid correct afgewogen, dit gebeurde met behulp van een veldweegschaal. Bij de ingekuilde luzerne werd de luzerne eerst uit de baal gehaald.



Figuur 5.4: Afwegen van de verse luzerne met een veldweegschaal



Figuur 5.5: De ingekuilde luzerne werd vooraleer het kon afgewogen worden uit de baal 'gestoken'

Na het afwegen van de benodigde hoeveelheid luzerne werd deze op hopen in het midden van het proefperceeltje gestort.



Figuur 5.7: Hoop afgewogen ingekuilde luzerne vlak voor het uitstrooien met de riek



Figuur 5.6: Hoop afgewogen vers luzernemaaisel vlak voor het uitspreiden, merk het veel grotere volume op ten opzichte van Figuur 5.7 met de ingekuilde luzerne

Nadien werd de luzerne gelijkmatig verspreid over het perceeltje, dit gebeurde met behulp van een riek.



Figuur 5.8: Resultaat na het uitspreiden van het luzernemaaisel

Na het verspreiden moest de luzerne zo homogeen mogelijk met de bodem vermengd worden. Dit gebeurde met behulp van een bakfrees. Initieel zou gewerkt worden met een volveds-frees maar omwille van de mindere nauwkeurigheid hiervan en het mogelijks 'bulldozer-effect' werd geopteerd voor een kleinere variant.



Figuur 5.10: Luzernemaaisel infresen met bakfrees



Figuur 5.9: Resultaat na het infresen, de bodem en luzerne zijn goed gemengd

5.2 Incubatieproef

Bij de incubatieproef werd verse en ingekuilde luzerne geïncubeerd in een referentiebodemp onder gecontroleerde omstandigheden van temperatuur, vochtgehalte en dichtheid. Dit gedurende 4 maanden waarbij elke 15 dagen een aantal monsters genomen worden om zo de hoeveelheid minerale N in de bodemp te bepalen. Door de minerale N gedurende 4 maanden op te volgen kan dan de mineralisatie van N uit de luzerne bepaald worden.

De incubatieproef werd uitgevoerd volgens het protocol voorgeschreven in de procedure voor de bepaling van snel vrijkomende organische stikstof BAM (2010). De analyses volgens de bemonsterings- en analysemethodes voor bodemp in het kader van het mestdecreet.

De bemestingsdosis bedroeg 170 kg N_{totaal}/ha, deze sluit het beste aan bij de praktijk. Om hieruit de hoeveelheid toe te dienen luzerne te bepalen, moesten we eerst de dosis omrekenen naar het volume van de incubatiecontainers (166,11 cm³) om zo de hoeveelheid toe te dienen stikstof te bepalen. Nadien kunnen we hiermee in combinatie met het N-gehalte van de luzerne uit tabel 2 de hoeveelheid toe te dienen luzerne bepalen.

- Bepaling toe te dienen hoeveelheid stikstof

166,11 cm³ droge grond werd bemest met een dosis van 170 kg N_{totaal}/ha.

We voegden daarom 0,019 g N toe aan de 233 g (schijnbare dichtheid van 1,4 kg/m³) droge grond:

170 kg N → 1 ha (100m * 100m * 0,15 m = 1 500 m³ = 1 500 000 000 cm³)

170 mg N → 1 500 cm³

↓ 0,170/1500
1,133... * 10⁻⁴ g N → 1 cm³

↓ *166,11
0,019 g N → 166,11 cm³

- Bepaling toe te dienen hoeveelheid luzerne
 - a. Behandeling 1 = Verse luzerne

DS = 20 % ; N_{totaal} = 4,3 % op DS → 4,3 * 0,20 = 0,86 % N_{totaal}

0,86 g N in 100 g vers product

0,0086 g N in 1 g vers product

↓ 0,019 g N per container/0,0086 g N per g product = 2,189 g product per container
0,019 g N → 2,189 g vers product

- b. Behandeling 2 = Ingekuilde luzerne

DS = 61 % ; N_{totaal} = 2,40 % → 2,40 * 0,61 = 1,464 % N_{totaal}

1,464 g N → 100 g ingekuild product

0,01464 g N → 1 g ingekuild product

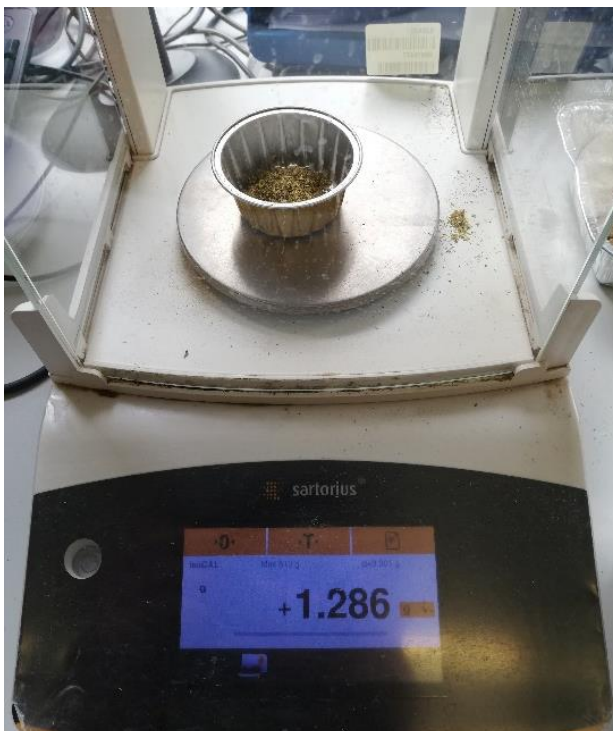
0,019/0,01464 = 1,2859 g

0,019 g N → 1,286 g ingekuild product

Bij het toedienen van de hierboven berekende hoeveelheid luzerne aan 233 g referentiebodem moet deze zeer fijngesneden zijn, dit is nodig zodat we het zo homogeen mogelijk kunnen inwerken met de bodem.



Figuur 5.11: Verse luzerne toegediend aan referentiebodem, net voor het homogeen inwerken



Figuur 5.13: Afwegen van ingekuilde luzerne



Figuur 5.12: Toedienen van ingekuilde luzerne, net voor het inwerken

Per behandeling vulden we 27 incubatiecontainers. Over een periode van 4 maanden werd bij de start en om de 15 dagen de minerale stikstof in iedere behandeling in 3 herhalingen gemeten. Naast de 2 behandelingen was er een referentiereeks van 27 incubatiecontainers zonder behandeling die dient als vergelijking. Na het vullen van de incubatiecontainers werd indien nodig de bodem bevochtigd totdat een vochtgehalte van 50 % watergevulde poriën bereikt werd.

Voor het berekenen van de netto hoeveelheid gemineraliseerde N wordt het mineraal N-gehalte in de behandelingen met toegevoegde meststoffen afgetrokken van het minerale N-gehalte in de blanco behandeling. Dit zoals weergegeven in onderstaande formule.

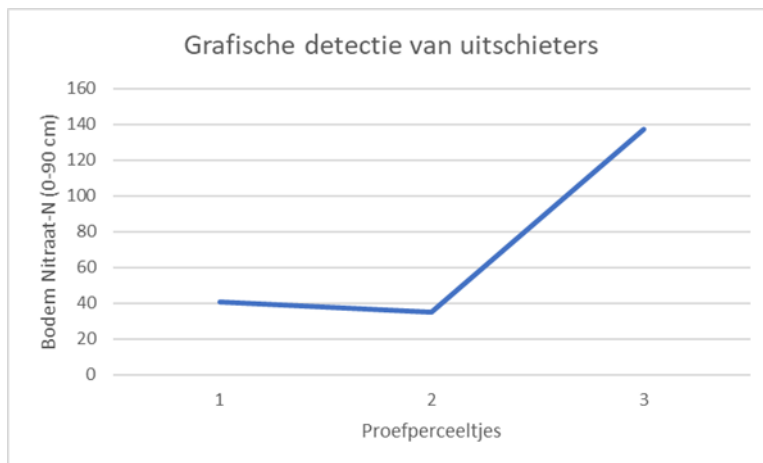
$N_{\text{mineraal}} \text{ bemestingsvariant} - N_{\text{mineraal}} \text{ controle} = \text{N-afgifte luzerne}$

Nadien werd dit resultaat uitgedrukt als een percentage van de totale stikstof toegevoegd door de meststof.

5.3 Detectie van uitschieters

Uitschieters werden telkens gedetecteerd door middel van het grafisch uitzetten van de data. Wanneer bepaalde gegevens niet in dezelfde lijn of in de te verwachte lijn lagen werden deze uit de data verwijderd. Daarnaast werd er voor de uitschieters telkens een mogelijke verklaring gezocht om zo fouten te vermijden. De werkwijze werd voor zowel de veldproef als de incubatieproef gebruikt. De meest voorkomende verklaring is het verschil in onkruiddruk en het verschil in standdichtheid van de maïs in de veldproef.

In Figuur 5.14 wordt de werkwijze geïllustreerd. Het is duidelijk dat de waarde van de staalname op proefperceeltje 3 niet overeenkomt met deze van de andere 2 perceeltjes. Daarnaast is de standdichtheid van de maïs op dit proefperceeltje door een fout bij de mechanische onkruidbestrijding veel lager. Door het ontbreken van maïs wordt er daarom minder N uit de bodem onttrokken waardoor de gemeten nitraat waarde in de bodem hoger ligt. Om beide redenen werd de waarde van deze staalname niet gebruikt bij de verwerking van de resultaten.



Figuur 5.14: Staalname op 25 september van de drie proefperceeltjes van de behandeling 4 april ingekuild, laat duidelijk zien dat proefperceeltje 3 hier een afwijkend resultaat geeft. Dit werd gedetecteerd als een uitschieter en verwijderd uit onze data

Over het algemeen werden er relatief weinig waarden als uitschieter gedetecteerd. Hierdoor komen de verwerkte resultaten goed overeen met de reële waarden.

5.4 Statistische verwerking

De statistische verwerking van de resultaten is uitgevoerd met IBM SPSS Statistics 27. De statistische verwerking voor het N-verloop in de bodem, de N-accumulatie in het gewas, de stikstofwerking, de opbrengsten en de nutriëntenopname-efficiëntie werd uitgevoerd door middel van een variantie-analyse (One-Way ANOVA). Daarbij werd steeds een duncan-test met een significantieniveau van $p < 0,05$ uitgevoerd. Bij de vergelijking van verschillende bemestingsvormen zijn de resultaten als afzonderlijke datasets verwerkt. Berekeningen, grafieken en tabellen werden gegenereerd met Microsoft Excel.

6 RESULTATEN

6.1 Verschillen in samenstelling maaimeststof

Om een beter beeld te krijgen van de samenstelling van de maaimeststof werden meerdere gewasanalyses van de luzerne uitgevoerd. De resultaten hiervan staan in Tabel 6-1

Tabel 6-1: Samenstelling van luzerne op basis van eigen staalname. * deze waarde zijn gebruikt voor berekeningen van de hoeveelheid stikstof die werd toegediend

	Datum staalname	Droge stof (%)	EOS (%)	N _{totaal} (%)	P _{totaal} (%)	C/N
*Vers 1 ^{ste} snede 2020	26/04/2020	24,7	7,22	0,9139	0,0892	11,62
Vers 2 ^{de} snede 2020	1/06/2020	20	6,05	0,86	0,0702	10,35
*Ingekuild 3 ^{de} snede 2019	10/02/2020	61	18,46	1,464	0,182	18,54
Ingekuild 3 ^{de} snede 2019	15/07/2019	56	17,52	1,4224	0,1288	18,11

Uit Tabel 6-1 blijken drie mogelijke verschillen. Het verschil in samenstelling tussen verse en ingekuilde luzerne, tussen de verse luzerne onderling en tussen de ingekuilde luzerne onderling.

- Verschil tussen verse en ingekuilde luzerne:
We zien duidelijke verschillen in alle parameters tussen verse en ingekuilde luzerne. Zo is het droge stofgehalte van de ingekuilde luzerne bijna drie keer zo hoog als deze van de verse luzerne. Dit komt doordat enkele dagen voor het inkuilen de luzerne droogt op het veld, waardoor logischerwijs het droge stofgehalte stijgt. Doordat het DS-gehalte stijgt, ligt het effectieve organische stofgehalte ook veel hoger bij de ingekuilde luzerne. Dit komt doordat het EOS-gehalte wordt berekend door het OS-gehalte te vermenigvuldigen met de humificatiecoëfficiënt die voor luzerne 0,34 bedraagt (Inagro, 2011). Het OS-gehalte is op zijn beurt weergegeven als een procent van het droge stofgehalte. Doordat het OS-gehalte eenzelfde redelijk constante waarde van 89 % op DS heeft, is het dus vooral het DS-gehalte dat de waarde van het EOS-gehalte bepaalt. Daarnaast wordt duidelijk dat in tegenstelling tot het % N en P op DS zowel het totaal N als P-gehalte bij de verse luzerne lager ligt dan bij de ingekuilde. Ook hier kunnen we dit verklaren door het lagere DS-gehalte bij de verse luzerne. Omwille van het verschil in droge stof vinden we ook dat de C/N-verhouding van de ingekuilde luzerne met een waarde van zo'n 18,5 veel hoger ligt dan deze van verse luzerne met een C/N-verhouding van 11. Dit is te verklaren door het verlies aan nutriënten tijdens het inkuilen, dit is volgens Muck (1988) een normaal fenomeen. Wel is het zo dat een beter inkuilproces de verliezen kan doen verminderen.

- Verschil tussen verschillende sneden verse luzerne:
We vergelijken hier de eerste en tweede snede van 2020 van een biologisch luzerneperceel dat voor het vierde jaar in productie ligt. We zien dat de eerste snede een iets hoger totaal gehalte aan stikstof, fosfor, droge stof en effectieve organische stof heeft dan de tweede snede. Daarnaast zien we dat de C/N-verhouding van de eerste snede lichtjes hoger ligt dan die van de tweede. Deze resultaten liggen in dezelfde lijn als deze van de studie van Getachew et al. (2018) waarbij de eerste en derde snede van verschillende luzernevariëteiten met elkaar vergeleken worden.

- Verschil tussen jong en oude ingekuilde luzerne :
Hier vergelijken we voor beide gewasanalyses de derde snede van 2019. De ene gewasanalyse werd uitgevoerd kort na het inkuilen, de andere zo'n zeven maanden later. We zien een lichte daling van al de gehalten weergegeven in Tabel 6-1 naarmate het inkuilen langer duurt. De C/N-verhouding blijft redelijk constant. Deze resultaten zijn gelijklopend met wat er in de literatuur te vinden is over de invloed van inkuilen op de chemische samenstelling van luzernemaaisel. Zo is het verlies aan eerder vermelde gehalten volgens Muck (1988) een normaal fenomeen. Wel is het zo dat een beter inkuilproces de verliezen kan doen verminderen.

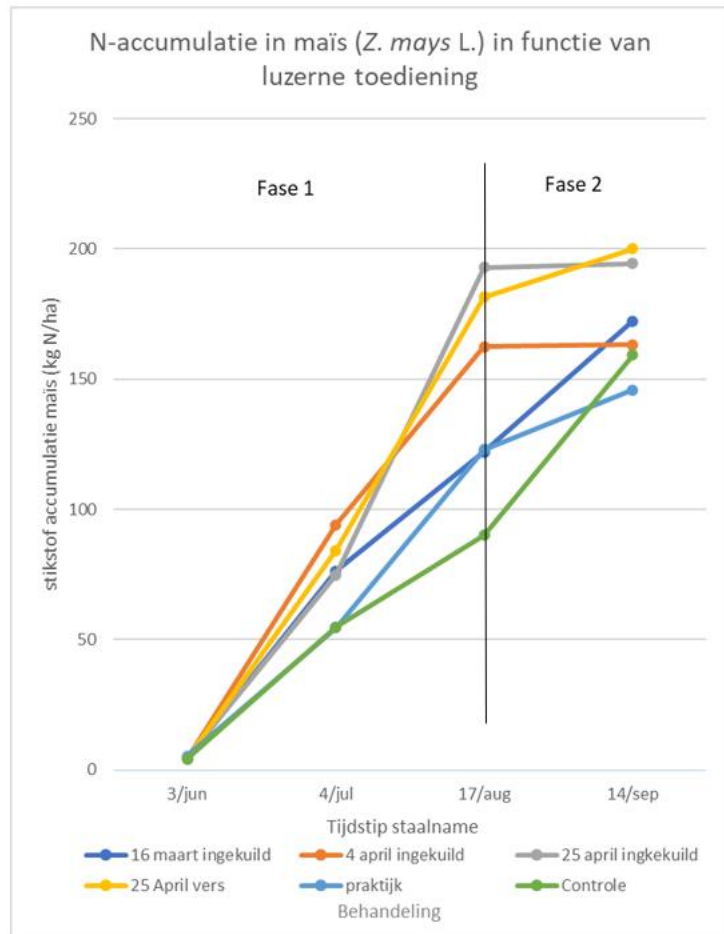
6.2 Stikstofwerking van maaimeststoffen

De veldproef werd aangelegd om de N-werking van de verschillende behandelingen te achterhalen waarin luzerne als maaimeststof werd toegediend op verschillende tijdstippen (16 maart, 4 april en 25 april) en in verschillende vorm (vers of ingekuild). Hiervoor werden in een tijdspanne van zo'n 17 weken per herhaling 4 N-staalnames van de bodem en 4 gewasanalyses van de maïs doorheen de tijd uitgevoerd. Eerst bekijken we hoeveel N de maïs heeft opgenomen, dit kunnen we bepalen aan de hand van gewasanalyses en de gewasgroei. Nadien vinden we uit de N-voorraad in de bodem het N-verloop. Uit deze twee gegevens kunnen we tenslotte de mogelijke N-werking van de maaimeststof achterhalen.

6.2.1 Stikstof-accumulatie in maïs

De grafiek geeft weer hoeveel N de maïsplant opneemt, uitgedrukt in kg/ha. Deze grafiek kunnen we visueel opdelen in twee fases.

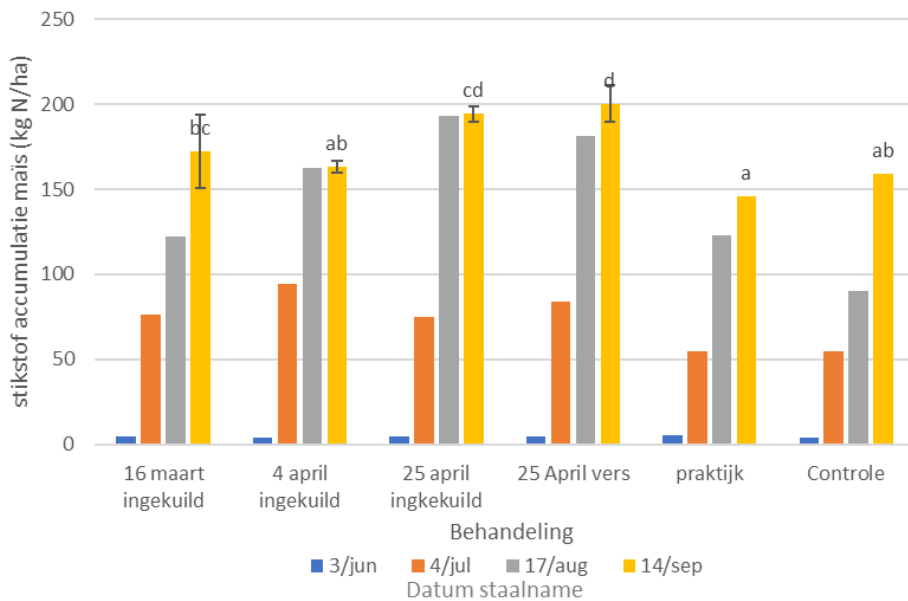
- Fase 1, lopende van 3 juni tot 17 augustus. Hier neemt de maïsplant al van bij de eerste staalname (≠ start groei) veel N op. Naargelang het einde van deze fase nadert, tekenen er zich steeds duidelijkere verschillen tussen de behandelingen af, dit omwille van het verschil in groeisnelheid. Zo zien we dat op 17 augustus de N-accumulatie voor de behandelingen 25 april ingekuuld en 25 april vers zo'n tweemaal hoger lag dan de controle.



Figuur 6.1: Accumulatie van stikstof in maïs in functie van de toegepaste behandeling

- Fase 2, van 17 augustus tot de laatste staalname. In deze fase zien we twee fenomenen. Het eerste waarbij voor behandelingen 25 april vers, 25 april ingekuuld en 4 april ingekuuld de N-accumulatie ongeveer stilvalt door het afrijpen van het gewas. Bij de andere drie behandelingen zien we een blijvende stijging van de N-accumulatie, dit kan wijzen op een latere afrijping door onderontwikkeling tijdens de eerste fase. Het zijn namelijk de drie behandelingen die in de eerste fase achter bleven die nu blijven stijgen en zo een inhaalbeweging maken. Door de stijging van deze laatste behandelingen wordt het uiteindelijke verschil tussen de behandelingen in N-accumulatie weliswaar kleiner. Hierdoor kunnen we voor een aantal behandelingen geen significante verschillen waarnemen. Niettegenstaande is de N-accumulatie van behandelingen 25 april vers en 25 april ingekuuld significant hoger dan deze van de controle. De behandelingen 4 april ingekuuld, praktijk en controle zijn weliswaar niet significant verschillend. Deze tweede fase in N-accumulatie viel daarnaast ook in een relatief droge periode. Hierdoor kan het zijn dat de N-opname niet beperkt werd door N-beschikbaarheid, maar eerder door een gebrek aan waterbeschikbaarheid.

N-accumulatie in maïs (*Z. mays* L.) in functie van luzerne toediening

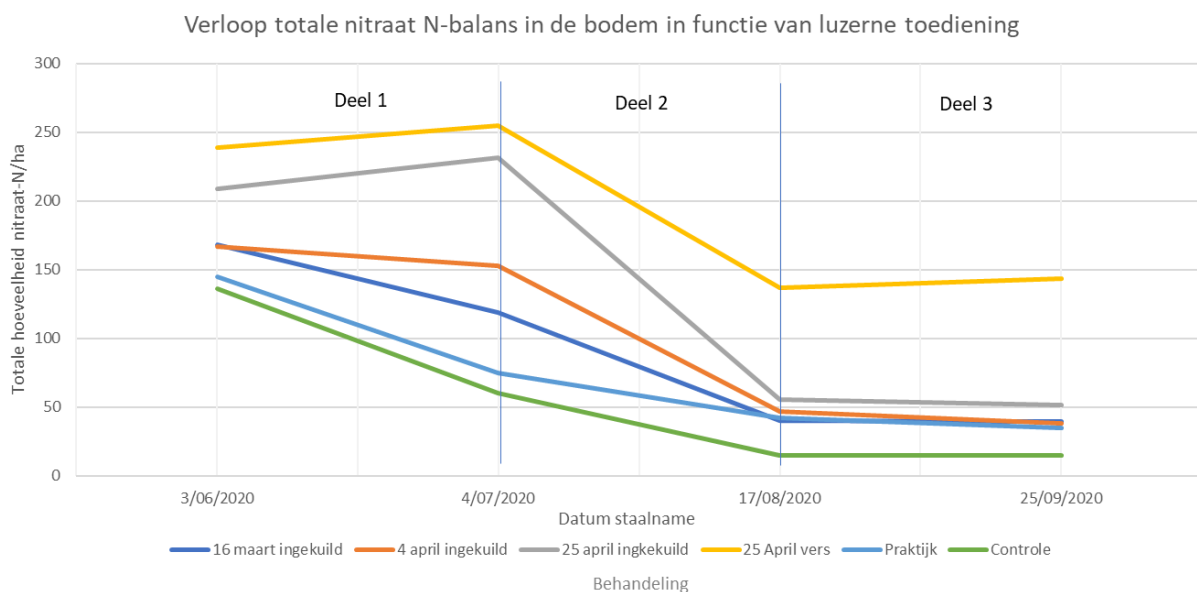


Aantal herhalingen	16 maart ingekuild	4 april ingekuild	25 april ingekuild	25 april vers	Praktijk	Controle
3/06/2020	3	3	3	3	1	3
4/07/2020	3	3	3	3	1	3
17/08/2020	3	3	3	3	1	3
25/09/2020	2	2	2	2	1	3

Figuur 6.2: Accumulatie van stikstof in maïs in functie van de toegepaste behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$). De tabel geeft het aantal herhalingen weer. De verticale strepen tonen de standaarddeviatie binnen een behandeling

6.2.2 Stikstofverloop in de bodem

Het N-verloop is weergegeven in Figuur 6.3. Voor de bespreking hiervan splitsen we deze op in drie delen.



Figuur 6.3: Verloop totale nitraat-N voorraad in de bodem van 0-90 cm in functie van de toegepaste behandeling, zeer grote verschillen tussen de staalnamemomenten

In deel één, het gedeelte tussen de eerste en tweede staalname op respectievelijk 3 juni en 4 juli zien we meteen een duidelijk en significant verschil tussen de behandelingen in aanwezige N en N-verloop.

Zo zien we dat het N-gehalte voor de behandelingen praktijk en controle het laagste liggen waardoor we een duidelijk dalende trend in N-verloop waarnemen. Deze dalende trend wijst op een hogere N-opname door de maïsplant dan N-vrijgave. Er is hier geen aantoonbaar verschil tussen de beide behandelingen.

Daarnaast zien we dat de N aanwezig in de behandelingen “25 april ingekuilde” en “25 april vers” significant hoger ligt dan bij de andere behandelingen. Alsook kent het N-verloop bij deze twee behandelingen een stijging. Deze stijging kan te wijten zijn aan de toegepaste bemesting en wijst op een hogere N-vrijgave dan N-opname door de maïsplant. Tussen de twee behandelingen onderling lijkt het N-gehalte in de bodem voor 25 april vers visueel hoger te liggen, al is dit niet statistisch significant aantoonbaar. De behandelingen “16 maart ingekuild” en “4 april ingekuild” hebben een significant lager N-gehalte dan de twee hierboven beschreven behandelingen, maar een hoger N-gehalte dan behandelingen praktijk en controle (0-bemesting). Ook zien we dat het N-verloop hier eerder constant is, op dit punt is de N-afgifte door mineralisatie in de bodem en maaimeststof dus gelijk aan de N-opname door de maïsplant. Tussen de beide behandelingen is er geen aantoonbaar verschil.

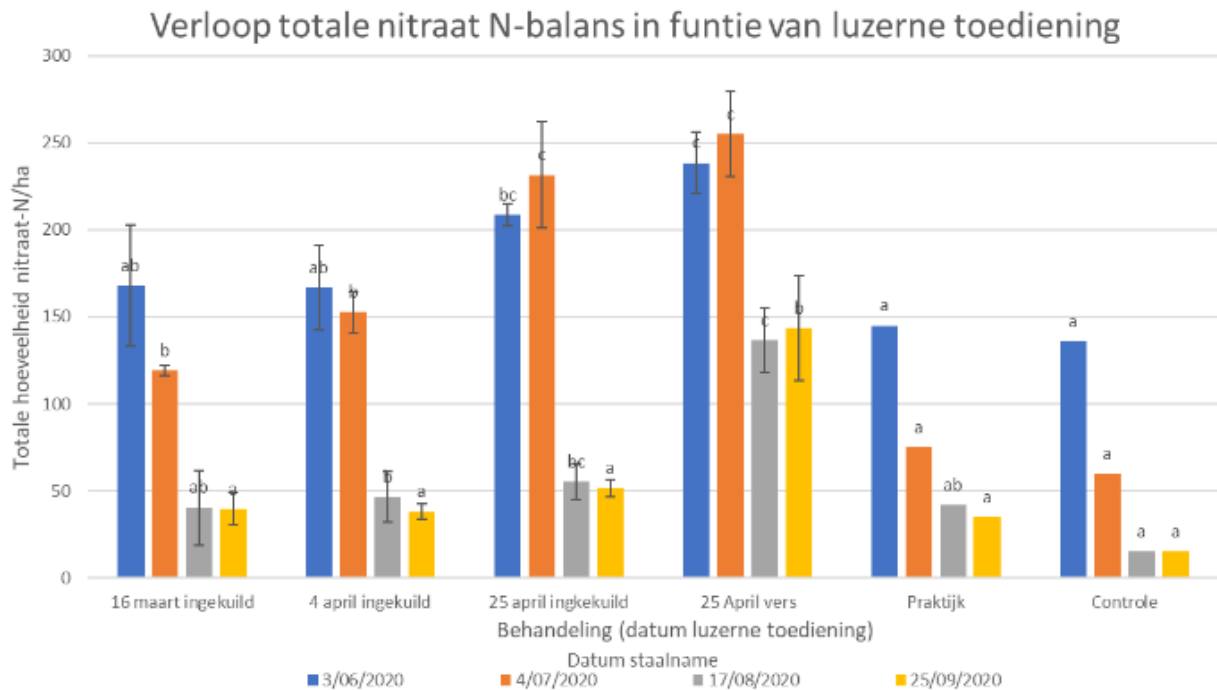
Deel twee is afgebakend tussen de staalname op 4 juli en deze op 17 augustus. In deze periode van de proef daalt het N-gehalte in de bodem van alle behandelingen zeer duidelijk. Deze daling heeft twee oorzaken. Enerzijds hebben we in deze periode een hoge N-opname van de maïs, zoals blijkt uit de N-accumulatie in de maïsplant (Figuur 6.1). Anderzijds was het deze periode zeer droog waardoor mineralisatie sterk verminderde en er dus minder N vrijgekomen is. Door deze sterke daling liggen de N-gehalten bij de verschillende behandelingen op 17 augustus dicht bij elkaar waardoor er amper significante verschillen waarneembaar zijn. Enkel behandelingen 25 april vers en controle vertonen een duidelijk hoger en respectievelijk lager N-gehalte.

Op het einde van de proef, in deel drie blijft het N-gehalte in de bodem bij elke behandeling relatief constant. Hier is dus de N-afgifte door mineralisatie in de bodem en eventuele meststof gelijk aan de N-opname door de maïsplant. Dit komt doordat de maïs afrijpt en dus niet veel N opneemt. Ook hier zien we dus weinig significant aantoonbare verschillen tussen de behandelingen. Enkel behandeling 25 april vers heeft zoals bij ieder staalname moment een hoger N-gehalte. Dit is logisch te verklaren door de veel hogere dosis die deze behandeling kreeg (457,99 kg N/ha i.p.v. 200 kg N/ha).

Algemeen zien we volgende trends uit het N-verloop naar voor komen:

- Bij latere toediening van de maaimeststof (dichter bij de zaai) is er een hoger N-gehalte in de bodem.
- De behandeling met verse maaimeststof heeft een hoger N-gehalte in de bodem. Deze behandeling kreeg echter een hogere N-bemesting dan de andere behandelingen, waardoor voorlopig niets besloten kan worden over de N-efficiëntie van verse luzerne. Hier wordt later op ingegaan bij de N-efficiëntie van de maaimeststof.
- Het N-gehalte in de bodem bij de onbemeste controlebehandeling ligt steeds lager, hoewel niet altijd significant.

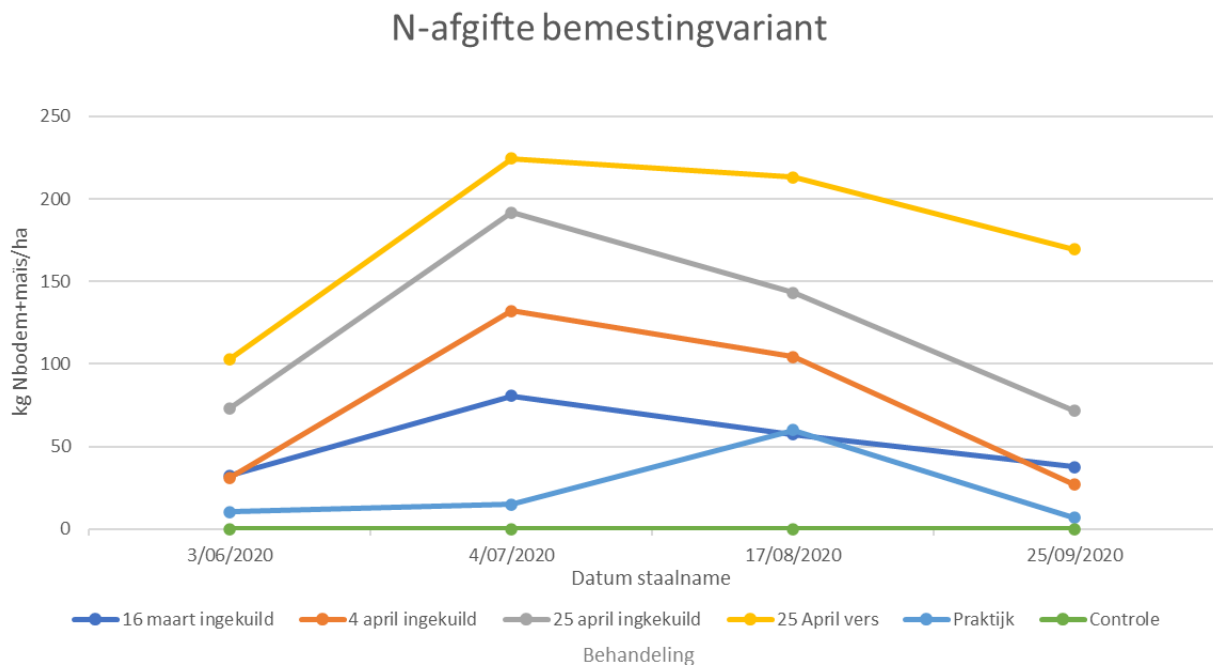
- De praktijkbehandeling met een lage N-bemesting (96 kg N/ha) ligt vaak in dezelfde lijn als de controle.



Aantal herhalingen	16 maart ingekuuld	4 april ingekuuld	25 april ingekuuld	25 april vers	Praktijk	Controle
3/06/2020	3	3	2	2	1	3
4/07/2020	2	3	2	3	1	3
17/08/2020	3	3	3	3	1	3
25/09/2020	2	2	2	2	1	3

Figuur 6.4: Verloop van de totale nitraat N-voorraad in de bodem van 0-90 cm in functie van de toegepaste behandeling. De significante verschillen zijn steeds bepaald tussen het staalnametijdstip per behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$). De tabel geeft het aantal herhalingen weer. De verticale strepen tonen de standaarddeviatie binnen een behandeling.

6.2.3 Stikstofwerking van de maaimeststof

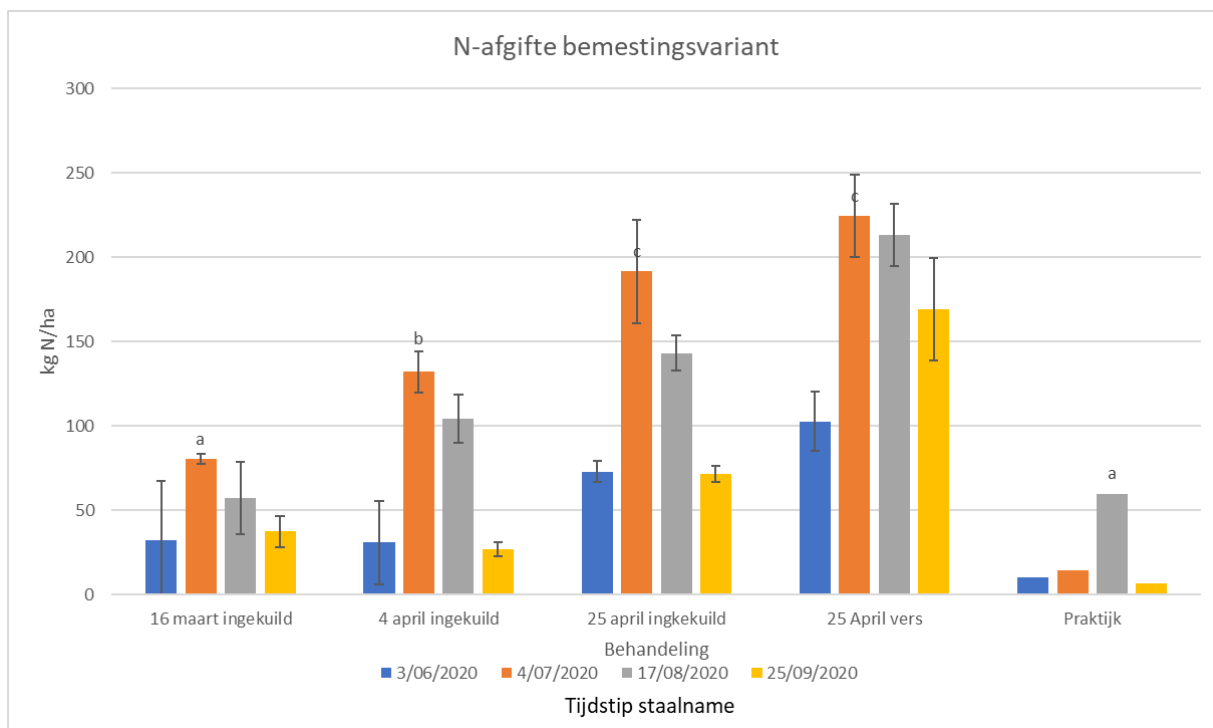


Figuur 6.5: Iedere curve geeft de stikstofafgifte van een bemestingsvariant weer

Figuur 6.5 geeft de N-afgifte van de luzerne weer, dit als meerwaarde tegenover de N-vrijgave in de controlebehandeling.

In Figuur 6.5 zien we dat bij elke bemestingsvariant de N-vrijgave een maximum bereikt, gevolgd door een dalende lijn. Hieruit kunnen we besluiten dat na de piek de N-afgifte door de bemesting lichtjes daalt. De piek in N-afgifte bevindt zich bij de luzerne reeds zeer vroeg en valt ongeveer rond 4 juli. Voor de praktijkbehandeling waarbij 96 kg N runderdrijfmest/ha gegeven werd, bevindt de piek zich later: eerder rond 17 augustus.

De waargenomen piek in N-afgifte geeft ook meteen de totaal afgegeven N weer. Die ligt bij de verse luzerne visueel, maar niet significant hoger, dit omwille van de hogere toegediende dosis. Bij de ingekuilde luzerne zien we dat de afgegeven N significant hoger is naarmate de luzerne later is toegediend. Een mogelijke verklaring hiervoor is de N opname bij de vertering van de maaimeststof. Hoe vroeger de maaimeststof wordt toegediend, hoe hoger deze vertering zal zijn.



Figuur 6.6: Stikstofafgifte van de verschillende bemestingsvarianten. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$). De verticale strepen tonen de standaarddeviatie binnen een behandeling

Tabel 6-2: Overzicht van de toegediende N- dosis, N-afgifte en stikstofwerkingscoëfficiënt in functie van de behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$)

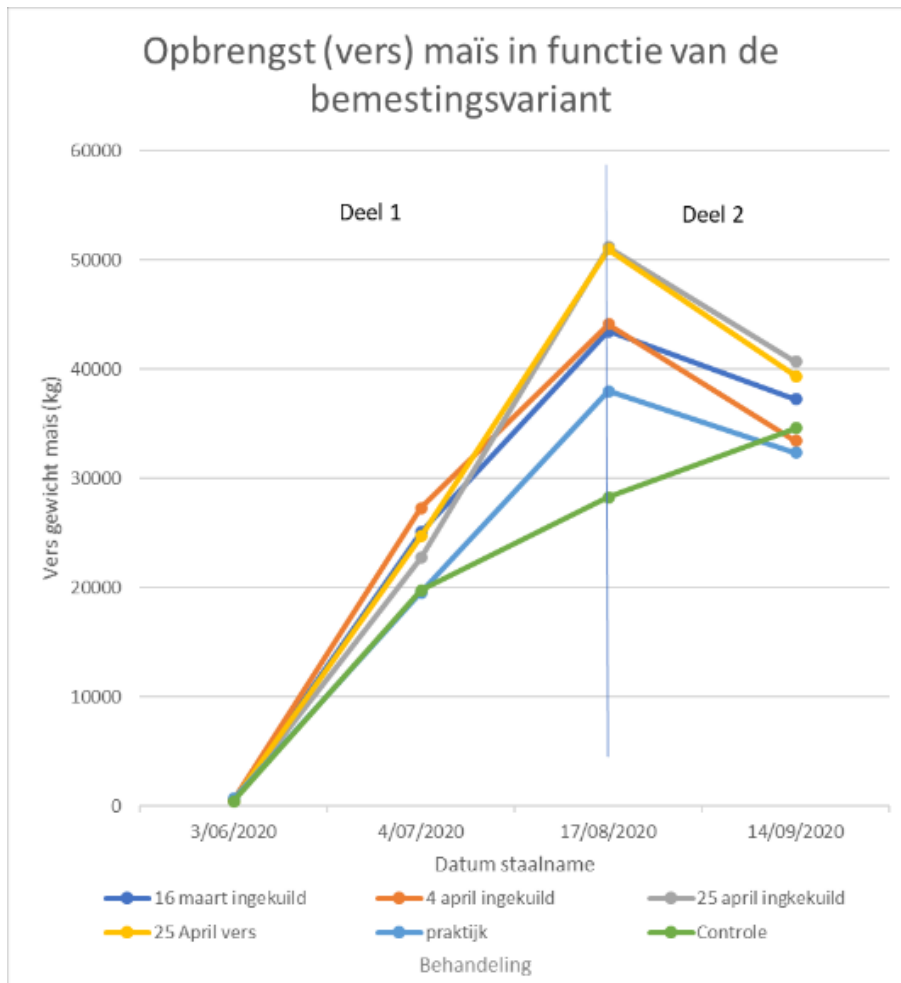
Behandeling	Dosis (kg N/ha)	Stikstofafgifte (kg N/ha)	Werkingscoëfficiënt (%)
16 maart ingekuild	200	80,6 a	40,3
4 april ingekuild	200	132,1 b	66,05
25 april ingekuild	200	191,6 c	95,8
25 april vers	457,99	224,5 c	49,02
Praktijk	96	60 a	62,5

In Tabel 6-2 staat de N-afgifte naast de toegediende dosis. De stikstof-werkingscoëfficiënt is het aandeel N-afgifte ten opzichte van de totale toegediende N. Deze geeft weer hoeveel van de toegediende N er daadwerkelijk is vrijgekomen. Hieruit blijkt dat een latere toediening van ingekuilde luzerne de vrijgave positief bevordert van 40% bij toediening in maart naar 96% bij toediening eind april. Met andere woorden: bij een toepassing dicht bij de zaai, kon bijna alle N uit de luzerne benut worden.

Daarnaast zien we dat de verse luzerne toegediend op 25 april een veel lagere N-werkingscoëfficiënt heeft dan de ingekuilde luzerne toegediend op hetzelfde tijdstip. De hogere N-voorraad in de behandeling was dus niet zozeer het gevolg van een betere N-werking, maar van de hoge dosis. Tot slot hebben we een berekende N-werkingscoëfficiënt van 62,5 % voor de praktijkbehandeling waar we runderdrijfmest toepaste, dit cijfer komt goed overeen met de forfaitaire richtwaarden van 60% die geldt voor vloeibare dierlijke mest (Vlaamse Landmaatschappij, 2020).

6.3 Opbrengst

6.3.1 Verse opbrengst



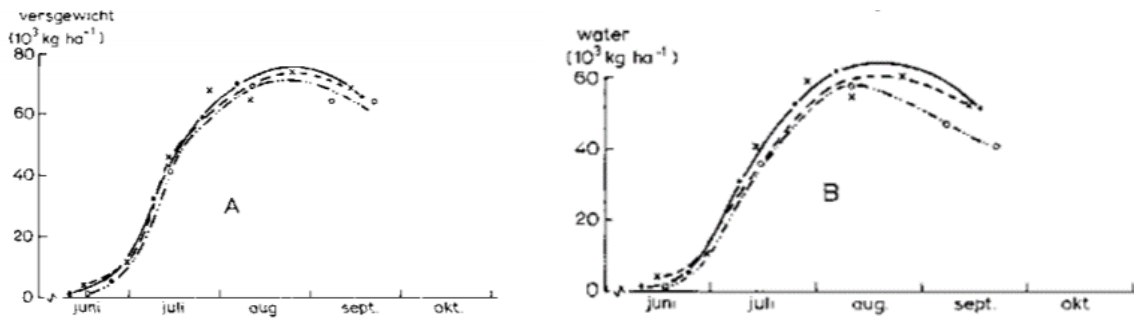
Figuur 6.7: Verse opbrengst van maïs in functie van de behandeling

De verse biomassa van de maïs werd gedurende de proef drie keer tijdens de groei per behandeling bepaald en op het einde van de proef per herhaling tijdens een eigenlijke opbrengstbepaling. Uit de resultaten hiervan komt Figuur 6.7.

Ook Figuur 6.7 kunnen we in twee verdelen:

Bij het eerste deel van de grafiek (tot 17 augustus) stijgt de massa verse maïs voor iedere behandeling zeer sterk. Net zoals bij Figuur 6.1 omtrent de N-accumulatie kunnen we pas op het einde van dit deel echte verschillen waarnemen. Zo is de verse massa maïs van de behandelingen 25 april vers en 25 april ingekuild visueel hoger dan deze van de andere. Alsook ligt de verse massa maïs van de behandelingen 16 maart ingekuild en 4 april ingekuild hoger dan deze van de praktijk- en controlebehandeling.

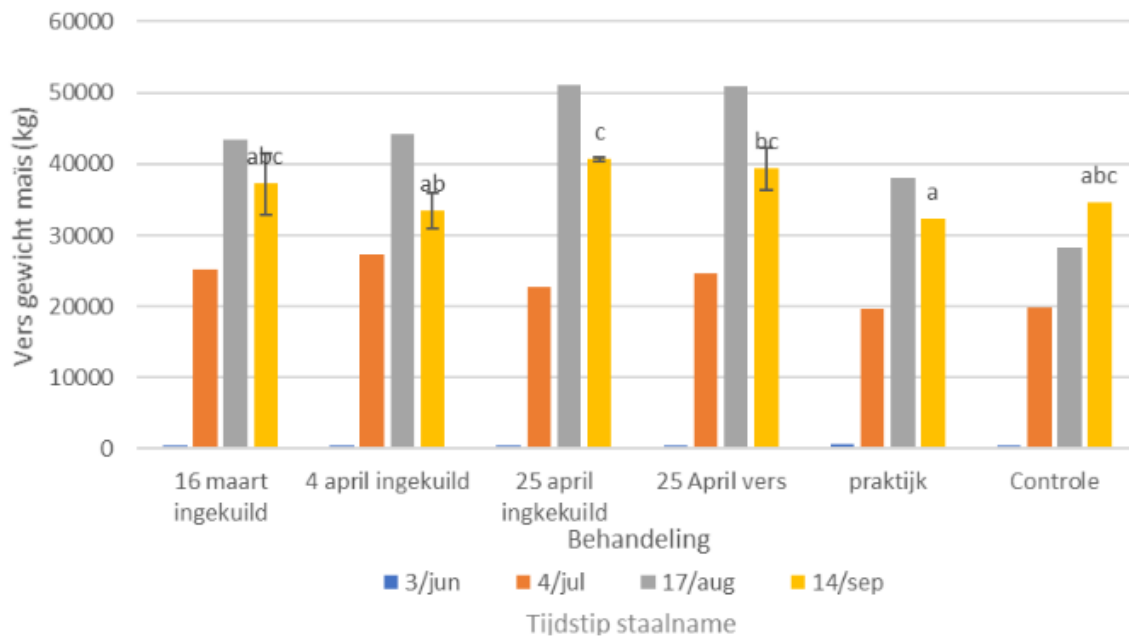
Gedurende het tweede deel dat loopt tot het einde van de proef zien we bij alle behandelingen uitgezonderd de controle een daling van de massa verse maïs. Deze daling zet zich in vanaf het moment na de korrelzetting (Sibma., 1987). De daling van verse massa is zoals verwacht en komt door het verlies van water zoals aangegeven in Figuur 6.8 van (Sibma., 1987). Bij de controle daalt de verse massa (nog) niet door het later afrijpen van deze behandeling.



Figuur 6.8: figuur uit (Sibma., 1987), hierin wordt duidelijk dat het vers gewicht daalt omwille van het verdwijnen van water.

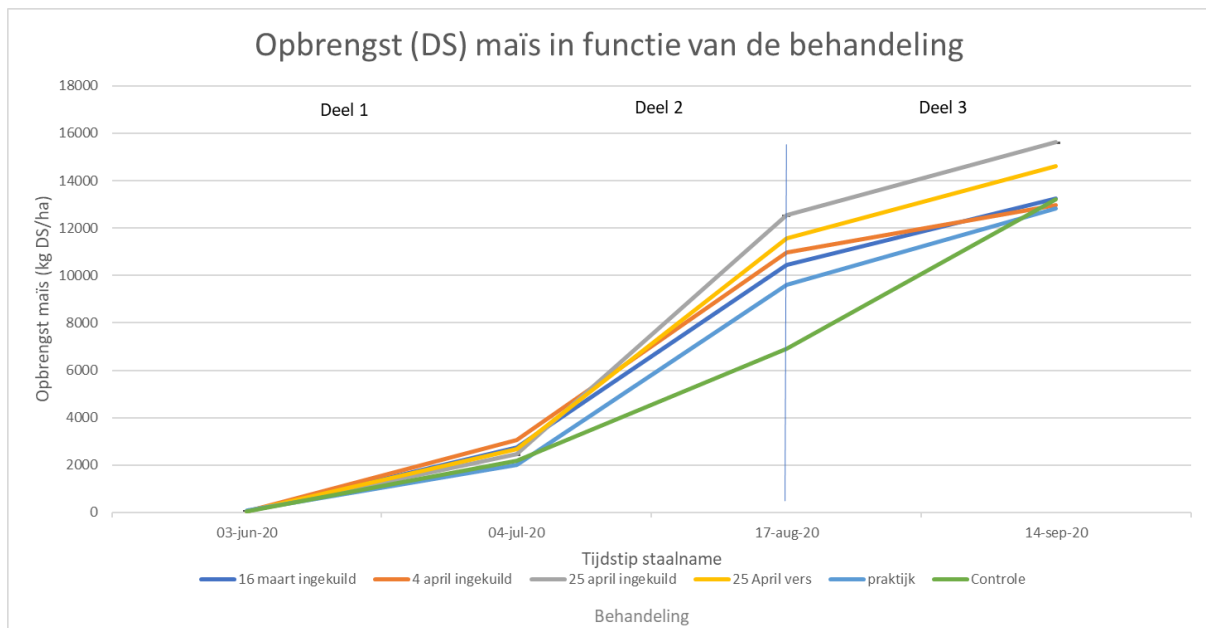
We merken enkel een significant verschil tussen behandeling 25 april ingekuuld enerzijds en de praktijk en 4 april ingekuuld anderzijds. Daarnaast kent de eindopbrengst van massa verse maïs geen eenduidige significante verschillen tussen de behandelingen. Uit deze resultaten kunnen we dan ook geen opmerkelijke bevindingen halen.

Opbrengst (vers) maïs in functie van de bemestingsvariant



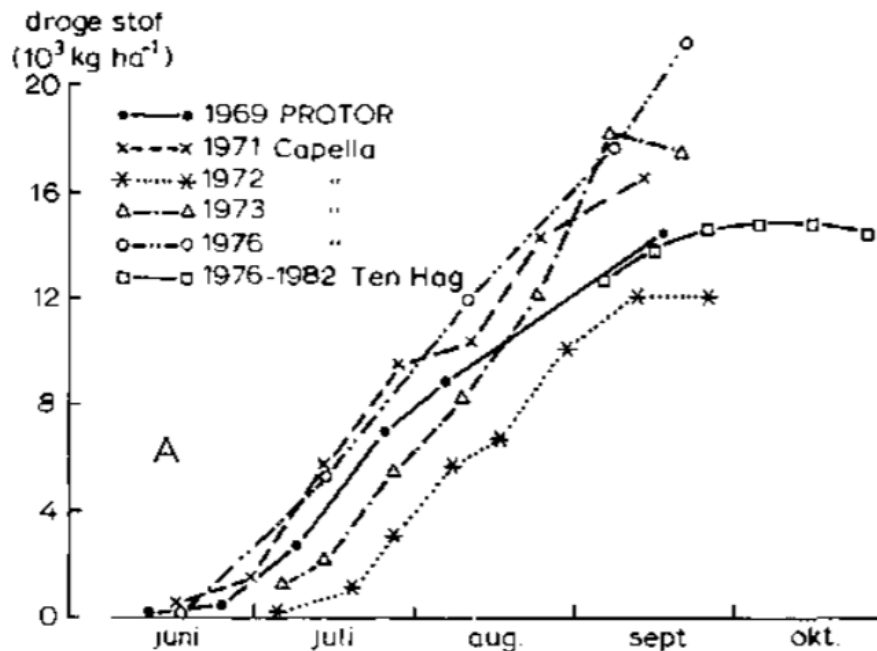
Figuur 6.9: Verse opbrengst van maïs in functie van de behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$). De tabel onderaan geeft het aantal herhalingen weer. De verticale strepen tonen de standaarddeviatie binnen een behandeling

6.3.2 DS-opbrengst

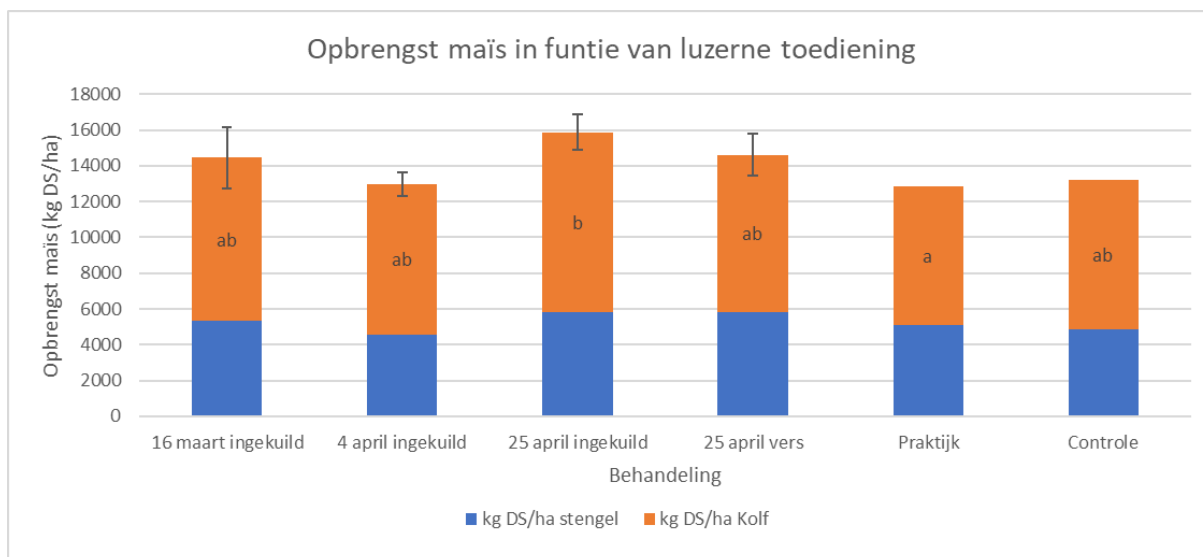


Figuur 6.10: Droge stof-opbrengst van maïs in functie van de behandeling

De droge stof is een zeer belangrijke parameter voor zowel de kwaliteit als de totale opbrengst van de maïs. In Figuur 6.10 zien we het hele verloop van de DS-opbrengst in functie van de verschillende behandelingen. Ook hier kunnen we de grafiek verdelen in drie delen. Hierbij zien we een lichte stijging van de DS-opbrengst in het eerste deel, gevolgd door een veel sterkere stijging in het tweede en een eerder lichte stijging in het derde gedeelte. De curve komt overeen met deze in Figuur 6.11 die afkomstig is uit een studie van (Sibma., 1987).



Figuur 6.11: Gemiddelde droge stof-opbrengst voor een maïsteelt in Nederlandse omstandigheden (Sibma., 1987)



Figuur 6.12: Droge stof-opbrengst van maïs opgedeeld in stengel- en kolffractie in functie van de behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$). De verticale strepen tonen de standaarddeviatie binnen een behandeling

Uiteindelijk opbrengstverschillen kunnen we het beste waarnemen in Figuur 6.12. Hier zien we de DS-opbrengst bepaald bij de oogst opgedeeld in twee fracties, namelijk de stengel en de kolf.

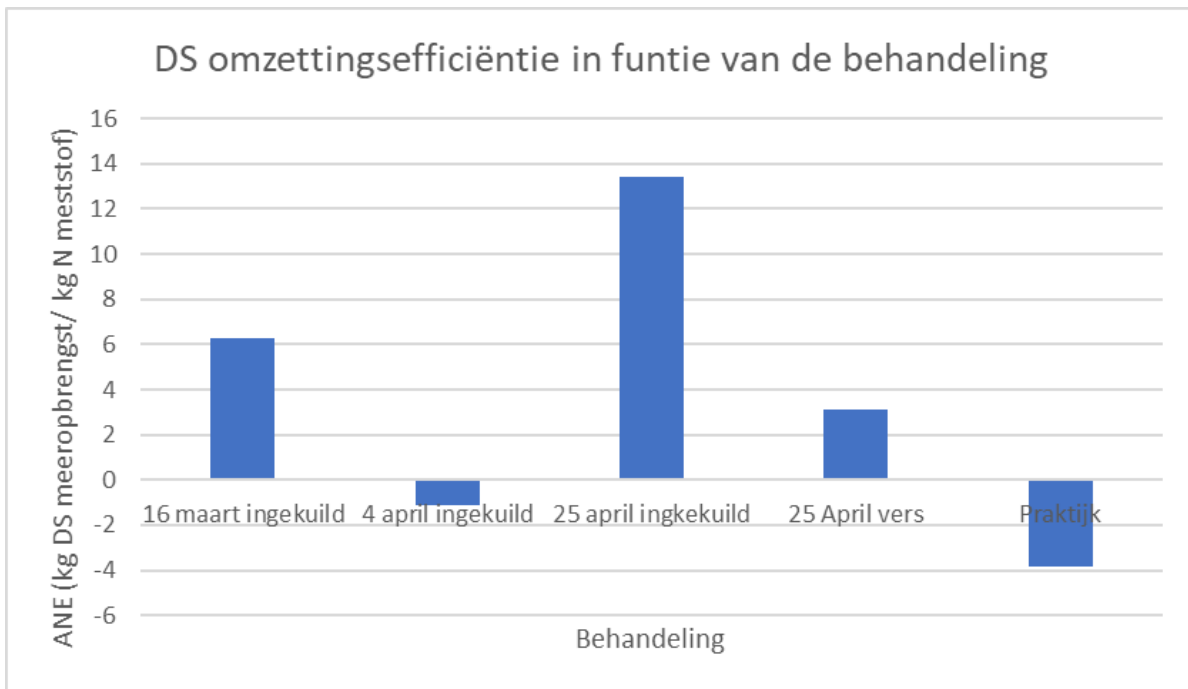
We zien duidelijk dat de kolf het grootste aandeel in de DS-opbrengst heeft, zo is gemiddeld zo'n 63,13 % van de DS-opbrengst afkomstig van de kolf. Significante verschillen tussen de behandelingen in kolf/stengel-verhouding zijn er niet.

We zien dat de DS-opbrengst van de maïs voor de behandelingen met ingekulde luzerne hoger is naarmate het tijdstip van toediening dichtert tegen de zaai ligt. Dit is wat verwacht werd omwille van de steeds herhalende hogere resultaten bij deze behandeling. Wel volgt de behandeling waarbij op 4 april ingekulde luzerne werd toegediend visueel deze trend niet. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de toevallig lagere plantdichtheid in deze proefobjecten, namelijk slechts 40 883 planten/ha i.p.v. gemiddeld 50 648 planten/ha. Daarnaast zien we een licht lagere DS-opbrengst in de behandeling waarbij verse luzerne kort tegen de zaai werd toegediend. Dit ligt niet volledig in de verwachte lijn omwille van de hogere N-dosis die hier werd toegediend. Tenslotte is de DS-opbrengst bij de controlebehandeling hoger/even hoog dan deze bij de praktijk, hoewel de praktijkbehandeling wel bemesting kreeg. Dit is te wijten aan de verstoorde groei omwille van een hogere onkruiddruk in het praktijkgedeelte.

De bovenstaande bevindingen zijn niet significant aantoonbaar, dit mede omwille van de soms grote standaardafwijking.

Stikstofefficiëntie:

Stikstof is op water na de meest limiterende factor in de akkerbouwmatige gewasproductie (Bloom et al., 2003). Diezelfde stikstof die bij een gebrek ervan de productiviteit zal doen dalen, moeten we dus efficiënt kunnen inzetten.



Figuur 6.13: ANE in functie van de behandeling. De hoeveelheid kg droge stof meeropbrengst/kg N meststof

Figuur 6.13 geeft de ANE (apparent N efficiency) (Schröder et al., 2013) weer in functie van de behandeling. Deze ANE, ook stikstofefficiëntie genoemd, geeft weer hoeveel kg DS-meeropbrengst er ontstaat bij toediening van 1 kg N meststof. Deze meeropbrengst is in vergelijking met de controlebehandeling.

Uit Figuur 6.13 vinden we dezelfde trend als deze uit vorige grafieken. Bij de ingekuilde behandelingen zien we namelijk dat een later toedieningstijdstip een hogere ANE waarde geeft. Zo zal behandeling 25 april ingekuuld 13,4 kg DS meeropbrengst/ kg N meststof hebben en de behandeling 16 maart ingekuuld 6,3 kg DS meeropbrengst/ kg N meststof. Weliswaar zien we ook hier dat de behandeling 4 april ingekuuld deze trend niet volgt, ook hier omwille van de lagere plantdichtheid.

Deze grafiek geeft de DS weer per bemeste kg N bemest. Hierdoor kunnen we verschillen in N-doseringen uitsluiten. Zodoende kunnen we een correcter verschil waarnemen tussen behandelingen 25 april ingekuuld en 25 april vers. Zo heeft de behandeling met verse luzerne een veel lagere ANE waarde dan deze met ingekuilde. Tot slot geeft de praktijkbehandeling een negatieve ANE waarde, dit zou betekenen dat een bemesting met runderdrijfmest leidt tot een verlaging van de DS-opbrengst. Dit strookt niet met de realiteit en is te wijten aan de lagere DS-opbrengst omwille van de hogere onkruiddruk bij de praktijkbehandeling.

6.4 Efficiëntie van de nutriëntenopname

De nutriëntenopname efficiëntie is de mate waarin de nutriënten afgegeven door de maaimeststof opgenomen wordt door de maïs. Deze parameter wordt berekend aan de hand van het verschil in gewasonttrekking tussen een bepaalde behandeling en de controle.

De efficiëntie van nutriëntenopname wordt voor de drie meest essentiële nutriënten (stikstof, fosfor en kalium) bepaald en staat weergegeven in Tabel 6-3.

Tabel 6-3: Opname efficiëntie voor stikstof, fosfor en kalium in functie van de behandeling. Een verschillende letter wijst op een statistisch significant verschil ($p < 0,05$)

Behandeling	ANR (netto kg N plantopname/ kg N bemest)	APR (netto kg P plantopname/ kg P bemest)	AKR (netto kg K plantopname/ kg K bemest)
16 maart ingekuuld	6,6% bc	6,6% a	2,1% ab
4 april ingekuuld	2,0% b	-1,2% a	-0,9% ab
25 april ingekuuld	17,6% c	63,2% b	14,9% b
25 april vers	8,9% bc	13,8% a	14,6% b
Praktijk	-14,0% a	-6,9% a	-3,5% a

De opname-efficiëntie van bepaalde behandelingen is, onafhankelijk van het nutriënt, resoluut verschillend van de andere. Zo ligt de opname-efficiëntie van de behandeling 25 april ingekuuld voor elk nutriënt hoger ten opzichte van de andere. Ook Tabel 6-3 bevestigt dus de trend waarbij een latere toediening van ingekuilde luzerne betere resultaten geeft, alsook dat het gebruik van ingekuilde luzerne de opname-efficiëntie positief beïnvloedt ten opzichte van verse. Tot slot zien we dat de praktijkbehandeling een negatieve opname efficiëntie heeft, dit zou betekenen dat er per kg nutriënt bemest minder van dat nutriënt in de plant aanwezig is. Dit is in deze constellatie eerder onmogelijk en is te wijten aan de lagere opbrengst omwille van de hogere onkruiddruk in het praktijkgedeelte.

6.5 Toegediende effectieve organische koolstof

Naast de essentiële nutriënten die de maaimeststof ter beschikking stelt voor de maïs, zal hij ook een grote hoeveelheid effectieve organische koolstof afgeven aan de bodem en bijdragen aan de opbouw van organische stof in de bodem. Deze opbouw begint steeds belangrijker en noodzakelijker te worden omwille van verscheidene positieve voordelen op vlak van slemp- en erosiegevoeligheid, bodemverdichting, waterbergend vermogen, infiltratiecapaciteit,.... (Alim et al., 2001). Dit aspect kan dus een zeer grote meerwaarde in vergelijking met andere bemestingsvormen zijn.

Om te vergelijken hoeveel effectieve organische koolstof er meer/minder wordt toegevoegd in vergelijking met gebruikelijke bemestingsvormen nemen we in Tabel 6-4 voor elke bemestingsvorm dezelfde N-dosis van 200 kg/ha aan. De gegevens voor de luzerne als bemestingsvorm zijn afkomstig van eigen gewasanalyses. De gegevens van de andere bemestingsvormen zijn afkomstig van Vanrespaille et al. (2018).

Tabel 6-6: Verschillende bemestingsvormen en hun hoeveelheid aangevoerde effectieve organische koolstof. Er zijn zeer grote verschillen waar te nemen tussen de verschillende bemestingsvormen. * deze waarde zijn gebruikt voor berekeningen van de hoeveelheid stikstof die werd toegediend tijdens de proef

Bemestingsvorm	Kg N/ton	Ton/ha bij 200 kg N/ha	EOC (kg/ton)	Aanvoer EOC (kg/ha)
*Luzerne vers	9,14	21,88	36,1	789,9
*Luzerne ingekuild	14,64	13,66	92,3	1260,8
*Runderdrijfmest	4,8	41,67	15	625
Vleesvarkensdrijfmest	6,4	31,25	10	312,5
Vleeskuikensstalmest	27,1	7,38	152	1121,8
Runderstalmest	7,1	28,17	49	1380,33
Groencompost	7	28,57	99	2828,4

We zien dat luzerne een grote hoeveelheid effectieve organische koolstof aanvoert. Weliswaar blijft een bemesting met runderstalmest en groencompost voor organische-stofaanvoer de beste keuze. Toch kunnen we algemeen stellen dat een luzerne bemesting in vergelijking met dierlijk drijfmest en pluimveemest het meeste EOC aanvoert.

Tussen de verse en ingekuilde luzerne zien we een groot verschil in EOC-aanvoer, dit is te verklaren door het veel lager droge stofgehalte van de verse luzerne waardoor de kg EOC/ton veel lager ligt.

6.6 Bedrijfseconomische resultaten

De implementering van een nieuwe bemestingsstrategie is enkel mogelijk wanneer het kostenplaatje klopt. Om deze reden wordt hieronder een kosten-batenanalyse van het gebruiken van zowel maaimeeststoffen als bemestingsvorm gemaakt. De berekening berust enerzijds op gemiddelde waarden uit de literatuur en anderzijds op waarden bekomen uit eigen onderzoek.

Kosten zijn weergegeven per hectare. Om hieruit de kostprijs per kg N en OS te berekenen, wordt eerst bepaald hoeveel N en OS per hectare (baten) wordt afgegeven.

Baten:

Volgens Govaerts & Sobry (2011) ligt de opbrengst van biologische luzerne gemiddeld tussen 10 en 12 ton DS/ha, en kan tot 5 jaar aangehouden worden. Deze opbrengsten zijn wel enkel haalbaar bij een juiste bemestingsstrategie, een goede teeltuitbating en bij een optimale teeltrotatie. Om de baten te berekenen nemen we een gemiddelde opbrengst van 11 ton DS/ha. Volgens Van der Schans et al. (1998) is 60 % van de DS-opbrengst afkomstig van de eerste twee snedes. De overige 40 % zijn afkomstig van de laatste twee (soms drie) snedes. Het N-gehalte op de DS is volgens Sorensen et al. (2011) en eigen onderzoek voor de eerste twee snedes zo'n 4%, voor de laatste twee snedes bedraagt deze zo'n 2,5 %. Het organische stofgehalte is voor luzerne relatief constant en bedraagt zo'n 89% op DS.

Gemiddelde hoeveelheid N/ha/jaar = 374 kg

Gemiddelde hoeveelheid OS/ha/jaar = 9 790 kg

Van 1 hectare goed uitgebate biologische luzerne kunnen we ieder jaar gedurende vijf jaar gemiddeld 374 kg N en 9 790 kg OS oogsten.

Kosten:

Een deel van de berekening van de kosten in Tabel 6-7 zijn enerzijds afkomstig uit de LCV-brochure 'Kostprijsraming voedergewassen 2018' (Anonymus, 2018) en anderzijds gebaseerd op facturen van een loonwerker en een zaadhuis.

Tabel 6-7: Kostprijsberekening biologische luzerneteelt. Kosten aangegeven met * zijn afkomstig van (Anonymus, 2018), de andere zijn gebaseerd op facturen van een loonwerker en een zaadhuis

Kosten	Kostprijs/ha/jaar
* Pacht + algemene kosten	421 €
* P/K-bemesting + kalk	310 €
* Oogst (vijf snedes)	750 €
Aanleg (grondbewerking + zaaien + zaad (25 kg/ha)) verdelen over vijf jaar	60 € + 60 € + 200 € = 320 € / 5 = 64 €
	Som: 1 545 €

Uit de tabel blijkt dat de kostprijs van 1 ha biologische luzerne ieder jaar 1 545 € bedraagt, dit gedurende vijf jaar. In deze prijs zitten de kosten voor het inkuilen en toedienen van het luzernemaaisel nog niet in. De kostprijs hiervoor bedraagt respectievelijk 104€ en 100€ per hectare.

Besluit:

De prijs van 1 kg N in de vorm van vers luzernemaaisel bedraagt 4,13 €, voor 1 kg OS is deze 0,157 €.

De prijs van 1 kg N in de vorm van ingekuild luzernemaaisel bedraagt 4,41 €, voor 1 kg OS is deze 0,168 €.

Wanneer we de luzerne willen laten drogen en pelleteren tot pellets kost dit 5,29 €/ kg N. Deze kostprijs is gebaseerd op een studie van Hospers-Brands et al. (2015) waarin het drogen en pelleteren van 11 ton DS grasklaver 1 980 € kost. De prijs van 1 kg N luzernepellets zou dan 9,42 € bedragen, voor 1 kg OS is deze 0,36 €.

Wanneer het toedienen van de luzerne wordt meegeteld, stijgt de prijs voor 1 kg N met 0,267 € en voor 1 kg OS met 0,0102 €.

In Tabel 6-8 wordt de prijs voor 1 kg N en OS afkomstig van luzerne vergeleken met deze van in de handel verkrijgbare biologische organische meststoffen. De prijsberekening van OPF is afkomstig uit de studie van Nelissen et al. (2017). De prijzen van de Orgamin werd nagevraagd bij de meststofverdelers.

Tabel 6-8: Prijsvergelijking tussen luzerne en andere biologische organische meststoffen

Product	Prijs voor 1 kg N	Prijs voor 1 kg OS
Vers luzernemaaisel	4,13 €	0,157 €
Ingekuild luzernemaaisel	4,41 €	0,168 €
Luzerne pellet	9,42 €	0,36 €
OPF (organic plant feed) (11-0-5, 28 % OS)	7,6 €	3 €
Orgamin BIO (7-5-10, 75 % OS)	6,84 €	0,639 €
Orgamin BIO (10-5-2, 75 % OS)	6,02 €	0,81 €

De prijzen per kg N en OS voor de in de handel verkrijgbare biologische organische meststoffen ligt veel hoger dan deze voor vers en ingekuild luzernemaaisel. Het gebruiken van zelf gewonnen maaimeststof is volgens deze berekening economisch gezien voordeliger in de context van biologische landbouw. Wanneer we echter de luzerne willen pelletteren ligt de kostprijs hoger dan deze van de in de handel verkrijgbare biologische organische meststoffen.

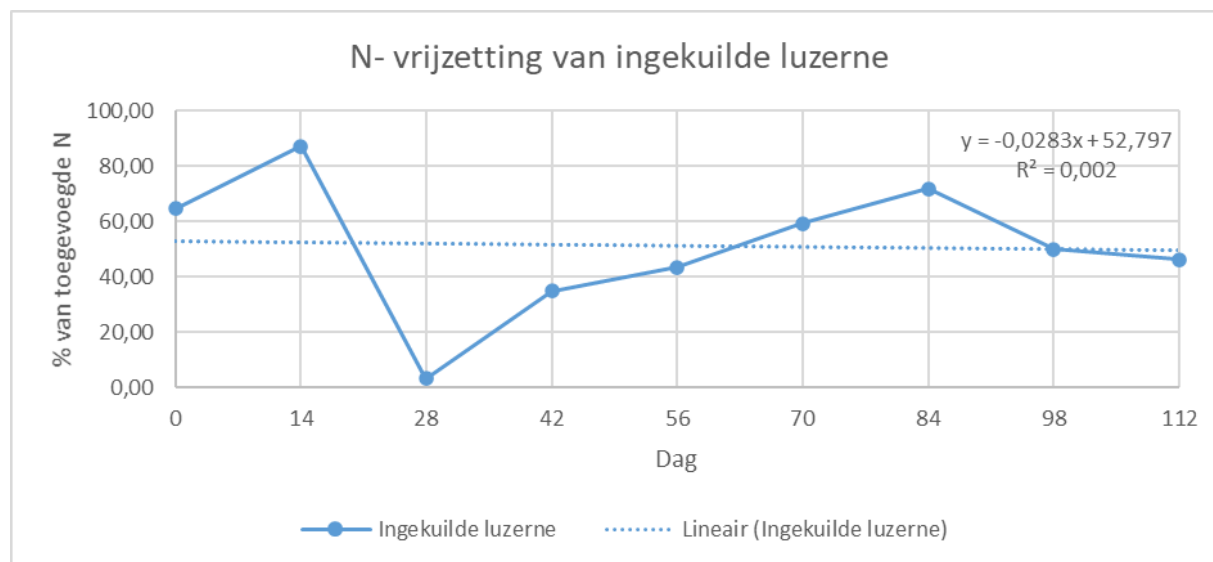
6.7 Incubatieproef

Initieel zouden we bij de incubatieproef zowel verse als ingekuilde luzerne onderzoeken op zijn N-werking. Echter zijn de resultaten van de verse luzerne onbruikbaar door een fout bij de opstelling van de proef. Zo is de grond gebruikt bij de verse luzerne niet diezelfde als deze van de referentie, hierdoor kunnen we geen vrijzetting van stikstof achterhalen. Hetgeen volgt zijn dus enkel de resultaten voor ingekuilde luzerne.

De samenstelling van de ingekuilde luzerne die gebruikt werd voor de incubatieproef staat beschreven in Tabel 6-9.

Tabel 6-9: Samenstelling van de ingekuilde luzerne die gebruikt werd bij de incubatieproef. Hierin is vooral de C/N-verhouding bepalend voor de mate van N-vrijzetting

	Datum staalname	Droge stof (%)	EOS (%)	N _{totaal} (%)	P _{totaal} (%)	C/N
Ingekuild luzerne 3 ^{de} snede 2019	10/02/2020	61	18,46	1,464	0,182	18,54



Figuur 6.14: N-vrijzetting van ingekuilde luzerne gemeten tijdens een incubatieproef

Tabel 6-10: Percentage van de toegevoegde totale stikstof die ingekuilde luzerne vrijgezet heeft gedurende de incubatieproef

Dag na opstart	% toegevoegde N voor ingekuilde luzerne
0	64,66
14	87,19
28	3,31
42	34,92
56	43,41
70	59,37
84	71,80
98	49,28
112	46,27

Regressierechte: $y = - 0,03x + 52,8$

Volgens het lineair model bedraagt de vrijgekomen N op dag 112, 49,8 %. Volgens de meting op dag 112 is deze 46 %.

Bij de eerste twee staalnames zien we bij figuur 1 een zeer hoge N-vrijzetting van zo'n 80 %. Nadien daalt deze zeer drastisch tot slechts 3,31 %, hetgeen gevolgd wordt door een stijging tot 72% waarna deze na 112 dagen incuberen eindigt op 46 %. De hoge beginwaarde en plotse daling van het N-gehalte bij de eerste drie staalnames is moeilijk te verklaren en zien we niet terug bij andere studies. De lichte stijging gevolgd door een lichte daling liggen ongeveer in dezelfde lijn van andere studies (Nelissen et al., 2017; Coussement T., 2017). Een eindwaarde van 46 % N-werking is relatief hoog maar zeker niet onmogelijk. Alhoewel het lineair model een vertekend beeld geeft ligt de eindwaarde op dag 112 in dezelfde lijn als deze berekend volgens het lineair model. Alsook vonden we soortgelijke en zelfs hogere waarden voor de berekende N-werking bij de veldproeven.

De R^2 waarde is met 0,002 zeer laag en wijst op een zeer grote variatie van de resultaten. Door deze grote variatie is de N-vrijgave moeilijk te voorspellen via lineaire regressie. De waarde berekend volgens het lineair model komt dus niet helemaal overeen met de werkelijkheid. Uit de regressierechte vinden we de richtingscoëfficiënt, deze bedraagt -0,03 en geeft de mate van stijgen of dalen van de N-vrijgave weer. Door de lage en zelfs negatieve waarde van de richtingscoëfficiënt vinden we dat er behalve na de eerste N-vrijgave bij de start er bijna geen netto N-vrijgave meer is.

7 DISCUSSIE

Tot op heden werd geen andere studie omtrent maaimeststoffen opgezet waarbij enerzijds de vergelijking tussen ingekuilde en verse luzerne en anderzijds de invloed van toedieningstijdstip werd onderzocht. Om de resultaten in deze studie af te toetsen, kunnen we daarom enkel vergelijken met studies die op bepaalde vlakken toch aansluiting vinden. De meeste van deze studies vonden net zoals deze masterproef plaats binnen een biologische teeltmethode.

7.1 Verschillen in samenstelling maaimeststof

We zien bij verschillende studies grote variatie in samenstelling tussen verschillende luzernemaaisels, zowel bij ingekuilde als bij verse luzerne. Deze variatie kan te wijten zijn aan verschillen in groeiseizoen, bodemconditie, bemestingsstrategie, uitbating, ouderdom van het luzerneperceel, tijdstip van maaien, rassenkeuze, ...

Het duidelijkste verschil zien we in een studie van Sorensen et al. (2011) waarin zeven verschillende snedes verse luzerne met elkaar vergeleken worden. De resultaten van deze studie staan in Tabel 7-1.

We zien dat de gehalten N, P en K dalen naarmate de oogstdatum later valt. De C/N-verhoudingen daarentegen stijgen bij latere oogst. Daarnaast zien we een duidelijk verschil in gehalten N, P en K tussen de snedes van 2006 en deze van 2007. Zo liggen de gehalten in het jaar 2007 lager dan deze in 2006. Volgens Sorensen et al. (2011) is het vooral de C/N-verhouding die doorslaggevend is voor de opbrengst. Zo zal bij een bemesting met eenzelfde N-dosis een maaimeststof met een lage C/N-verhouding een hogere opbrengst geven. Dit zou te verklaren zijn door de verlaagde mineralisatie bij maaimeststoffen met een hoge C/N-verhouding door een grotere toevoer van koolstofrijk materiaal. Deze vaststelling komt bij de resultaten van deze masterproef niet direct naar boven, de vergelijking is namelijk voor deze masterproef moeilijk te maken door de verschillende vorm waarin luzerne werd toegediend.

Tabel 7-1: Resultaten van de studie van Sorensen et al. (2011) waarin de vergelijking wordt gemaakt tussen zeven snedes verse luzerne, elk van een andere oogstdatum

Oogstdatum	N (% op DS)	P (% op DS)	K (% op DS)	C/N
23 mei 2006	4,0	0,31	2,6	11
7 juni 2006	3,6	0,27	2,3	12
21 juni 2006	3,0	0,22	1,6	15
9 mei 2007	4,4	0,41	2,8	10
23 mei 2007	3,9	0,25	2,2	11
6 juni 2007	2,8	0,23	2,3	16
20 juni 2007	2,2	0,23	1,8	20

7.2 Stikstof werking van maaimeststoffen

Het totale N-verloop in de bodem kent geen abnormale trends. Net zoals bij de studie van Scholberg *et al.* (2009) is het vooral de toegediende dosis stikstof die zorgt voor de grootste verschillen tussen de behandelingen. Uit een tweejarige studie van Toleikiené *et al.* (2020) blijkt dat een verse maaimeststof het hoogste N-verloop kent in het eerste jaar en een ingekuilde variant dit hoge N-verloop pas kent in het tweede. Volgens Toleikiené *et al.* (2020) zou dit te maken hebben met de hogere C/N-verhouding van de ingekuilde maaimeststof. Hierdoor zou het langer duren totdat mineralisatie optreedt. Deze trend is niet meteen te zien uit de resultaten van deze proef, alsook niet uit deze van Scholberg *et al.* (2009).

De accumulatie van N in het gewas, in dit geval maïs, is ongeveer gelijklopend met het N-verloop. Zo zien we dat een hoge bodem-N resulteert in een hogere N-opname van het gewas. Deze bevindingen zien we ook terugkomen in de studie van Scholberg *et al.* (2009) waar najaarsspinazie (*Spinacia oleracea* L.) geteeld werd en in deze van Sorensen *et al.* (2011) waar boerenkool geteeld werd.

Aan de hand van de verschillen in N-verloop in de bodem en N-accumulatie door het gewas wordt het verschil in stikstofwerking van de maaimeststof duidelijk. Om dit relatief te kunnen bekijken, werd van iedere behandeling de N-werkingscoëfficiënt bepaald. De coëfficiënten liggen zeer hoog wanneer we ze vergelijken met deze uit een studie van Nelissen *et al.* (2017). Zo zijn de N-werkingscoëfficiënten bij Nelissen *et al.* (2017) zo'n 20 – 30 % in grasklaver. Dit terwijl de berekende N-werkingscoëfficiënten voor de resultaten uit de proef in Sint-Pieters-Leeuw hier ver boven liggen. Wel is zoals in het onderdeel resultaten reeds vermeld de N-werkingscoëfficiënt voor de praktijkbehandeling met runderdrijfmest gelijklopend met deze van de gemiddelde waarde uit de brochure normen en richtwaarden 2020 van de Vlaamse Landmaatschappij.

7.3 Opbrengst

De verse opbrengst kende geen grote significante verschillen. Toch geeft de studie van Scholberg *et al.* (2009) waarbij de opbrengst van najaarsspinazie (*S. oleracea* L.) bemest met verschillende maaimeststoffen vergeleken wordt, wel opbrengstverschillen weer. Zo geeft een latere toediening een lagere productie-efficiëntie, daarnaast blijkt dat de verse opbrengst lineair stijgt met N-toediening.

Ook de DS-opbrengst kende geen grote significante verschillen. Visueel is de DS-opbrengst het hoogste bij een latere toediening van ingekuilde luzerne, daarnaast lijkt een bemesting met verse luzerne een lagere DS-opbrengst te hebben. De studie van Toleikiené *et al.* (2020) waarbij de DS-opbrengst van zomertarwe (*Triticum aestivum* L.) bemest met verschillende maaimeststoffen vergeleken wordt, vindt wel verschillen. Zo blijkt hier dat een verse maaimeststof, in dit geval rode klaver (*Trifolium pratense* L.) een hogere opbrengst zal geven in vergelijking met een ingekuilde variant.

De berekende stikstofefficiëntie die weergeeft hoeveel kg DS-meeropbrengst er ontstaat bij toediening van 1 kg N-meststof ligt voor de maaimeststoffen in deze proef relatief laag. Zo is de hoogste stikstofefficiëntie-waarde voor maaimeststoffen slechts de helft van deze bij een studie van Inagro (Bemestingsproef snijmaïs Beernem) met toediening van varkensdrijfmest.

Wel vindt de studie van Inagro plaats binnen een gangbare teeltmethode, dit in tegenstelling tot het biologische kader waarin deze masterproef zich bevindt.

7.4 Efficiëntie van de nutriëntenopname

De nutriëntenopname-efficiëntie was voor al de behandelingen relatief laag. De hoogste efficiëntie was te vinden bij de latere toediening van ingekuilde luzerne. Daarnaast lag de efficiëntie voor verse luzerne lager dan voor ingekuilde. Bij de studie van Scholberg et al. (2009) was de hoogste stikstofefficiëntie waar te nemen bij het gebruik van ingekuilde luzerne, dit komt overeen met de bevindingen in deze masterproef. Latere toediening van verse luzerne resulteerde in een verlaagde efficiëntie voor zowel N, P en K. Algemeen was de opname efficiëntie bij Scholberg et al. (2009) hoger dan deze gevonden bij onze proeven, wel werd in de studie van Scholberg et al. (2009) met najaarsspinazie gewerkt. Dit is een gewas dat op korte tijd veel nutriënten opneemt.

7.5 Maaimeststof als oplossing voor de fosforproblematiek

In mijn bachelorproef zocht ik naar bemestingsstrategieën waarbij zo weinig mogelijk fosfor werd toegediend, dit om een oplossing te vinden omtrent de fosforproblematiek. Eén van de oplossingen was het gebruik van maaimeststoffen, vanuit dat vertrekpunt begon deze masterproef. Hieronder zullen we daarom nagaan in hoeverre het opzet van een fosforarme bemestingsstrategie klopt. Dit doen we door de bemestingsvormen uit Tabel 7-2 te vergelijken op vlak van fosforgehalte.

In de Tabel 7-2 zijn de gegevens voor de luzerne als bemestingsvorm afkomstig van eigen gewasanalyses. De gegevens van de ander bemestingsvormen zijn afkomstig van de brochure Normen en richtwaarden 2020 (Vlaamse Landmaatschappij, 2020).

Tabel 7-2: Dezelfde bemestingsvormen als in Tabel 6-6 met hierin de gehalten stikstof en fosfor. De berekende N/P verhouding geeft een goede indicatie op vlak van geschiktheid als fosfor-arme bemestingsvorm, hoe hoger de N/P verhouding hoe geschikter. * deze waarde zijn gebruikt voor berekeningen van de hoeveelheid stikstof die werd toegediend

Bemestingsvorm	Kg N/ton	Kg P/ton	N/P
*Luzerne vers	9,14	0,89	10,27
*Luzerne ingekuild	14,64	1,8	8,13
*Runderdrijfmest	4,8	0,61	7,87
Vleesvarkensdrijfmest	6,4	1,53	4,18
Vleeskuikensstalmest	27,1	6,15	4,41
Runderstalmest	7,1	1,27	5,59
Groencompost	7	1,22	5,74

Volgens de gewasanalyses van de luzerne ligt de N/P verhouding beduidend hoger in vergelijking met elke andere bemestingsvorm. In sommige gevallen ligt deze zelfs dubbel zo hoog, dit wil zeggen dat bij eenzelfde N-bemesting er slechts de helft zoveel fosfor wordt toegediend. Afhankelijk van het teeltplan kan er dus na langdurig gebruik van maaimeststoffen uitmijning van fosfor optreden. Het gebruik van maaimeststoffen als bemesting kan dus weldegelijk een oplossing zijn voor de fosforproblematiek. Maaimeststoffen vormen daarom in onze huidige mestwetgeving een volwaardig alternatief voor fosforhoudende meststoffen.

7.6 Bedrijfseconomische resultaten

De kosten-baten analyse kunnen we vergelijken met deze van Nelissen et al. (2017) en Hospers-Brands et al. (2015). Hieronder een korte samenvatting van de prijsberekening die zij maakten:

- Kostprijsberekening van Nelissen et al. (2017): bij een productie van 11 ton droge stof grasklaver/ha is de kostprijs 4,0 €/kg N en 0,15 €/kg OS. Wanneer de grasklaver wordt ingekuuld, komt er een inkuilkost bij waardoor de kostprijs dan 4,5 €/kg N en 0,16 €/kg OS bedraagt.
- Kostprijsberekening van Hospers-Brands et al. (2015): bij een productie van 11 ton droge stof grasklaver/ha met een stikstofgehalte van 2,8 % verkrijgt men 308 kg N. De arbeidskost per ha bedraagt € 150 voor zaaizaad en zaaien en € 400 voor het maaien en oprapen. Dit levert een kostprijs op van $\frac{€150 + €400}{308 N} = 1,79 \text{ €/kg N}$. Het inkuilen van de maaimeststof kost 300 € waardoor de kostprijs verhoogt tot 2,76 €/kg N. De kostprijs van de OS werd hier niet berekend. De kostprijs berekend door Hospers-Brands et al. (2015) is veel lager dan deze die wij en Nelissen et al. (2017) berekenden. Dit komt omdat bij Hospers-Brands et al. (2015) vaste kosten zoals pacht en andere algemene kosten niet meegerekend zijn, alsook zijn de andere kosten op een andere manier ingeschat.

De berekende prijs per kg N en OS van Nelissen et al. (2017) voor grasklaver is ongeveer dezelfde als deze die wij berekenden voor luzernemaaisel.

Uit het onderdeel resultaten bleek dat het gebruik van verse en ingekuilde luzernemaaisel economisch een betere keuze is in vergelijking met andere biologische organische meststoffen. Wanneer we onze berekende prijs vergelijken met deze van andere studies kunnen we nog dit nog steeds besluiten.

7.7 Incubatieproef

Aangezien er geen studies van incubatieproeven met luzerne gevonden werden vergelijken we de N-vrijzetting van luzerne met deze van grasklaver. In een studie van (Sorensen et al., 2011) waar ze bij veldproeven luzerne en grasklaver vergelijken vinden ze algemeen een licht hogere N-werking voor luzerne. Wel werd hier zeer duidelijk dat de C/N-verhouding zeer bepalend is.

Bij het vergelijken van studies met incubatieproeven wordt het al snel duidelijk dat er zelden een eenduidig resultaat naar boven komt. Dit komt door de steeds wisselende samenstelling van de maaimeststoffen en/of verschillen in de gebruikte grondsoort. Zo vinden we bij de studie van Nelissen et al. (2017) N-vrijzettingen voor ingekuilde grasklaver gaande van 5 tot 30%. Daarnaast zien we in diezelfde studie dat een incubatieproef met verse luzerne N-vrijzettingen tussen 33,8 en 47,7 % geeft. Verse luzerne geeft dus een hogere N-vrijzetting, dit is te verklaren door zijn lagere C/N verhouding (Sorensen et al., 2011).

In een studie van De Waele et al. (2014) vinden we voor verse grasklaver met een C/N verhouding van 17 in een zandleembodem een N-vrijzetting van 58 %. Hoge vrijzettingswaarden voor maaimeststoffen zijn dus niet onmogelijk.

Wanneer we de N-vrijzetting van 46 % van de incubatieproef met ingekuilde luzerne vergelijken met deze van de twee hierboven vermelde studies kunnen we concluderen dat dergelijke N-werkingen geen uitzondering zijn. Wel zijn deze vrijzettingswaarden verkregen door in een ideale en gecontroleerde omgeving te werken, de vrijzetting van N zal in de praktijk dus algemeen lager liggen.

7.8 Haalbaarheid van maaimeststoffen

Zoals eerder aangehaald kunnen maaimeststoffen binnen de huidige mestwetgeving grote voordelen bieden. Doordat de verhouding tussen stikstof en fosfor in dierlijke mest vaak ongunstig is, is de gebruiksruijme voor fosfor eerder opgevuld dan de ruijme voor stikstof. Het zijn dus de fosforbestedingsnormen die de hoeveelheid dierlijke mest dat gebruikt kan worden beperkt. Anders dan gangbare telers, kunnen biologische landbouwers geen minerale stikstofmeststoffen gebruiken. Maaimeststoffen kunnen dus een geschikt alternatief vormen. Doordat zij niet worden meegeteld in de mestadministratie kunnen ze ingezet worden zonder de plaatsingsruimte van fosfor te overschrijden. Daarnaast wordt er vanuit de biosector en bio-wetgeving steeds meer gestreefd naar het gebruik van een biologische bemesting. Ook hier kunnen maaimeststoffen een antwoord bieden op de steeds hogere vraag naar biologische mest.

De voordelen die vasthangen aan maaimeststoffen zijn dus zeer actueel. Hieronder wordt concreet bekeken hoe maaimeststoffen kunnen worden toegepast op de Vlaamse biologische bedrijven en hoe haalbaar deze manier van werken is. Dit doen we aan de hand van drie topics die belangrijk zijn om te bespreken:

7.8.1 Toepassingsvorm

Maaimeststoffen kunnen in drie verschillende vormen toegepast worden, elk met hun voor- en nadelen.

- Vers:
 - Hogere N-vrijgave (Nelissen et al., 2017).
 - Geen bewarings- of verwerkingskosten.
 - Beperkt inzetbaar, het tijdstip van maaien moet overeenkomen met het tijdstip van bemesting. In de praktijk kan dus vaak enkel de 1^{ste} snede als vers ingezet worden.
 - Hogere transportkosten, door het lagere DS-gehalte moet een veel grotere massa maaimeststof aangebracht worden om eenzelfde hoeveelheid N te verkrijgen. Dit kan wat verminderd worden door het maaisel een dag te laten drogen, hierdoor verhoogt het DS-gehalte door het verdwijnen van water (Scholberg et al., 2009).

- Ingekuild:
 - Extra bewarings- en inkuilkosten.
 - Klein verlies aan nutriënten (Muck, 1988).
 - Variabel inzetbaar, te gebruiken wanneer het past binnen het bemestingsschema.
 - Lagere transportkosten, door het hoog DS-gehalte moet een beperkte massa maaimeststof aangebracht worden.
 - Moeilijkere toedieningswijze, doordat het ingekuilde maaisel soms sterk aan elkaar hangt en het een lage uniformiteit heeft is de toedieningswijze moeilijker. Om deze reden is het van groot belang de maaimeststof goed in te werken zodat de maaimeststof goed verdeeld is met de bodem.

- Korrel:
 - Hoge verwerkingskosten (5,29 €/kg N).
 - Bewaarkosten.
 - Makkelijke toediening. De pellets kunnen toegediend worden met een kunstmeststrooier, dit verhoogt het gebruiksgemak.
 - Rijenbemesting is in de toekomst mogelijk. Door de uniforme vorm van de korrels zou rijenbemesting mogelijk kunnen zijn, hierdoor hebben we een betere plaatsing van de nutriënten. Uit onderzoek blijkt dat plaatsing van de mest niet altijd een opbrengstverhoging veroorzaakt maar wel een lagere bemestingsdosis (van Dijk et al., 2007) geeft.
 - Variabel inzetbaar, te gebruiken wanneer het past binnen het bemestingsschema.
 - Lage transportkosten, door het zeer hoog DS-gehalte moet een beperkte massa maaimeststof aangebracht worden.

7.8.2 Bedrijfsvoering

- Teeltplan: afhankelijk van het teeltplan en of er voldoende grond ter beschikking is kunnen er maaimeststoffen geteeld en gebruikt worden. Volgens onze proefresultaten

brengt 1 ha luzerne 374 kg N op, hoeveel grond er op bedrijfsniveau zal verdwijnen ten voordele van luzerne zal afhangen van de vooropgestelde bemesting. Tabel 7-3 illustreert dit aan de hand van verschillende bemestingsscenario's.

Tabel 7-3: Afhankelijk van de bemestingsdosis kan er met 1 hectare luzerne meer of minder hectare bemest worden en is het aandeel luzerneareaal hoger of lager

Bemesting (kg N/ha)	Aantal hectare bemest met 1 ha luzerne	Aandeel luzerneareaal t.o.v. totaal areaal (%)
50 kg N	7,48 ha	11,79 %
100 kg N	3,74 ha	21,1 %
150 kg N	2,49 ha	28,65 %
200 kg N	1,87 ha	34,84 %

Wanneer de bemestingsdosis eerder laag is kunnen we een groot oppervlakte bemesten met een beperkt areaal luzerne. Dit kan het geval zijn wanneer we de maaimeststof bekijken als een aanvulling op een andere bemesting. Wanneer we maaimeststoffen willen inzetten als hoofdbemesting zien we dat een groot deel van het totaal areaal ingenomen wordt door luzerne.

Afhankelijk van de bemestingsdosis zullen maaimeststoffen een prominentere rol spelen in het teeltplan. Dit hangt dus af van de mate van extensivering van de bedrijfsvoering. In bovenstaande berekening wordt echter geen rekening gehouden met de positieve bemestingswaarde van het areaal luzerne wanneer deze na 5 productiejaar wordt omgezet in akker.

Volgens Rietberg & ter Berg (2012) brengt 1 ha maaimeststof gemiddeld 400 kg N op. Wanneer we deze waarde gebruiken geeft dit een iets hoger aantal hectare bemest en een iets lager aandeel van het areaal maaimeststoffen.

- Tijd: het implementeren van maaimeststoffen als bemestingsstrategie kost logischerwijs meer tijd dan het kopen en toepassen van een organische meststof in korrelvorm. Afhankelijk van hoeveel tijd de landbouwer hiervoor heeft kan dit interessant zijn.
- Veestapel: wanneer in de bedrijfsvoering een vee-tak aanwezig is zal eerst de mest geproduceerd door de dieren gebruikt worden. Wanneer het dan specifiek gaat over herkauwers zal een snede luzerne of grasklaver eerder aangewend worden als rantsoen voor het vee.

7.8.3 Bemestingsstrategie

- Fosforproblematiek: bedrijven die geconfronteerd worden met bemestingsregels die beperkingen opleggen omwille van de fosforproblematiek zullen noodgedwongen moeten overschakelen op alternatieven. Wanneer deze bedrijven in de mogelijkheid zijn kan de implementatie van maaimeststoffen een goede en duurzame bemestingsstrategie zijn.
- Fungeren als aanvulling: zoals eerder aangehaald kan het gebruiken van maaimeststoffen ook dienen als aanvulling op een hoofdbemesting. Zo kunnen biologische landbouwers door de combinatie te maken van maaimeststoffen en de wettelijk toegelaten hoeveelheid dierlijke mest toch hun akkers voldoende bemesten zonder in strijd te zijn met de mestwetgeving.

Besluit

Om de haalbaarheid van maaimeststoffen te achterhalen moeten we eerst de werking ervan kennen. Deze werking werd achterhaald aan de hand van een veld- en incubatieproef. Uit deze proeven kunnen we volgende besluiten trekken:

- Grote verschillen in samenstelling tussen verse en ingekuilde luzerne, zo ligt zowel het DS-gehalte als de gehalten aan nutriënten bij ingekuilde luzerne veel hoger. Daarnaast zien we lichte verschillen in gehalten door het verschil in maaitijdstip en duurtijd van inkuilen. Het DS-gehalte is toonaangevend wat betreft het N-gehalte, bij een hoog DS-gehalte zal de maaimeststof een hogere hoeveelheid N/kg vers product bevatten.
- Naarmate luzerne dichter tegen de zaai wordt toegediend zal de stikstof-werkingscoëfficiënt hoger zijn.
- De stikstof-werkingscoëfficiënt van ingekuilde luzerne is bijna dubbel zo hoog als deze van verse luzerne.
- De stikstof-werkingscoëfficiënten gemeten bij de veldproef zijn met waarden van 40 tot 95 % relatief hoog. De gemeten waarden bij de incubatieproef voor ingekuilde luzerne bedraagt 46 %, dit is een hoge waarde maar zeker niet onmogelijk omwille van de ideale omstandigheden in het labo.
- Alhoewel de stikstof-werkingscoëfficiënten relatief hoog zijn, vertaalde dit zich niet eenduidig naar een opbrengstverhoging of efficiëntere nutriëntenopname. Algemeen was er een opbrengstverhoging ten opzichte van de niet bemeste grond, echter was deze meeropbrengst minder groot dan wat verwacht werd uit de stikstof-werkingscoëfficiënten.
- Door hun interessante N/P-verhouding kunnen maaimeststoffen weldegelijk een oplossing bieden voor de fosforproblematiek.
- Luzerne kan een grote hoeveelheid effectieve organische koolstof aanvoeren. Weliswaar blijft een bemesting met runderstalmest en groencompost voor organische-stofaanvoer de beste keuze. Toch kunnen we algemeen stellen dat een luzerne bemesting in vergelijking met dierlijk drijfmest en pluimveemest het meeste EOC aanvoert.

Of een bemestingsvorm interessant kan zijn, hangt van het kostenplaatje af. Wanneer we alle kosten in rekening brengen, kost 1 kg N verse luzerne 4,13 €. Afhankelijk of het nog ingekuild of gepelleteerd wordt, komt er nog een kost bij, deze is respectievelijk 0,28 € en 5,29 €/kg N. Deze berekende prijs komt overeen met deze van Nelissen et al. (2017). Wanneer we de prijs voor de verse en ingekuilde luzerne vergelijken met deze van een in de handel verkrijgbare biologische organische meststoffen ligt deze zo'n 1,5 tot 1,9 keer lager. Wanneer we de prijs van de gepelleteerde luzerne vergelijken ligt deze echter 1,3 tot 1,6 keer hoger. Naast de berekende prijs per kg N is de berekende prijs per kg OS vele malen lager voor een eigen gewonnen luzerne in vergelijking met deze van een in de handel verkrijgbare biologische organische meststof. Algemeen kunnen we besluiten dat het gebruik van verse en ingekuilde luzernemaaisel, anders dan gepelleteerde luzerne economisch een betere keuze is in vergelijking met andere biologische organische meststoffen.

Om te besluiten dat maaimeststoffen weldegelijk haalbaar zijn in een biologische context is moeilijk te veralgemenen en bedrijfsspecifiek. Zo hangt dit zeer sterk af van het teeltplan, de

progressiviteit en toekomstvisie van de landbouwer, de toekomstige wetgeving met betrekking tot de fosforproblematiek, de beschikbaarheid van biologische dierlijke mest,...

Voor een aantal biologische landbouwers kan in de huidige context het gebruik van maaimeststoffen, al dan niet ter aanvulling van hun hoofdbemesting zowel grote ecologische als economische voordelen opleveren. Toch zal deze bemestingsvorm voor een overgroot deel van de biologische landbouwers momenteel vanwege ruimtegebrek en economische redenen niet interessant zijn, echter kan dit steeds wijzigen door veranderlijke omstandigheden.

Anders dan een eenjarige studie kan een veldstudie die gedurende meerdere jaren loopt een beter beeld geven van de voordelen van maaimeststoffen op lange termijn. Daarnaast kan bij een hogere belangstelling zowel het teelttechnisch als verwerkend aspect efficiënter aangepakt worden. Dit zal het economisch plaatje ten goede komen en hierdoor het potentieel van maaimeststoffen vergroten.

Referenties

- Alim, M.A., Alam, M.M., Khandker, S., Ahmed, S.A., Haque, A. & Akhter, N. (2001). Impact of crop residues on soil organic matter content and the production of late jute seed. *Journal of Biological Sciences*, 1(12), 1124-1126.
- Amery, F. & Vandecasteele, B. (2015). Wat weten we over fosfor en landbouw? Deel 3: Mogelijke maatregelen om fosforconcentraties in water te verlagen. Merelbeke, ILVO.
- Anonymus. (2018). Kostprijsraming voedergewassen 2018. Geel, Landbouwcentrum voor voedergewassen vzw. <http://www.lcvvzw.be/wp-content/uploads/2019/01/Kostprijsraming-voedergewassen-gangbare-teelten-2019-v5.pdf>
- BAM – Bemonsterings-en analysemethodes voor bodem in het kader van het mestdecreet: Bodem – Bepaling van snel vrijkomende organische stikstof. (2010).
- Bauer, P.J., Szögi, A.A. & Vanotti, M.B. (2007). Agronomic effectiveness of calcium phosphate recovered from liquid swine manure. *Agronomy Journal*, 99(5), 1352-1356.
- Bemestingsproef snijmaïs Beernem. Inagro vzw
- Bikker, P., van Harn, J., Groenestein, C. M., de Wit, J., van Bruggen, C., & Luesink, H. H. (2013). Stikstof- en fosforexcretie van varkens, pluimvee en rundvee in biologische en gangbare houderijsystemen. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Birkmose, T. S. & Vestergaard, A. V. (2013). Acidification of slurry in barns, stores, and during application.
- Bloem, J., Koopmans, C. & Schils, R. (2017). Effect van mest op de biologische bodemkwaliteit in de Zeeuwse akkerbouw.
- Bloom, A.J., Meyerhoff, P.A., Taylor, A.R. & Rost, T.L. (2003). Root Development and Absorption of Ammonium and Nitrate from the Rhizosphere. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21 (4).
- Bussink, D. W., Bakker, R. F., van der Draai, H., & Temminghoff, E. J. M. (2011). Naar een advies voor fosfaatbemesting op nieuwe leest; deel 1 snijmaïs.
- Bussink, D. W., Van Rotterdam-Los, A. M. D., & Wenzl, W. (2012). Potential of biologically acidifying cow slurry to reduce NH₃ emissions.
- Coussement T., (2017). Bepaling van de N-bemestingswaarde van verschillende organische meststoffen. Studie in opdracht van Provincie Vlaams-Brabant, Dienst Land- en tuinbouw. 12 pag.
- Cross, A.F. & Schlesinger, W.H. (1995). A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, 64, 197-214.
- Damon, P. M., Bowden, B., Rose, T. & Rengel, Z. 2014. Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils: A review. *Soil Biology & Biochemistry*, 74, 127-137.

- Daumer, M. L., Picard, S., Saint-Cast, P. & Dabert, P. (2010). Technical and economical assessment of formic acid to recycle phosphorus from pig slurry by a combined acidification-precipitation process. *Journal of Hazardous Materials*, 180, 361- 365.
- De Baets, S., Poesen, J., Meersmans, J. & Serlet, L. (2011). Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena*, 85(3), 237-244.
- De Waele, J., De Vliegheer, A., Vandecasteele, B., Odeurs, W., Elsen, A., Haesaert, G., Drycke, V., Verlinden, G., Bries, J., Wittouck, D. & De Neve, S. (2014). Beste landbouwpraktijken van teelten in combinatie met nateelten/vanggewassen. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door de Vakgroep Bodembeheer van de Universiteit Gent, de Vakgroep Plantaardige Productie van de Hogeschool Gent, de Eenheid Plant van het ILVO, de Bodemkundige Dienst van België en Inagro. 164 p.
- Djodjic, F., Montas, H., Shirmohammadi, A., Bergstrom, L. & Ulen, B. (2002). A decision support system for phosphorus management at a watershed scale. *Journal of Environmental Quality*, 31, 937-945.
- Fardeau, J.C. & Conesa, A.P. (1994). Le phosphore. *Pédologie Tome 2. Constituents et propriétés du sol*, 649-658.
- Gage, D.J. (2004). Infection and Invasion of Roots by Symbiotic, Nitrogen-Fixing Rhizobia during Nodulation of Temperate Legumes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 68, 280-300.
- Getachew, G., Laca, E.A., Putnam, D.H., Witte, D., McCaslin, M., Ortega, K.P. & DePeters, E.J. (2018). The impact of lignin downregulation on alfalfa yield, chemical composition and, in vitro gas production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), 4205-4215.
- Govaerts, W. & Sobry, L. (2011). Omschakelen naar de biologische landbouw.
- Hermans, I., Elsen, A. & Bries, J. (2010). Groenbemesters en nitraatresidu.
- Holford, I. C. R. (1997). Soil phosphorus: Its measurement, and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research*, 35, 227-239.
- Horst, W.J., Kamh, M., Jibrin, J.M. & Chude, V.O. (2001). Agronomic measures for increasing P availability to crops. *Plant and Soil*, 237, 211-223.
- Hospers-Brands, M., van der Burgt, G-J. & Janmaat L. (2015). Maaimeststoffen in bedrijfs- en ketenverband, plantaardige meststoffen in de praktijk. Louis Bolk Instituut.
- Hospers-Brands, M., van der Burgt, G-J. & Janmaat, L. (2015). Maaimeststoffen in bedrijfs- en ketenverband Plantaardige meststoffen in de praktijk. Louis Bolk Instituut.
- Inagro (2011). Code van goede praktijk bodembescherming, advies organische koolstofgehalte en zuurtegraad
- Johnston, A. E. (2000). Soil and plant phosphate. Paris, International Fertilizer Industry Association.
- Kai, P., Pedersen, P., Jensen, J. E., Hansen, M. N. & Sommer, S. G. (2008). A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *European Journal of Agronomy*, 28, 148-154.
- Kirkby, E.A. & Johnston, A.E. (2008). Soil and fertilizer phosphorus in relation to crop nutrition. *The ecophysiology of plant-phosphorus interactions*, 177-224.

- Koopmans, G. F., Chardon, W. J., de Willigen, P. & van Riemsdijk, W. H. (2004). Phosphorus desorption dynamics in soil and the link to a dynamic concept of bioavailability. *Journal of Environmental Quality*, 33, 1393-1402
- Liu, J., Bergkvist, G. & Ulen, B. (2015). Biomass production and phosphorus retention by catch crops on clayey soils in southern and central Sweden. *Field Crops Research*, 171, 130-137.
- Maguire, R. O., Dou, Z., Sims, J. T., Brake, J. & Joern, B. C. (2005). Dietary strategies for reduced phosphorus excretion and improved water quality. *Journal of Environmental Quality*, 34, 2093-2103.
- McDowell, R. W. & Sharpley, A. N. 2004. Variation of phosphorus leached from Pennsylvanian soils amended with manures, composts or inorganic fertilizer. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 102, 17-27.
- Muck, R.E. (1988). Factors influencing silage quality and their implications for management. *Journal of Dairy Science*, 71(11), 2992-3002.
- Nelissen, V., Willekens, K., Beeckman, A., Delanote, L., Dewitte, J., Tsegaye Gebremikael, M. & De Neve, S. (2017). Stikstofwerking van maaimeststoffen in relatie tot toedientingswijze en bodemconditie.
- Nelissen, V., Willekens, K., Beeckman, A., Delanote, L., Dewitte, J., Tsegaye Gebremikael, M. & De Neve, S. (2017). Stikstofwerking van maaimeststoffen in relatie tot toedientingswijze en bodemconditie.
- Nuruzzaman, M., Lambers, H., Bolland, M. D. A. & Veneklaas, E. J. (2005). Phosphorus uptake by grain legumes and subsequently grown wheat at different levels of residual phosphorus fertiliser. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(10), 1041-1047.
- Penn, C. J., Bryant, R. B., Kleinman, P. J. A. & Allen, A. L. (2007). Removing dissolved phosphorus from drainage ditch water with phosphorus sorbing materials. *Journal of Soil and Water Conservation*, 62, 269-276.
- Petersen, S.O., Andersen, A.J. & Eriksen, J. (2012). Effects of Cattle Slurry Acidification on Ammonia and Methane Evolution during Storage. *Journal of Environmental Quality*, 41(1), 88-94.
- Renneson, M., Dufey, J., Legrain, X., Genot, V., Bock, L. & Colinet, G. (2013). Relationships between the P status of surface and deep horizons of agricultural soils under various cropping systems and for different soil types: a case study in Belgium. *Soil Use and Management*, 29, 103-113.
- Rietberg, P. & ter Berg, C. (2012). BioKennis bericht Groene maaimeststoffen. Louis Bolk Instituut
- Salomez, J., De Bolle, S., Hofman, G. & De Neve, S. (2006). Afbakening van de fosfaatverzadigde gebieden in Vlaanderen op basis van een kritische fosfaatverzadigingsgraad van 35%. (VLM/MESTBANK/TWOL2006/MB2006/5).
- Scholberg, J. M. S., ter Berg, C., Staps, J. J. M. & van Strien, J. (2009). *Minder en anders bemesten: voordelen van maaimeststoffen voor de teelt van najaarsspinazie : resultaten veldproef bij Joost van Strien in Ens.* (Rapport / Louis Bolk Instituut; No. 2010-007 LbP). Louis Bolk Instituut.

- Scholberg, J., ter Berg, C., Staps, S. & van Strien, J. (2009). Minder en anders bemesten Voordelen van maaimeststoffen voor de teelt van najaarsspinazie. Louis Bolk instituut. 44.
- Schoumans, O. F., Chardon, W. J., Bechmann, M., Gascuel-Oudou, C., Hofman, G., Kronvang, B., Litaor, M. I., Lo Porto, A., Newell-Price, P., & Rubaek, G. H. (2011). Mitigation options for reducing nutrient emissions from agriculture. A study amongst European member states of Cost action 869.
- Schröder, J.J., de Visser, W., Assinck, F.B.T. & Velthof, G.L. (2013). Effects of short-term nitrogen supply from livestock manures and cover crops on silage maize production and nitrate leaching. *Soil Use and Management*, 29 (2), 151-160.
- Sibma, L. (1987). Ontwikkeling en groei van maïs (*Zea mays* L.) onder Nederlandse omstandigheden. Wageningen.
- Smil, V. (2000). Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 53-88.
- Sorensen, J.N. & Thorup-Kristensen, K. (2011). Plant-based fertilizers for organic vegetable production. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174 (2), 321-332.
- Szögi, A. A., Matias, M. B. & Hunt, P. G. (2015). Phosphorus recovery from pig manure solids prior to land application. *Journal of Environmental Management*, 157, 1-7.
- Szögi, A.A. & Vanotti, M.B. (2009). Prospects for phosphorus recovery from poultry litter. *Bioresource Technology*, 100(22), 5461-5465.
- Szögi, A.A., Vanotti, M.B. & Hunt, P.G., (2008). Process for Removing and Reverting Phosphorus from Animal Waste.
- Thorup-Kristensen, K., Dresbøll, D.B. & Kristensen, H.L. (2012). Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N recycling through fertility building crops. *European Journal of Agronomy*, 37(1), 66–82.
- Timmermans, B., Sukkel, W., & Bokhorst, J. (2012). Telen bij lage fosfaatniveaus in de biologische landbouw; achtergronden en literatuurstudie.
- Toleikienė, M., Arlauskienė, A., Sarūnaitė, L., Sidlauskaitė, G. & Kadziulienė Z. (2020). The effect of plant-based organic fertilisers on the yield and nitrogen utilization of spring cereals in the organic cropping system. *Zemdirbyste-Agriculture*, 107 (1), 17-24.
- van der Burgt, G.J. (2010). De hoge potentie van maaimeststoffen. Louis Bolk Instituut
- van der Salm, C., Dolfing, J., van Groenigen, J. W., Heinen, M., Koopmans, G., Oenema, J., Pleijter, M., & van den Toorn, A. (2006). Diffuse belasting van oppervlaktewater met nutriënten uit de veehouderij; Monitoring van nutriëntenverliezen uit grasland op zware klei in Waardenburg. 1266. Wageningen, Alterra.
- Van der Schans, D.A., Zwanepol, S., Jukema, A., Boxem, Tj., Nijssen, K., van Walbeek, M. & Philipsen, B. (1998). Teelt van Luzerne. Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt.
- van Dijk, W., Dekker, P. H. M., ten Berge, H. F. M., Smit, A. L., & van der Schoot, J. R. (2007). Aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op bouwland bij akker- en tuinbouwgewassen: Verkenning van noodzaak en mogelijkheden tot differentiatie. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

van Hamont, J., den Herder, C., Russchen, H.J. & Wander, J. (2014). Oogst en toediening maaimeststoffen Een deskstudie. DLV Plant

van Krimpen, M., van Middelkoop, J., Sebek, L., Jongbloed, A., & de Hoop, W. (2010). Effect van fosforverlaging in melkveerantsoenen en varkensvoerders op fosfaatexcretie via de mest. 324. Lelystad, Wageningen UR Livestock Research.

Van Wijk, K., Rietberg, P. & Timmermans, B. (2014). Naar een betere benutting van bodemfosfor Tussenrapportage Onderzoek in 2012-2013. Louis Bolk Instituut.

Vanden Nest, T., Vandecasteele, B., Ruyschaert, G. & Merckx, R. (2014). Incorporation of catch crop residues does not increase phosphorus leaching: a soil column experiment in unsaturated conditions. *Soil Use & Management*, 30(3), 351- 360.

Vanden Nest, T., Vandecasteele, B., Ruyschaert, G., Cougnon, M. & Merckx, R. (2014). Effect of organic and mineral fertilizers on soil P and C levels, crop yield and P leaching in a long term trial on a silt loam soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 197, 309-317.

Vandenberge, K., Temmerman, F., Beeckman, A. & Delanote, L. (2010). Wegwijzer organische handelsmeststoffen.

Vanrespaille, H., Smets, S., Verbeke, M., Gorissen, A., Hex, L., Elsen, A. & Bries, J. (2018). Organische bemesting: Wat en hoe?

Verordening (EG) nr. 834/2007 van de raad van 28 juni 2007 inzake de biologische productie en de etikettering van biologische producten en tot intrekking van Verordening (EEG) nr. 2092/91. (2007, 20 juli). *Publicatieblad van de Europese Unie*, (L189), 3-15.

Vlaamse Landmaatschappij (2015). Mestrapport 2015 over de mestproblematiek in Vlaanderen.

Vlaamse Landmaatschappij (2016). Fosfor en MAP 5.

Vlaamse Landmaatschappij (2017). Aanvraag van een nieuwe fosfaatklasse op basis van een bodemanalyse.

Vlaamse Landmaatschappij (2018). Normen en richtwaarden 2018 versie januari 2018.

Vlaamse Landmaatschappij (2018). Normen en richtwaarden 2018 versie januari 2018.

Vlaamse Landmaatschappij (2020). Normen en richtwaarden 2020 versie januari 2020

Vlaamse overheid. (2018). 6^{de} actieprogramma in uitvoering van de nitraatrichtlijn. 59.

FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
CAMPUS GEEL
Kleinhoefstraat 4
2440 GEEL, België
tel. + 32 14 72 13 00
iiw.geel@kuleuven.be
www.iw.kuleuven.be

