



Optimalisatie opbrengstbepaling van grasland

Afstudeerwerkstuk

Optimalisatie opbrengstbepaling van grasland

Scriptie

Auteur	Frank Hollewand 3021325@aeres.nl
Opleiding	Aeres Hogeschool Dronten Agrotechniek en Management
Afstudeerorganisatie	Wageningen University & Research
Afstudeerbegeleider	dr.ir. C (Corné) Kempenaar Senior Onderzoeker Wageningen UR Wageningen Plant Research
Datum en plaats	Juli 2022 Wageningen

DISCLAIMER

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

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie: ‘Optimalisatie opbrengstbepaling van grasland met sensoren’. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van en in samenwerking met Wageningen University & Research. Deze scriptie heb ik geschreven ter afronding van de hbo-opleiding Agrotechniek en Management aan de Aeres Hogeschool te Dronten.

Er dient vermeld te worden dat de periode waarin het onderzoek gedaan is en de uiteindelijke verslaglegging een lange periode overbrugd. Dit heeft meerdere oorzaken gehad maar uiteindelijk toch tot dit resultaat geleid. Oorzaken waren het al starten met een baan aansluitend op de stage voordat de scriptie was afgerond, het niet scherp kaderen van het onderwerp en het tijdspad en het niet tijdig handelen om de juiste stappen op het juiste moment te nemen.

Graag wil ik van dit moment gebruikmaken om een aantal mensen te bedanken die hebben geholpen aan het tot stand brengen van het afstudeerwerkstuk. Ten eerste wil ik Wageningen University & Research bedanken voor het beschikbaar stellen van apparatuur, onderzoeklocaties en de ondersteuning om dit afstudeerwerkstuk tot stand te brengen. Daarnaast wil ik Jouke Oenema en Marjan Dirksen bedanken. Jouke voor zijn ondersteuning lopende het onderzoek. Marjan Dirksen voor de steun en aanmoedigingen om door te zetten. In het bijzonder wil ik graag Corné Kempenaar bedanken voor het begeleiden en ondersteunen van dit afstudeeronderzoek niet alleen inhoudelijk maar ook voor het geduld, optimisme, en aanmoedigingen ondanks de alle obstakels.

Ik wens u veel leesplezier.

Frank Hollewand

Dronten, 05-07 '22

Inhoudsopgave

Afkorting en begrippenlijst.....	v
Samenvatting Nederlands.....	vi
Summary English.....	vii
1. Inleiding.....	1
1.1 Context.....	1
1.2 Probleemstelling.....	3
1.3 Doelstelling.....	3
1.4 Hoofdvraag en deelvragen.....	3
2. Theoretisch kader.....	5
2.1 Huidige situatie.....	5
2.2 Precisielandbouw.....	5
2.3 Grasopbrengst.....	6
2.4 Meetapparatuur.....	8
3. Materiaal en methode.....	11
3.1 Onderzoeksopzet.....	11
3.2 Planning.....	12
3.3 Onderzoeksmethode en -materialen.....	12
3.4 Meetapparatuur voor onderzoek.....	14
3.5 Data-analyse.....	14
3.6 Betrouwbaarheid en validiteit.....	15
4. Resultaten.....	16
4.1 Resultaten deelvraag 1.....	16

4.2 Resultaten deelvraag 2.....	17
4.3 Resultaten deelvraag 3.....	20
4.4 Resultaten deelvraag 4.....	20
4.5 Resultaten deelvraag 5.....	24
4.6 Resultaten hoofdvraag.....	25
5. Discussie.....	26
5.1 Inhoudelijke discussie	26
5.2 Methodologische discussie.....	26
6. Conclusies en aanbevelingen.....	27
6.1 Conclusies onderzoek.....	27
6.2 Eindconclusie	27
7. Aanbevelingen.....	28
Bibliografie.....	29
Bijlage 1	33
Bijlage 2	34
Bijlage 3	35
Bijlage 4	36

Afkortingen en begrippenlijst

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

NDRE: Normalized Difference Red Edge

WDVI: Weighted Difference Vegetation Index

VEM: Voeder Eenheid Melk

Kg/ds/ha: kilogram/drogestof/per hectare

Ntotaal/Ntot/Nt : hoeveelheid stikstof in het gewas

NIR: Near Infra Red

Pasture reader: meetinstrument in het onderzoek

Tec 5: meetinstrument in het onderzoek

OptRx: meetinstrument in het onderzoek

Samenvatting Nederlands

De grasopbrengst op een gemiddeld melkveebedrijf is zo'n 3,5 ton droge stof per hectare per jaar lager dan wat in theorie mogelijk is. Uit onderzoek is gebleken dat de grasopbrengst afgelopen jaren eigenlijk 14,3 ton gras per hectare per jaar had kunnen zijn, terwijl in de praktijk maar gemiddeld 10,8 ton werd geoogst. Daarmee blijft de opbrengst een kwart achter bij de potentie. (Feenstra, 2015)

Om de gewasopbrengst van grasland in de Nederlandse melkveehouderij te optimaliseren is het nodig om de gewasopbrengst te kunnen meten. Dit kan met behulp van precisielandbouw door de opbrengsten van het gewas plaats specifiek te meten en daarmee in kaart te brengen. In dit onderzoek is onderzocht hoe gewassensoren kunnen bijdragen aan het nauwkeurig meten van de opbrengst van grasland, zowel kwantitatief als kwalitatief. Dit resulteerde in de volgende hoofdvraag voor het onderzoek:

Hoe kan de Nederlandse melkveehouderijsector, door gebruik te maken van precisielandbouw, de gewasopbrengst van grasland optimaliseren met gebruik van meetapparatuur voor opbrengstbepaling?

In dit onderzoek zijn verschillende soorten meetapparatuur getoetst op opbrengst en/of kwaliteit van het gras ten tijde van het oogstmoment. Er is gemeten op 64 proefvelden op een vijftal momenten. De gebruikte meetapparatuur waren de Haldrup en de versgrasmonsters als referentie. Aan de hand van de referentie zijn de grashoogtemeter, Pasture Reader, OptRx van Ag leader en de Tec 5 multiscan in dit onderzoek gebruikt. Uit de resultaten is gebleken dat de gebruikte apparatuur nog niet een eenduidig beeld kan geven van de kwaliteit en of de kwantiteit. Alle meetapparaten scoorden een relatief lage correlatie bij de bepaling van het 1^{ste} oogst moment. De hoogste relaties werden voornamelijk gehad in de 2^e, 3^e en 4^e oogstmomenten. Het 5^e oogstmoment was voor de meeste meetapparatuur ook lastig de opbrengst goed te bepalen. De meetwaarden liggen gemiddeld zo'n 25-30 % afwijkend van opbrengstmetingen in de standaard van het onderzoek (Haldrup maaier en weging van het gemaaid gras).

De aanbevelingen zijn om meer vervolgonderzoek te doen met verschillende meet apparatuur of combinaties van verschillende meetinstrumenten om tot een betere opbrengstbepaling te kunnen komen. Ook is het aan te bevelen om in meerder soorten grasland te meten zoals kruidenrijk grasland.

Summary English

The grass yield on an average dairy farm is 3.5 tons of dry matter per hectare per year less than is theoretically possible. Research has shown that in recent years the grass yield could have been 14.3 tons of grass per hectare per year, while in practice only 10.8 tons were harvested. This means that the yield is a quarter below the potential. (Feenstra, 2015)

To optimize the crop yield of grassland in Dutch dairy farming, it is necessary to be able to measure the crop yield. This can be done with the help of precision agriculture by measuring crop yields and thus mapping the yields of grassland. This research investigated how crop sensors can contribute to accurately measuring the yield of grassland. This resulted in the following main question:

How can the Dutch dairy farming sector, by using precision agriculture, optimize the crop yield of grassland with the use of crop measurement equipment?

In this research, different types of measuring equipment have been tested on yield and/or quality of the grass at harvest time. Measurements have been made on 64 test fields at five moments in time. The measuring equipment used was the Haldrup and the fresh grass sample as reference. Based on the reference, the grass height meter, Pasture Reader, OptRx from Ag leader and the Tec 5 multi scan were used in this study. The results showed that the used equipment cannot yet give a clear view of the quality and/or quantity. All measuring devices scored a relatively low correlation in the determination of the 1st harvest moment, the highest correlations were mainly found in the 2nd, 3rd and 4th harvest moments. The 5th harvest moment was also difficult to determine properly for most measuring devices. The measured values deviate on average about 25-30 % from yield measurements in the standard of the study (Haldrup mower and weighing of the mown grass).

The recommendations are to do more follow-up research with different measuring equipment or combinations of different measuring instruments to be able to come to a better yield determination. It is also recommended to measure in more types of grassland, such as herb-rich grassland.

1. Inleiding

De melkveehouderij is een belangrijk onderdeel van de totale Nederlandse landbouw. Met zo'n 1,6 miljoen melkkoeien zorgen de Nederlandse melkveehouders voor een melkproductie van 14,3 miljard liter. Van de totale oppervlakte voedergewassen van 1.203.119 ha bestaat 987.061 ha uit grasland. (CBS, 2018). De grasopbrengst op een gemiddeld melkveebedrijf is 3,5 ton droge stof per hectare per jaar lager dan wat in theorie mogelijk is. Uit onderzoek is gebleken dat de grasopbrengst afgelopen jaren eigenlijk 14,3 ton gras per hectare per jaar had kunnen zijn, terwijl in de praktijk maar 10,8 ton werd geoogst. Daarmee blijft de opbrengst een kwart achter bij de potentie. (Feenstra, 2015)

Opbrengstbepaling

In de sector wordt de opbrengsten van grasland tot nu toe vooral op bedrijfsniveau bepaald. Op de traditionele wijze wordt de gewasopbrengst bepaald aan de hand van kuilafmetingen en de bemonstering daarvan. Om van bedrijfsniveau naar perceel specifieke opbrengstbepaling te gaan, of zelfs naar plaats specifieke opbrengstbepaling, is precisielandbouw een managent tool om dit tot stand te brengen. Het begrip precisielandbouw wordt op vele manier gebruikt, maar het juiste begrip (in dit verslag gehanteerd als): "Precision farming is doing the right thing, at the right place, at the right time, in the right way." (Blackmore, 2005)

Gebruik precisielandbouw

Precisielandbouw in graslandmanagement blijft nog achter ten opzichte van de mogelijkheden die er zijn voor de landbouw. Hiervoor zijn verschillende redenen te noemen. Twee van de belangrijkste redenen zijn de onzekerheid over de meeropbrengst van het product en de terugverdientijd. Deze onzekerheid en het rendement zijn op te delen in drie categorieën (van der Wal, 2017):

1. Complexiteit van het juist toepassen van precisielandbouw;
2. Het niet kunnen vaststellen van het rendement en de onzekerheid over de terugverdientijd;
3. De nog ontbrekende modellen van databeheer en -bescherming.

1.1 Context

Graslandopbrengsten staan onder druk door beperkende factoren in de milieuregelgeving. In 2025 verandert de regelgeving en moet men 65% van de eiwitten van eigen land halen, goed graslandbeheer is daarom van essentieel belang. De belangrijkste regels rond graslandbeheer die vanuit Nederlandse- en Europese wetgeving van invloed zijn, worden hieronder beschreven: gebruiksnormen stikstof en fosfaat.

Naast stikstof (N) en fosfaat (P) is kali (K) ook een van de belangrijkste meststoffen. Echter, Kali heeft geen beperkende factoren. De gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat zijn afhankelijk van de grondsoort, het al dan niet toepassen van weiden en/of maaien en derogatie.

1.1.1 Gebruiksnormen stikstof

In de Nitraatrichtlijn zijn afspraken gemaakt over de hoeveelheid nitraat die is toegestaan in het grondwater, zo mag in het grondwater maximaal 50 mg nitraat terechtkomen. (WEnR, 2017) Elk van de Europese lidstaten moet zich aan de Nitraatrichtlijn houden. Hierbij is het grotendeels aan elke lidstaat hoe ze dit bereiken. De Nederlandse invulling van de Nitraatrichtlijn is vastgelegd in de Meststoffenwet (MSW).

Het is dus van belang dat mest optimaal benut wordt, zodat er minder uitspoeling plaatsvindt en er meer mest benut wordt voor een betere grasgroei, in kwaliteit en kwantiteit.

Verder gelden er voor het bemesten van grasland maximum hoeveelheden dierlijke mest die aangewend mogen worden. De normen zijn 170, 230 of 250 kilogram stikstof uit dierlijke mest. Bedrijven zonder derogatie, die dus niet voldoen aan de eis van 80% grasland van het eigen areaal, mogen 170 kilogram stikstof aanwenden uit dierlijke mest. Voor bedrijven met derogatie geldt dat zij 230 of 250 kilogram stikstof uit dierlijke mest mogen aanwenden. De grondsoort is hierin leidend, met 230 kilogram voor zand en lössgronden. Voor klei en veen geldt 250 kilogram. (KWIN, 2019). De tabellen van bovengenoemde zijn weer gegeven in bijlage 4 (RVO, 2018).

1.1.2 Gebruiksnormen fosfaat

Net als bij stikstof, zijn er ook maximale grenzen voor fosfaat. Dit komt doordat in de Nederlandse melkveehouderij fosfaatbemesting alleen is toegestaan uit organische mest. De berekening voor fosfaat is: aantal hectare grasland op 15 mei huidige jaar * 75 kilogram fosfaat. Als uit de analyses van de grondmonsters blijkt dat de fosfaattoestand anders is, dan gelden de normen in tabel 1.1.

Tabel 1.1 Fosfaatgebruiksnormen Grasland 2020

Klasse	PAL-waarde	Hoeveel fosfaat (per ha)	Protocol voor bemonsteren
Hoog	> 50	75 kg	Geen
Ruim	41 t/m 50	90 kg	Fosfaatdifferentiatie en Derogatie, of Fosfaatarm en Fosfaatfixerend
Neutraal	27 t/m 40	95 kg	Fosfaatdifferentiatie en Derogatie, of Fosfaatarm en Fosfaatfixerend
Laag	16 t/m 26	105 kg	Fosfaatdifferentiatie en Derogatie, of Fosfaatarm en Fosfaatfixerend
Arm	< 16	120 kg	Fosfaatarm en Fosfaatfixerend

1.1.3 Meststof Kali

De meststof kali is niet beperkend maar is wel belangrijk voor de grasgroei van de plant, omdat het mede de waterhuishouding van de plant regelt. Een juiste kalibemesting zorgt ervoor dat er meer gras groeit, het gras minder snel verouderd en de smaak van het gras beter blijft (Agrio uitgeverij, 2013). Om deze meststoffen ook daadwerkelijk goed in te zetten is inzicht nodig in de (te verwachten) opbrengst van grasland. Het juiste inschaarmoment bij beweiding en het bepalen van de graslandopbrengst voor het maaien, dragen bij aan optimaal graslandmanagement. Hier komt de rol van precisielandbouw in beeld als hulpmiddel bij de bepaling van graslandproductie. Een van de hulpmiddelen voor gebruik van precisielandbouw is het gebruik van sensoren ter bepaling/monitoring van de optimale groei en opbrengst.

1.2 Probleemstelling

Om de gewasopbrengst van grasland in de Nederlandse melkveehouderij te optimaliseren is het nodig om de gewasopbrengst te kunnen meten. Dit kan aan de hand van de verschillende meetapparatuur. Om erachter te komen welke meetapparatuur het beste functioneert, is onderzoek nodig.

1.3 Doelstelling

Het overkoepelende doel van het onderzoek is om de gewasopbrengst van grasland binnen de melkveehouderij in Nederland te optimaliseren door, met behulp van meetapparatuur, de opbrengst plaats specifiek te kunnen bepalen. Om aan dit overkoepelende doel bij te dragen, wordt er in dit onderzoek gefocust op de mogelijkheden om de opbrengst met verschillende sensoren te meten.

1.4 Hoofdvraag en deelvragen

Om de doelstellingen te realiseren is onderzoek nodig, er moet namelijk bepaald worden of de gewasopbrengsten gemeten kunnen worden met behulp van meetapparatuur. Om dit onderzoek handvatten te geven is een hoofdvraag opgesteld met de daaruit voortvloeiende deelvragen. Door gebruik te maken van meetapparatuur voor opbrengstbepaling kan men beter inschatten wat de gewasopbrengst per perceel of zelfs plaatsspecifiek is. De hoofdvraag van dit afstudeeronderzoek luidt als volgt:

Hoe kan de Nederlandse melkveehouderijsector, door gebruik te maken van precisielandbouw, de gewasopbrengst van grasland optimaliseren met gebruik van meetapparatuur voor opbrengstbepaling?

1.4.1 Deelvragen

Bij het beantwoorden van de hoofdvraag zijn verschillende factoren van belang. Deze factoren zijn samengevoegd tot de deelvragen. De deelvragen zorgen ervoor dat de verschillende factoren van de hoofdvraag afgebakend worden, zorgen voor overzicht en onderbouwen de hoofdvraag. De deelvragen luiden als volgt:

1. Welke abiotische en biotische aspecten bepalen de kwantiteit en kwaliteit van de gras opbrengst?
2. Welke meetinstrumenten zijn beschikbaar om de hoeveelheid en kwaliteit van de grasopbrengst te meten?
3. Hoe goed voorspellen de verschillende meetinstrumenten de grasopbrengst?
4. Welke correlatie bestaat tussen de meetresultaten van de meetapparatuur?
5. Wat zijn de voor- en nadelen van de verschillende meetinstrumenten?

2. Theoretisch kader

2.1 Huidige situatie

De gewasopbrengst wordt op traditionele wijze bepaald. De opbrengst van het ingekuilde product wordt bepaald door het volume van de kuil te bepalen. Vervolgens wordt er met behulp van opgestelde tabellen waar productie-informatie op staat de dichtheid in kg drogestof per m³ bepaald. Dit kan leiden tot zeer grote afwijkingen van wel 30 procent. (Zom, 2013). Anno 2022 is het steeds meer van belang om een optimale gewasopbrengst te realiseren. Dit kan men bereiken door de gewasopbrengsten te monitoren, op perceelniveau of zelfs plaats specifiek.

2.2 Precisielandbouw

Om van een bedrijfsspecifieke opbrengstbepaling naar een perceel- of plaats specifieke opbrengstbepaling te gaan, wordt precisielandbouw gebruikt als een managent tool. Het begrip precisielandbouw wordt op vele manieren gebruikt, maar het juiste (in dit verslag is de volgende definitie gehanteerd) begrip is: “Precision farming is doing the right thing, in the right place, at the right time, in the right way” (Blackmore, 2005). In figuur 2.1 staat het stappenplan van een bedrijfsspecifieke opbrengstbepaling naar een perceel- of plaats specifieke opbrengstbepaling te gaan:



Figuur 2.1 Stappenplan opbrengstbepaling.

2.2.1 Nederlands precisielandbouw blijft achter

Dat precisielandbouw in Nederland nog niet massaal gebruikt wordt, heeft te maken met de complexiteit, ontbrekende modellen en het bewezen rendement. Het is nog niet voor alle ondernemers duidelijk/meetbaar of precisielandbouw van meerwaarde is. Verder is precisielandbouw complex. Het is geen ‘plug and play’ concept, al doen verkopers het wel zo lijken. Tot slot rest er de vraag van wie de data met bijbehorende modellen is en hoe men dit moet toepassen (van der Wal, 2017).

2.3 Grasopbrengst

De teelt van gras met een maximale opbrengst is afhankelijk van verschillende factoren. Een belangrijke factor bij grasteelt is de (kwaliteit van de) bodem. Naast de bodem zijn nog een aantal aspecten van belang, zoals waterhuishouding, bemesting en graskeuze (mengselkeuze).

De grasgroei start bij een bodemtemperatuur van 5 tot 8 graden Celsius. Bij de bodemtemperatuur van lager dan 5 graden en hoger dan 25 graden vindt geen grasgroei plaats. De optimale bodemtemperatuur voor maximale grasgroei is 15 graden (Remmelink G. J., 2015).

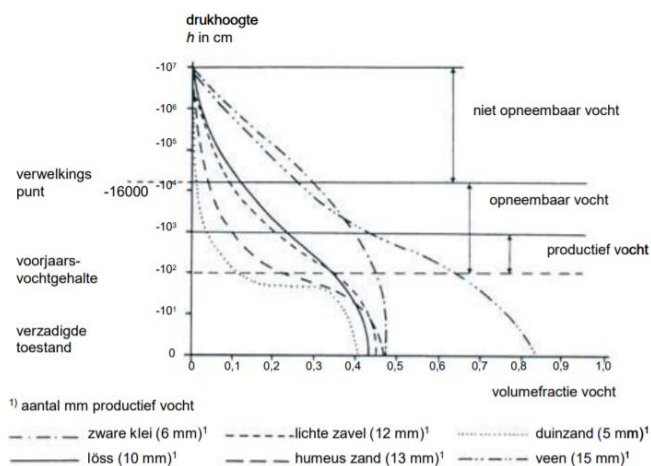
2.3.1 Bemesting

Om een maximale opbrengst uit grasland te halen, is het noodzakelijk om de bemesting van het grasland zo goed mogelijk te managen. Dit kan door aanpassingen te doen aan de hoeveelheid mest in kuub en nutriënten. Zoals beschreven in de inleiding zijn er grenzen gesteld aan de hoeveelheid mest die een melkveehouder mag gebruiken op zijn land. In Nederland wordt bemesting toegepast via drijfmest, kunstmest en vaste mest. Vooral drijfmest en kunstmest wordt gebruikt binnen de Nederlandse melkveehouderij.

De nutriënten waarmee in de praktijk gewerkt wordt zijn vooral stikstof (N), fosfaat (P) en Kalium (K). Stikstof bevordert de groei en fotosynthese van de plant en zorgt voor de eiwitten in het gras. Kalium zorgt voor fotosynthese, transport van water en nutriënten en de vochthuishouding. Fosfaat zorgt voor wortelgroei, energievoorziening, ademhaling en jeugdgroei (Mahler, 2004)

2.3.2 Vocht

Voor de groei van gewassen is vocht cruciaal. In figuur 2.2 staat weergegeven wat de verschillende vochtkenmerken zijn van de verschillende gronden (Remmelink G. v., 2020).



Figuur 2.2 Vochtkenmerken bodem

2.3.3 kwaliteit gras

In opbrengstbepaling van grasland is zowel de kwantiteit als de kwaliteit van belang. De kwantiteit zegt iets over de kilogrammen product per oppervlak. De kwaliteit van het gras wordt weergegeven in verschillende aspecten, genaamd 'voederwaarde'. De belangrijkste voederwaardegegevens zijn:

1. Voerdereenheid melk (VEM);
2. Darm verteerbare eiwitten (DVE);
3. Structuurwaarde;
4. Drogestof gehalte. (Boerenverstand, 2014)

In goed grasland is het belangrijk om zoveel mogelijk goede grassen te hebben. Tot goede grassen behoren: Engels raaigras, timotheegras, en veldbeemdgras. Om zoveel mogelijk goede grassen in het veld te hebben is het van belang om onkruiden tegen te gaan. Onkruiden verminderen de grasopbrengst kwalitatief en kwantitatief.

De meest voorkomende productie grassen zijn Engels raaigras, Timothee, Italiaans raaigras en klavers. (Remmelink G. J., 2014). In het grassenbestand kunnen andere minder productieve grassen voorkomen zoals ruwbeemd, witbol, kropaar en vossenstaart. Naast de mindere grassen zijn er nog de onkruiden die helemaal ongewenst zijn en de kwaliteit verder laten dalen

In onderstaande tabel staan de verschillen weergegeven tussen goede grassen met onkruid en goede grassen zonder onkruid.

Tabel 2.1 Onkruid vs. vers gras

	Onkruid	Vers gras	Verskil
VEM	775	962	+ 24%
DVE	63	90	+ 43%
Structuurwaarde	1.2	1.9	+ 58%
Droge stof	101	133	+ 31%

Tabel 2.1 benadrukt de noodzaak van het verminderen van onkruid in graslanden. Zoals zichtbaar is in de tabel, geeft onkruid namelijk grote verschillen in opbrengst en ruwvoerwaarde. (Philipsen, 2018)

2.4 Meetapparatuur

In de landbouw zijn al allerlei verschillende meetproducten op de markt te vinden, van handmeetapparatuur tot satellietdata. De mogelijke meetapparaten worden in deze paragraaf behandeld. In de lijst is er onderscheid gemaakt op basis van de manier van meten en van data verzamelen. De verschillende apparaten onderscheiden zich door het meetbereik, de opbrengstbepaling en de manier van meten. In deze paragraaf wordt kort stilgestaan bij de verschillende meetinstrumenten. In hoofdstuk 3 worden de apparaten die gebruikt zijn voor het onderzoek nader beschreven.

2.4.1 De grashoogte meter

De graslandhoogtemeter is een apparaat dat metingen verricht op basis van de hoogte van het gras. De hoogtemeting vindt plaats doordat de schijf ten opzichte van de steel in hoogte beweegt. Op het moment dat de schijf op het gras geplaatst wordt, zakt de steel tot aan de bodem. De plaat blijft op het gras liggen, waardoor de grashoogte gemeten wordt. (Holshof, 2016)

2.4.2 Pasture Reader

Met de Pasture Reader worden de grashoogte en de grasdichtheid gemeten doormiddel van ultrasone technologie. De gemeten waarden worden door middel van een formule bepaald door de fabrikant en omgerekend naar kilogram droge stof. De Pasture Reader kan op alle vlak-voortbewegende voertuigen gebouwd worden, zoals een maaier en quad. (Thibautier, 2019)

2.4.3 Weegbrug

De weegbrug meet de opbrengst van het gras op het moment dat het gras al geoogst is. De weegbrug meet het gewicht van de wagen vol en de wagen leeg. Een weegbrug is een industriële weegschaal voor vrachtwagens en andere toepassingen. Een weegbrug bestaat uit twee varianten; een mobiele weegbrug of een weegbrug op vaste locatie. Beide varianten kunnen een grote vracht meten, zoals van een vrachtwagen of een landbouwvoertuig. Het voertuig dient geheel op het weegplateau ofwel het dek te staan. In het dek zitten loadcellen, dat zijn sensoren die het gewicht van het voertuig meten. (MT, sd)

2.4.4 Haldrup

De Haldrup is een oogstmachine die ontworpen is om proefvelden van verschillende gewassen te oogsten. Elk proefveld wordt met de Haldrup apart geoogst en apart gewogen om zo per veld te bepalen wat de opbrengst in kilogrammen product is. Ook kan er van elk veld een monster genomen worden om in het lab te analyseren. (Haldrup, sd)

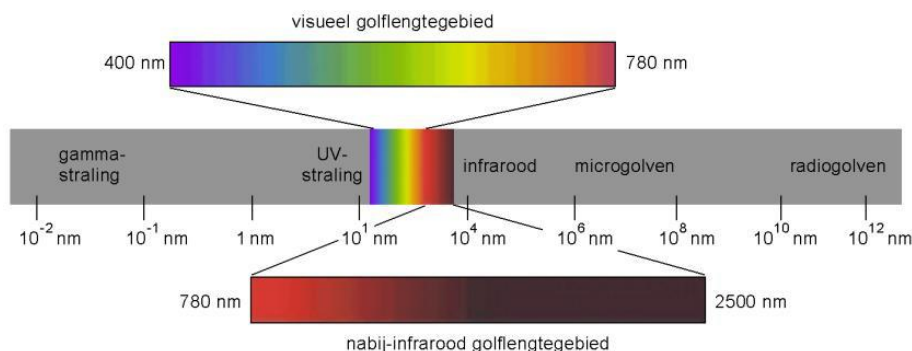
2.4.5 Verse grasmonsters

Om de waarden van het geoogste gras te bepalen worden er monsters genomen van het gras. De vers grasmonsters worden door het lab geanalyseerd om zo de kwaliteit van het gras te bepalen. Om een monster te nemen dient men zigzaggend door het perceel te lopen en op verschillende plaatsen plukken gras te verzamelen in een plastic monsterzak. De plukken gras moeten minimaal 5 cm van de grond afgeknipt of gesneden worden. Bij het nemen van het monster is het niet gewenst om afwijkende plekken mee te nemen in de bemonstering.

Het monster moet daarna zo goed als lucht vrij gemaakt worden om aanraking met de buitenlucht zoveel mogelijk te voorkomen. Hierna kan het monster naar het lab gestuurd worden voor de analyse. (Eurofins Agro, -)

2.4.6 NIR-spectroscopie

NIR-spectroscopie maakt gebruik van het infrarode gedeelte van het elektromagnetische spectrum dat dicht bij het visuele licht ligt. Elektromagnetische golven (licht) worden gekenmerkt door de golflengte. Visueel licht heeft een golflengte tussen de 390 nanometers (Nm) (paars) tot ongeveer 800 Nm (donkerrood). Nabij-Infrarood licht heeft een golflengte tussen de 800 Nm en de 2500 Nm. (Zedde, 2014). In figuur 2.3 staat de bandbreedte lichtspectrum weergegeven (Zedde, 2014).



Figuur 2.3 Bandbreedte lichtspectrum.

2.4.7 Tec 5

De Tec 5 meet op basis van spectrale metingen. De tec5 meet net als de NIR verschillende bandbreedtes binnen het zichtbare- en niet-zichtbare lichtspectrum van 390 nanometers tot 1100 nm. Met de Tec 5 verricht men de metingen met de hand, deze metingen kunnen plaatsspecifiek uitgevoerd worden.

2.4.8 Ag leader OptRx

De OptRx gewassensor van het bedrijf Homburg B.V. is een sensor die reflectie meet van de gewassen. De OptRx kan tijdens het scannen de waarneming omzetten in mogelijke acties. De OptRx

sensor maakt gebruik van een eigen lichtbron en kan daardoor onafhankelijk werken van de omstandigheden. Op basis van de metingen van de sensoren wordt een reflectie omgezet in een vegetatie index. De vegetatie index bestaat uit NDRE (Normalized Difference Red Edge) of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Homburg, 2019).

2.4.9 Satellieten

Satellieten worden al tientallen jaren ingezet voor het meten van biomassa van gewassen, dit doen ze aan de hand van lichtreflectie. Omdat bewolking de beelden onbruikbaar maakt, wordt deze toepassing vooral in het buitenland gebruikt. Echter, dit is aan het veranderen. Het aantal satellieten dat van Noordwest-Europa opnames maakt, is toegenomen. Hierdoor komen er vaker beelden beschikbaar, wat de kans op bruikbare beelden groter maakt. Het gratis beschikbaar stellen van satellietbeelden door de Nederlandse overheid via het nationale satelliet-dataportaal draagt hier enorm aan bij. Om de beelden te gebruiken voor precisielandbouw moeten dit Multi spectrale beelden zijn (zichtbaar en onzichtbaar licht) met een voldoende hoge resolutie, bij voorkeur 8m (Hoving, et al., 2015).

2.4.10 Drones

Drones kunnen vergelijkbare spectrale beelden maken als satellieten. Echter, drones zijn niet afhankelijk van bewolking. Dit maakt de toepassing van reflectiemetingen gemakkelijker, maar de vraag is hoe goed deze meetmethode werkt (Hoving, et al., 2015).

2.4.11 Reflectiemetingen

Gewasopbrengsten kunnen gemeten worden door met een Multi spectrale camera de ingekomen hoeveelheid licht en de teruggekaatste hoeveelheid licht in verschillende bandbreedtes van een bepaalde oppervlakte te meten. De verhouding tussen het ingekomen en het gereflecteerde licht is een maat voor de hoeveelheid biomassa of voor kenmerken van het gewas zoals het chlorofylgehalte. Per bandbreedte is de mate van absorptie en reflectie verschillend. Voor biomassa geeft de kleur rood de meeste absorptie en geeft nabij-infrarood (NIR) de meeste reflectie. Door middel van een index wordt een verhouding tussen reflectiewaarden van verschillende bandbreedtes berekend om tot een goede schatting van de biomassa te komen. Van de verschillende indexen is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de meest bekende (Hoving, et al., 2015).

3. Materiaal en methode

3.1 Onderzoeksopzet

De onderzoeksopzet bestaat uit kwalitatief- en kwantitatief onderzoek en is onderverdeeld in de begrippen deskresearch en fieldresearch.

3.1.1 Deelvraag 1

Welke abiotische en biotische aspecten bepalen de kwantiteit en kwaliteit van de grasopbrengst?

Om de eerste deelvraag te beantwoorden werd deskresearch uitgevoerd. Er werd onderzocht welke abiotische- en biotische factoren hebben invloed op de grasopbrengst. De deskresearch werd gedaan door het raadplegen van openbare wetenschappelijke literatuur, rapporten en vakliteratuur.

3.1.2 Deelvraag 2

Welke meetinstrumenten zijn beschikbaar om de hoeveelheid en kwaliteit van de grasopbrengst te meten?

De tweede deelvraag werd wederom beantwoord door middel van deskresearch. Er werd onderzocht welke meetapparatuur (sensoren) er op de markt zijn om grasopbrengst te meten. Dit werd gedaan door vakbladen, wetenschappelijke literatuur en rapporten te raadplegen.

3.1.3 Deelvraag 3

Hoe goed voorspellen de verschillende meetinstrumenten de grasopbrengst?

Om deze vraag te beantwoorden werd fieldresearch gedaan. De verschillende meetapparatuur werden getest onder praktische omstandigheden om erachter te komen of de apparaten werkelijk meten wat de fabrikanten aangeven en of de meetwaarden correct zijn. Alle apparaten werden getest door herhaaldelijk metingen op verschillende proefvelden te verrichten.

3.1.4 Deelvraag 4

Welke correlatie bestaat tussen de meetresultaten van de meetapparatuur?

Nadat de fieldresearch was afgerond, werden de meetwaarden verder geanalyseerd door ze te vergelijken met de referentie-opbrengstwaarden. De analyse op correlatie werd uitgevoerd met behulp van een open source geografisch informatiesysteem (Qgis) en Excel analyse pakket.

3.1.5 Deelvraag 5

Wat zijn de voor- en nadelen van de verschillende meetinstrumenten?

Het antwoord op deelvraag vijf, werd beantwoord uit de resultaten op de eerste vier deelvragen en geeft een inzicht in de voor- en nadelen van de meetinstrumenten.

3.1.6 Hoofdvraag

Nadat alle resultaten geanalyseerd en alle deelvragen beantwoord waren, werd de hoofdvraag beantwoord. De hoofdvraag wordt in dit rapport toegelicht in het hoofdstuk 5, de discussie.

3.2 Planning

In bijlage 3 is de planning toegevoegd. Deze planning geeft aan wat de doorlooptijd van het onderzoek is en wanneer actie ondernomen moest worden. Het veldonderzoek (fieldresearch) is seizoensgebonden, de doorlooptijd is daar dus afhankelijk van. Gedurende het hele grasseizoen in 2019 werd de opbrengst gemonitord.

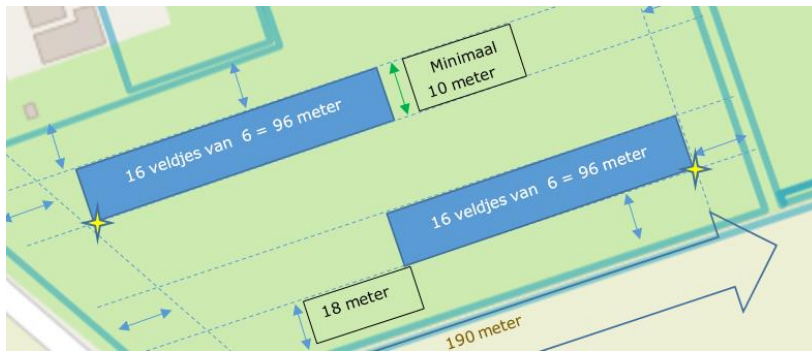
3.3 Onderzoeksmethode en -materialen

Het onderzoek richt zich op het bepalen van graslandopbrengsten, gemeten in kilo's droge stof per hectare. Hiervoor worden vijf meetinstrumenten genoemd die we met elkaar vergeleken:

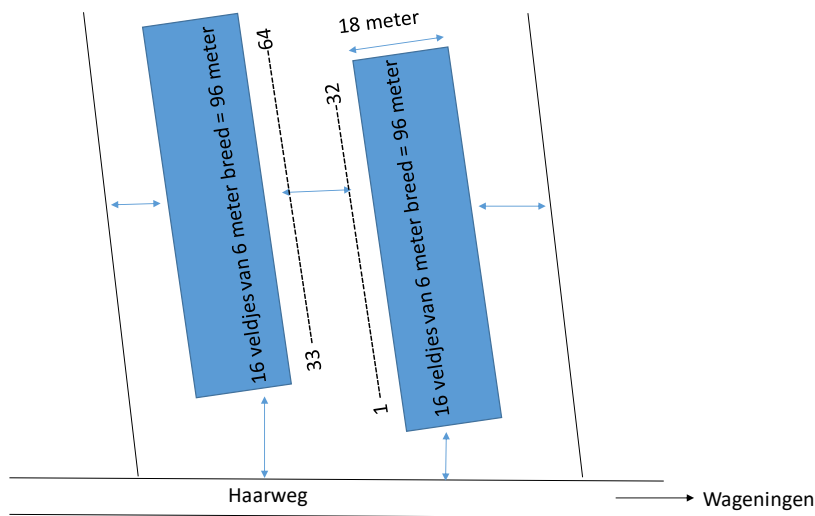
1. De grashoogtemeter;
2. Pasture reader;
3. De OptRx;
4. Tec 5.
5. Haldrup (referentie-methode)

Het onderzoek vond plaats op graslandpercelen van KTC “de Marke” in Hengelo (Gld.) en op proefpercelen van de WUR te Wageningen.

In onderstaande afbeeldingen worden plattegronden van de percelen weergegeven waarop metingen zijn verricht.



Figuur 3.1 Proefveld 'De Marke'



Figuur 3.2 Proefveld Wageningen

De proefvelden werden opgedeeld in 64 kleine proefvelden van 18 meter bij 3 meter. Binnen de strook van 18 meter werd de strook van 0 tot 10 meter gebruikt om de werkelijke opbrengst te bepalen en werd de strook van 10 tot 18 meter gebruikt voor eventuele extra metingen, monsters of andere toepassingen.

3.4 Meetapparatuur voor onderzoek

In deze paragraaf wordt de meetapparatuur behandeld, die gedurende het onderzoek gebruikt werd om de opbrengst of de kwaliteit te meten. In hoofdstuk 2.4 is al benoemd welke apparatuur op de markt is. In deze paragraaf behandelen we de meetapparaten die in dit onderzoek gebruikt werden. In hoofdstuk 4 wordt dieper ingegaan op de werking en de resultaten die de meetinstrumenten hebben opgeleverd.

De volgende meetapparaten werden gebruikt in het onderzoek:

- Grashoogtemeter;
- Pasture reader;
- OptRx Homburg;
- Tec 5;
- De Haldrup (referentie-methode).

De Haldrup is een oogstmachine die op proefvelden voor onderzoek gebruikt wordt. Deze machine maait, verzamelt en weegt het verse product in een handeling. Daarnaast kan er van elke proefveld wat gemaaid is een vers product monster genomen worden om de kwaliteit te bepalen.

3.5 Data-analyse

De verschillende meetapparaten leverden veel data/mmeetwaarden. Elke data-set moest eerst nader bekeken worden en waar nodig aangepast worden, voordat de analyse op nauwkeurigheid en correlaties gedaan konden worden. De gecontroleerde meetwaarden werden in Excel files geplaatst voor analyse in het dataverwerkingsprogramma van de fabrikant en ingelezen in het geografische programma Qgis voor ruimtelijke visualisatie.

Aandachtspunten bij het controleren van de data, en aanpassingen doen, waren:

De data van de grashoogtemeter wordt weergegeven in kg/dm/ha, dit is een nog niet gecorrigeerde waarde. De stoppel dient hier nog van afgehaald te worden.

De data van de Pasture reader wordt eveneens weergegeven in kg/dm/ha en dient ook omgerekend te worden. Dit kan met behulp van Excel. De specifieke meetdata kan omgezet worden met Qgis om per veld inzichtelijk te krijgen wat de meetpunten en de opbrengst is.

De OptRx geeft de data in een vegetatie index in NDRE en NDVI, met als doel de stikstofbepaling te kunnen realiseren. De OptRx van AG leader heeft een eigen dataverwerkingsprogramma genaamd AG-leader SMS. In dit programma kan de data geëxporteerd worden naar shapefiles om zo de data in Qgis uit te kunnen lezen.

De Tec 5 zal aan hand van de reflectiemetingen getoetst worden door de meetbanden proberen te correleren met opbrengst of stikstofgehalte(N). De data zijn uit te lezen door de data van de sensor te verwerken in Excel.

De data van de Haldrup wordt weergegeven in kilo's gemaaid product. Deze data zijn af te lezen van de weegschaal. Deze data worden per veld gemeten en genoteerd. Dit dient vervolgens omgerekend te worden naar kg/dm/ha met de waardes van de versgrasmonsters om zo de juiste opbrengstbepaling te kunnen doen.

3.6 Betrouwbaarheid en validiteit

3.6.1 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid werd getoetst aan de hand van een statische analyse. De gegevens die verzameld zijn, werden verwerkt en getoetst in het programma Excel.

Om het onderzoek betrouwbaar te maken dient de volgende vraag gesteld te worden: 'zijn de resultaten hetzelfde als het onderzoek nogmaals wordt uitgevoerd onder dezelfde omstandigheden?' Onderstaande maatregelen werden genomen om hierop een antwoord te kunnen geven:

- Kalibratie van de meetapparatuur;
- De manier van meten is altijd hetzelfde;
- De omstandigheden zijn gelijk;
- De frequentie van meten is hetzelfde;
- De omvang is van voldoende grootte om toeval uit te sluiten.

3.6.2 Validiteit

De validiteit werd bepaald op basis van de volgende vraag: 'Wordt er gemeten wat er gemeten dient te worden en kan dit herhaald worden?' Validiteit betekent dus dat men meet wat men hoort te meten.

Onderstaand worden een aantal voorwaarden beschreven voor waarborging van de validiteit:

- Het onderzoek is afgebakend en wordt niet te breed zodat de beoogde resultaten behaald kunnen worden;
- De meetinstrumenten dienen te kunnen meten wat er verwacht wordt met de metingen;
- Het stappenplan is duidelijk;
- De meetapparatuur wordt vooraf getest.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van dit onderzoek per deelvraag behandeld. In paragraaf 4.6 wordt uiteindelijk antwoord gegeven op de hoofdvraag.

4.1 Resultaten deelvraag 1

Welke abiotische en biotische aspecten bepalen de kwantiteit en kwaliteit van de grasopbrengst?

De grasgroei is op te delen in twee factoren, de abiotische- en de biotische aspecten. De abiotische factoren zijn licht, temperatuur, wind, water, mengselkeuze, en bodemeigenschappen. De biotische eigenschappen zijn alle levende organismes binnen het systeem, zoals wormen, insecten, ongedierte en micro-organismen. (wikiwijs, sd)

Gras wordt op twee manieren beoordeeld, namelijk op de kwaliteit en de kwantiteit. De optimale grasopbrengst bestaat uit een combinatie van kwaliteit en kwantiteit.

4.1.1 Kwantiteit

De opbrengst in kwantiteit wordt bepaald door de hoeveelheid gras in gewicht te meten per oppervlak. De opbrengst wordt vervolgens gecorrigeerd met het drogestof (ds) percentage. Dit resulteert in kilogrammen (kg)/ drogestof (ds) per oppervlak.

4.1.2 Kwaliteit

De kwaliteit van het gras wordt weergegeven als de voederwaarde van het gras. De belangrijkste kwaliteit-eigenschappen van het gras zijn: VoederEenheidMelk (VEM), eiwitten, structuurwaarde, verteerbaarheid en DS-percentage. (Boerenverstand, 2014)

De samenstelling van het grassenbestand is belangrijk voor de voederwaarde. De meest voorkomende productie grassen zijn: Engels raaigras, Timothee, Italiaans raaigras en Klavers. (Remmelink G. J., 2014). In het grassenbestand kunnen ook andere minder productieve grassen voorkomen, zoals: Ruwbeemd, Witbol, Kropaar en Vossenstaart. Naast de minder productieve grassen, zijn er nog de onkruiden die helemaal ongewenst zijn en de kwaliteit verder laten dalen.

4.1.3 Groeifactoren

De mate van grasgroei is afhankelijk van de beschikbare elementen en condities. De belangrijkste factoren voor grasgroei zijn water, temperatuur, nutriënten voorziening en de bodem. Gras begint te groeien tussen de 5 en 8 graden Celsius en heeft een optimale groei tussen 12 en 20 graden bodemtemperatuur. Boven de 25 graden Celsius stopt de grasgroei geleidelijk (Remmelink G. J., 2015).

4.1.4 Nutriënten voorziening

De nutriënten voorziening, ofwel de bemesting op grasland, gebeurt middels drijfmest en kunstmest. Bij drijfmest wordt voornamelijk naar de inhoudsstoffen N, P, K, gekeken.

De nutriënten waarmee in de praktijk gewerkt wordt zijn vooral stikstof (N), fosfaat (P) en Kalium (K). Stikstof bevordert de groei en fotosynthese van de plant en zorgt voor de eiwitten in het gras. Kalium zorgt voor fotosynthese, transport van water en nutriënten en de vochtthuishouding. Fosfaat zorgt voor wortelgroei, energievoorziening, ademhaling en jeugdgroei (Mahler, 2004)

4.1.5 Bodemsoorten.

In Nederlands zijn de meest voorkomende bodemsoorten zand, veen en klei. De pH, de zuurtegraad van de grond, is van groot belang. Een optimale pH van de bodem leidt tot een goede mineralen benutting. Voor grasland is de gewenste pH tussen de 5 en de 6. Voor veengronden moet de pH minimaal 5 zijn en tussen de 5 en 6 is ideaal. Voor zand een pH rond de 5,5. Voor klei het hoogste met een pH rond waarde 6. (Vegte van der, 2017)

4.2 Resultaten deelvraag 2

Welke meetinstrumenten zijn beschikbaar om de hoeveelheid en kwaliteit van de grasopbrengst te meten?

De meetinstrumenten voor meten van de grasopbrengst bestaan uit twee verschillende categorieën, namelijk de kwantiteit en de kwaliteit. De hoeveelheid, de kwantiteit, is uit te drukken in kg/dm/ha. Met behulp van hoogte, kilo product en het droge stof percentage van het gewas.

De kwaliteit van het gewas wordt weergegeven als de voederwaarde van gewas zoals bij deelvraag 1 beantwoord is. Het meten van de voederwaarde wordt gedaan door reflectiemetingen op het gewas toe te passen. De reflectie van het gewas geeft waarden over de kwaliteit van het gewas. De reflectie wordt actief of passief gemeten. Actieve sensoren meten de hoeveelheid terugkomende straling van hun eigen stralingsbron (eigen lichtbron). Dit kan doormiddel van radar, Lidar, ultrasoon. Passieve sensoren meten op basis van reflectie met behulp van externe straling, zoals de zon (optisch) of op basis van warmte (thermisch) (Kempenaar, 2018). Hieronder wordt de gebruikte meetapparatuur beschreven, die in dit onderzoek zijn toegepast.

4.2.1 Grashoogtemeter

De graslandhoogtemeter (EC 20) is een apparaat dat op basis van hoogtemeting een grasland opbrengstmeting verricht. De hoogtemeting vindt plaats doordat de schijf ten opzichte van de steel in hoogte beweegt. Op het moment dat de EC 20 op het gras geplaatst wordt, zakt de steel tot aan de

bodem en de plaat blijf op het gras liggen. Het hoogteverschil wordt gemeten in clicks. Elke klik is 0,5 centimeter. Het aantal clicks vermenigvuldigd met de formule voorgeschreven door de fabrikant geeft de opbrengst per oppervlakte in kilogram droge stof weer. (Holshof, 2016)

De verzamelde gegevens zijn weergegeven in de bijbehorende app of in Excel. De app genaamd 'Pasture Meter' is te installeren op een tablet of telefoon. Met gps van de telefoon of tablet kan de locatie van de grashoogtemeting bepaald worden. Op de app zijn nog een aantal andere toepassingen in te stellen, zoals de grootte van het perceel, de naam en de formule voor bepaling van kilogram droge stof per oppervlakte. Als de data verzameld is, kunnen de gegevens ook in Excel uitgelezen worden. In Excel staan de gegevens van elke individuele meting.

4.2.2 Pasture reader

De metingen van de Pasture Reader worden gedaan door middel van ultrasone technologie. Hiermee worden de grashoogte en de -dichtheid gemeten. De gemeten waarden worden met een voorgeschreven formule door de fabrikant omgerekend naar kilogram droge stof. De Pasture reader kan op alle vlak voortbewegende voertuigen gebouwd worden, denk aan een maaier en quad. De sensor voorop het voertuig wordt aangestuurd door een touchscreen computer. Deze computer geeft de mogelijkheid om van 10 verschillende bedrijven 100 percelen op te slaan. Tijdens de meting wordt de hoeveelheid gras in kilogram droge stof direct berekend per perceel. (Thibautier, 2019)

In het computerscherm staan de volgende gegevens vermeld: de gemiddelde grashoogte, de tijdsduur van de meting en de opbrengst. De gegevens van de Pasture Reader kunnen opgeslagen worden per bedrijf en per perceel, om zo de gewasopbrengst specifieker te bepalen. Als de gegevens opgeslagen zijn, kunnen de gegevens in Excel worden uitgelezen. Dit kan per perceel of per individuele meting.

De Pasture Reader is in de proef toegepast, omdat het de mogelijkheid biedt om real time de grasopbrengst te kunnen meten, voor of tijdens het maaien.

4.2.3 Haldrup

De Haldrup is een oogstmachine die ontworpen is om proefvelden van verschillende gewassen te oogsten. Elk proefveld wordt met de Haldrup apart geoogst en apart gewogen om zo per veld te bepalen wat de opbrengst in kilogrammen product is. Ook kan er van elk veld een monster genomen worden om in het lab te analyseren. (Haldrup, sd)

4.2.4 Ag leader OptRx

De OptRx gewassensor van het bedrijf Homburg B.V. is een sensor dat reflectie meet van de gewassen. De OptRx kan tijdens het scannen de waarneming omzetten in mogelijke acties. De OptRx sensor maakt gebruik van een eigen lichtbron en kan daardoor onafhankelijk werken van de

omstandigheden. Op basis van de metingen van de sensoren wordt een reflectie omgezet in een vegetatie index. De vegetatie index bestaat uit NDRE of NVDI. (Homburg, 2019)

4.2.5 Tec 5

De Tec 5 meet op basis van metingen spectraal metingen de tec5 meet net als de NIR verschillende bandbreedtes binnen het zichtbare en niet zichtbare lichtspectrum van 390 nanometers tot 1100 nm. Met de Tec 5 kunnen plaatsspecifiek met de hand metingen uitgevoerd worden.

Naast de instrumenten om de opbrengst en/of kwaliteit te meten zijn er ook nog modellen die de grasgroei kunnen voorspellen namelijk Grasgroei signaal en het CN-model.

4.2.6 Modellen

Naast de instrumenten om de opbrengst en/of kwaliteit te meten zijn er ook nog modellen die de grasgroei kunnen voorspellen namelijk Grasgroei signaal en het CN-model.

Het grasgroeimodel is, zoals de naam al doet vermoeden, een tool om de grasgroei, -opbrengst en ruw eiwit te voorspellen. Om de grasgroei te voorspellen zijn een aantal parameters van belang. De belangrijkste parameters voor het grasgroeimodel zijn: temperatuur, beschikbaarheid van stikstof in de vorm van bemesting en stikstoflevering uit de bodem en graslandgebruik. De geschatte groei wordt gecorrigeerd voor de beschikbaarheid van vocht (Hoving I. E., 2020).

Het CN-model, ofwel het koolstof stikstof model van Sjaak Conijn, is bedoeld vragen te beantwoorden gerelateerd aan grasland productiviteit, effecten van watertekort of overschot, emissies, korte en lange termijn verandering van bodemvruchtbaarheid en nitraatuitspoeling. Het model moet zowel berekenen kunnen doen voor situaties in het verleden als situaties in de toekomst. Het CN-model is opgebouwd uit vijf belangrijke bouwstenen dit zijn:

1. Gras productie;
2. Gras management;
3. Bodem organische kool en stikstof;
4. Anorganische stikstof
5. Bodemvochtbalans (Conijn, 2005).

Het Moorepark St. Gilles Gras Growth model (MoSt GG model) is een Iers grasgroeimodel voor bedrijven in Ierland. Het model is ontwikkeld door Teagasc food research centre Moorepark. De voorganger van dit model was Pasture Based Ireland (PBI). PBI kon alleen omgaan met data uit het verleden. MoSt GG-model kan ook de grasgroei en productie in de toekomst voorspellen gebaseerd op kg/ds/ha. In het model kan men toevoeging doen om de grasgroei beter te voorspellen zoals bemesting via dierlijke mest of kunstmest. Verder houdt het model rekening met het weer en het bodemtype. (Ruelle, 2020)

4.3 Resultaten deelvraag 3

Hoe goed voorspellen de verschillende meetinstrumenten de grasopbrengst?

Deelvraag drie en vier bleken gedurende het onderzoek veel overeenkomsten te bevatten. Deelvraag drie geeft weer waar de metingen aan moeten voldoen en daarmee een introductie op deelvraag vier waar de metingen getoetst zijn. Om metingen te kunnen doen moeten er eisen gesteld worden aan de metingen. De eisen in dit onderzoek luiden als volgt:

1. De metingen moet kwalitatief en/of kwantitatief zijn;
2. De metingen moeten reproduceerbaar zijn;
3. Het meetinstrument moet marktrijp zijn;
4. De gemeten data moeten controleerbaar zijn.

Om een weergave te verkrijgen is onderstaande tabel opgesteld. Hierin wordt aangegeven wat de eigenschappen van de verschillende apparaten zijn. Er wordt gekeken naar, het meet principe, Meetwaarde, toepassing, reproduceerbaar, prijs, dataverwerking en opmerkingen.

Tabel 4.1 Overzicht meetapparatuur

Sensor	Merk	Meetprincipe	Meetwaarde	Handheld/ machine toepassing	Reprodu- ceerbaar	Prijs product	Data- Verwerking	Opmerkingen
Grashoog te meter	Jenquip EC 20	Kwantiteit Hoogte	Kg/dm/ha	Handheld	Ja	€1095,-	Excel	
Pasture Reader -	Pasture reader Holland	Kwantiteit Hoogte, Ultrasoon	Kg/dm/ha	Machine Toepassing	Ja	€4000,-	Software fabrikant , Excel	
OptRx	Ag Leader.	Kwaliteit Reflectie, actieve lichtbron	NDRE	Machine toepassing	Ja	€4425,- Excl scherm	Software fabrikant SMS	
Tec 5 -	Tec 5	Kwaliteit, Reflectie, passief.	390nm- 1100nm	Handheld	Ja	Onbekend	Excel	Geen directe weergave van de kwaliteit of kwantiteit

4.4 Resultaten deelvraag 4

Welke correlatie bestaat er tussen de meetresultaten van de sensoren?

In onderstaande tabellen staan de meetgegevens van de verschillende meetinstrumenten weergegeven. De meetinstrumenten zijn vergeleken met de standaard. De standaard is de opbrengst van de Haldrup oogstmachine in combinatie met de versgrasmonsters. Onderstaand is eerst de Haldrup omschreven aangezien dit als referentie geldt. Wat volgt zijn de opbrengstbepalingen van de meetapparatuur. Gedurende het onderzoek zijn er op vijf momenten metingen gedaan ten tijde van de oogst. Per meetmoment zijn er 64 proefvelden gemeten.

Dit resulteert in $64 \times 5 = 320$ metingen per sensor. $320 \text{ metingen} \times 4 \text{ meetapparaten} = 1280$ metingen t.o.v. de referentie. Nemen we de referentie ook nog mee dan komt het totaal uit op 1600 metingen.

Tabel 4.2 Resultaten Haldrup (staandaard in dit onderzoek)

Haldrup	30-4-2019	18-6-2019	30-7-2019	4-9-2019	30-10-2019	Totaal
Gemiddelde opbrengst in kg/dm/ha	4,2	3,7	1,2	0,9	1,2	2,7
Gemiddelde opbrengst Nt (gram per kilogram)	31,83	21,34	30,51	31,14	32,88	29,54
Correlatie kg/dm/ha t.o.v. Nt	0,65	0,82	0,48	0,75	-0,28	-0,06
St. dev. opbrengst in kg/dm/ha	0,50	1,24	0,41	0,50	0,69	1,45
St. dev. Nt (g/kg)	6,65	5,87	8,06	5,66	7,14	6,51
Aantal metingen	64	64	64	64	64	320

In 2019 zijn er 5 oogstmomenten geweest. Het eerste en tweede oogstmoment waren vrij zware snedes met gemiddeld 4,2 en 3,7 ton/ds/ha gemiddeld. Daarna werd het droog en de 3^e en 4^e oogst hadden een lage opbrengst. Uiteindelijk is er nog laat in het jaar een eind oogst geweest op 30-10-2019.

Om te bepalen in welke mate er een relatie (verband) is, is er de volgende verdeling aangehouden:

Geen correlatie, zeer zwakke correlatie, zwakke correlatie, gematigde correlatie of sterke correlatie.

Onderstaand staat opgesomd bij welke waarde gesproken wordt van een bepaald type verband (Burns, 2006):

- Tot 0,20: geen correlatie
- 0,20-0,40: zeer zwakke correlatie
- 0,40-0,60: zwakke correlatie
- 0,60-0,80: gematigde correlatie
- 0,80-1,00: sterke correlatie

Alleen de oogst van 18-6-2019 heeft met 0,82 een sterke correlatie. Bij geen enkele andere oogst is er een sterk verband met de hoeveelheid stikstof.

Tabel 4.3 Resultaten Pasture Reader

Pasture reader	30-4-2019	18-6-2019	30-7-2019	4-9-2019	30-10-2019	Totaal
Correlatie t.o.v. Standaard	NB	0,74	0,68	0,81	0,12	-0,34
% Afwijking t.o.v. Standaard	-100,00	-52,69	26,83	56,7	318,66	27,16
Gemiddelde (kg/dm/ha)	0,00	1,87	1,66	1,32	3,93	2,69
St. dev. Opbrengst	0,00	1,27	1,56	0,62	1,28	1,68
Aantal metingen	64	64	64	64	64	320

De metingen van de Pasture Reader op 30-4-2019 zijn niet gelogd. Alle data van de metingen van 30-4-2019 zijn verloren gegaan. Het is onduidelijk of er een fout zat in de apparatuur of dat er een andere oorzaak is.

De metingen van 30-10-2019 geeft geen correlatie doordat waarschijnlijk een storing of vervuiling was in of aan de meetapparatuur. De opbrengstwaarden van de Pr Reader waren van een dermate constant en hoog niveau dat dit niet realistisch is zeker in vergelijking met de opbrengsten van de Haldrup.

De oogsten van 18-06-2019 en 04-09-2019 komen het hoogste uit met een correlatie van 0,74 en 0,81. De Pasture reader toont hiermee niet aan de opbrengst goed te kunnen voorspellen.

Tabel 4.4. Resultaten grashoogtemeter

Grashoogtemeter, Jenquip Ec 20	30-4-2019	18-6-2019	30-7-2019	4-9-2019	30-10-2019	Totaal
Correlatie t.o.v. Standaard	-0,31	0,84	0,87	0,91	0,67	0,73
% Afwijking t.o.v. Standaard	-27,28	-38,14	-12,27	20,3	9,88	-27,47
Gemiddelde opbrengst (kg/dm/ha)	3,01	2,19	0,98	0,92	1,15	2,69
St. dev. Opbrengst	0,41	0,56	0,22	0,28	0,31	0,90
Aantal metingen	64	64	64	64	64	320

Het gebrek aan correlatie bij de meting op 30-4-2019 komt doordat het eerste maaimoment een grote hoeveelheid gras bevatte. De grashoogtemeter kan door een liggend gewas en of door een beperking aan hoogtemeting geen goede meting doen.

De drie opvolgende oogsten geven met correlaties van 0,84, 0,87 en 0,91 sterke relaties weer. De grashoogtemeter is ontworpen om weidesnedes te meten. Dit kan verklaren waarom deze snedes een hogere correlaties gemeten zijn. Het laatste oogstmoment was ook een oogst met lage opbrengst, maar ondanks dat heeft de grashoogtemeter het niet goed kunnen meten.

Tabel 4.5 Resultaten OptRx

OptRx	1-5-2019	19-6-2019	30-7-2019	04-09-2019	30-10-2019	Totaal
Correlatie Ndre t.o.v. Standaard Nt	0,64	0,82	0,86	0,73	0,08	0,43
Correlatie Ndre t.o.v. Standaard kg/dm/ha	0,38	0,85	0,72	0,95	0,76	0,70
Gemiddelde Ndre	0,43	0,34	0,34	0,33	0,36	0,36
St. dev. Ndre {klopt dit?}	0,01	0,03	0,03	0,04	0,02	0,05

Bij de OptRx is de correlatie met Ntotaal (Nt) en met de opbrengst in kilogrammen droge stof van de standaard onderzocht. De relatie met stikstof is bij de tweede en derde oogst boven de 0,8. De gematigde relatie met de eerste snede kan door de hoge opbrengst van het gewas komen, waardoor de metingen mogelijk afwijken. De correlaties met de opbrengst bepaald in kilogrammen droge stof product zijn hoog op 19-6 en 04-09. Beide scores hier een sterke relatie boven de 0,8

Tabel 4.6 Resultaten Tec 5

Tec 5	30-4-2019	19-6-2019	30-7-2019	4-9-2019	30-10-2019	Totaal
Correlatie Ndre t.o.v. Standaard kg/dm/ha	0,33	0,812	0,506	0,855	0,240	0,752
Correlatie Ndre t.o.v. Standaard Nt	0,49	0,804	0,660	0,746	0,065	0,320
Correlatie Ndre t.o.v. Optrx Ndre	0,52	0,649	0,705	0,882	0,444	0,733
Golflengte met hoogste correlatie t.o.v. Standaard Ntot	0,74	0,830	0,388	0,720	0,144	X
Golflengte	796,00	805	837,000	988,000	937,000	X
Kleurenspectrum	NIR	NIR	NIR	NIR	NIR	X
Golflengte hoogste correlatie t.o.v. Standaard (kg/dm/ha)	0,55	0,810	0,307	0,817	0,788	X
Golflengte	404,00	805	812,000	940,000	402,000	X
Kleurenspectrum	Ultraviolet	NIR	NIR	NIR	Ultraviolet	X

Omdat de Tec 5 niet een 1-op-1 vertaling geeft naar opbrengst in droge stof of stikstof zijn er meerdere factoren bekeken. Dit zijn:

- Ndre berekend uit metingen;
- Ndre Tec 5 t.o.v. de Ndre van de OptRx;
- Golflengte met hoogste correlatie met opbrengst in kilogrammen droge stof. Hierbij zijn de hoogste golflengtes vermeld met het bijbehorende kleurenspectrum;
- Golflengte met hoogste correlatie met stikstofopbrengst. Hierbij zijn de hoogste golflengtes vermeld met het bijbehorende kleurenspectrum.

De hoogste correlatie Ndre met kg/dm/ha is gemeten op 04-09-2019 met 0,85. Ook de tweede maaissnede van 19-06-2019 geeft boven de 0,8 relatie aan.

De correlatie Ndre met N-totaal is gemiddeld laag, wat opvalt is dat er weinig uitschieters zijn, zowel naar boven als naar beneden. Alleen 19-06-2019 komt hoger met een relatie van 0.8.

De relatie met de NDRE van de Tec 5 t.o.v. de NDRE van de OptRx geeft niet een duidelijk verband over alle meetmomenten. Alleen op 04-09-2019 is er met 0.88 een sterke correlatie. Beide hebben de NDRE gemeten maar dit geeft geen 1-op-1 relatie weer.

Verder is er onderzoek gedaan naar welke golflengte van de Tec 5 de hoogste correlatie heeft met betrekking tot de kg/dm/ha en de N-totaal. Naast de golflengte is er gekeken binnen welk kleurenspectrum dit valt.

De hoogste correlaties met betrekking tot N-totaal vallen allemaal in het NIR-kleurenspectrum. De kg/dm/ha met de hoogste correlaties vallen ook binnen het kleurenspectrum NIR of ultraviolet met een veel lagere golflengte rond 400 Nm.

De totalen in de laatste kolom zijn alleen cijfers van de correlaties te overleggen. Daar waar een x is ingevuld is het niet mogelijk om van het totaal een waarde te bepalen.

4.5 Resultaten deelvraag 5

Wat zijn de voor- en nadelen van de verschillende meetinstrumenten?

Deze vraag geeft antwoord op de voor- en nadelen van de verschillende meetinstrumenten. Dit wordt gedaan door verschillende eigenschappen van de meetinstrumenten te beoordelen aan de hand de omschrijving zoals beantwoord bij deelvraag twee. Daarnaast is er gedurende het onderzoek ook praktijkervaring opgedaan door de metingen met de apparatuur werkelijk uit te voeren. Hieruit is er een score van 1 t/m 10 gegeven voor het gebruiksgemak, arbeidsintensiteit en dataverwerking. Waarbij 1 een lage negatieve score is en 10 hoog en positief. De kwaliteit van de metingen is bepaald bij deelvraag 4.

Tabel 4.7 Voor- en nadelen meetinstrumenten

Sensor	Merk	Voordelen	Nadelen	Oordeel gebruiks- gemak	Arbeid	Data- verwerking
Grashoogte meter	-Jenquip EC 20	-Lage aanschafprijs, -Geen gewasschade door metingen	- Arbeidsintensief, - Metingen zijn geschikt voor weide snede.	7	4	7
Pasture Reader -	Pasture reader Holland	-Monteerbaar op de machine -Geen gewasschade door metingen - Grote oppervlaktes mee te meten	- Moeilijk uitlees baar. - Werkgemak kan beter. - Software pakket fabrikant nodig	6	6	5
OptRx	- Ag Leader.	-Geeft kwaliteit indicatie -Geen gewasschade door metingen - Grote oppervlaktes meet te meten.	- Hoge aanschafprijs - Geen opbrengstmeting - Software pakket fabrikant nodig.	7	7	6
Tec 5 -	Tec 5	- Breed meetspectrum - Geen gewasschade door metingen	- Arbeidsintensief, - Geen directe relatie met opbrengst of kwaliteit.	6	4	4

4.6 Resultaten hoofdvraag

Om antwoord te geven op de hoofdvraag zijn eerst alle deelvragen beantwoord. Met behulp van de deelvragen is er getracht om een antwoord te geven op de hoofdvraag. De vraag die in dit onderzoek centraal stond was:

Hoe kan de Nederlandse melkveehouderijsector door gebruik te maken van precisielandbouw de gewasopbrengst van grasland optimaliseren met gebruik van meetapparatuur voor opbrengstbepaling?

In dit onderzoek is niet duidelijk te stellen dat met meetapparatuur/sensoren de gewasopbrengst in kwaliteit en/of kwantiteit volledig betrouwbaar te meten is. Wel kan gesteld worden dat de meetapparaten bruikbaar zijn om variatie in opbrengst in kaart te brengen. De meetwaarden liggen gemiddeld zo'n 25-30 % afwijkend van opbrengstmetingen in de standaard van het onderzoek (Haldrup maaier en weging van het gemaaid gras).

De Nederlandse melkveehouderijsector kan met gebruik van precisielandbouw de opbrengstbepaling van het gewas naar een hoger niveau tillen, uitgaande van het feit dat de opbrengstbepaling nu bedrijfsspecifiek gedaan wordt. Door meetapparatuur kan perceel of plaatsspecifiek meten, maar de betrouwbaarheid van de apparatuur is hiervoor nog onvoldoende. Om opbrengstbepaling in de praktijk toegepast te krijgen, is het nodig dat de apparatuur verder doorontwikkeld wordt in betrouwbaarheid, kwaliteit, arbeidsgemak. Een gecombineerd gebruik van de meetapparaten/sensoren met gewasgroeimodellen kan de nauwkeurigheid van voorspelling van opbrengst van gras verhogen.

5. Discussie

5.1 Inhoudelijke discussie

In dit hoofdstuk wordt ingegaan wat er binnen het onderzoek tot discussie kan leiden. Er worden zowel inhoudelijke als methodologische onderwerpen ter discussie gesteld.

Er is geen indexering gedaan van de verschillende soorten gras die in de proef lagen. Het proefveld met 64 proefvelden is echter wel aangelegd in een gangbaar perceel zoals als het in de praktijk gebruik wordt. Dit zorgt ervoor dat de metingen overeenkomen met metingen die in de praktijk toegepast kunnen worden. In de toekomst zal het mogelijk interessant zijn in het kader van verduurzaming en biodiversiteit om verschillende soorten graslanden te meten, kruidenrijk, natuur inclusief etc.

Binnen dit onderzoek zijn er een aantal meet apparaten vergeleken. Op de markt zijn er veel meer meetinstrumenten beschikbaar. Er had gekozen kunnen worden voor alleen kwaliteit of kwantiteit voor een beter vergelijk onderling. De kwaliteit en kwantiteit zijn belangrijk dus dat is een argument om beide te meten.

5.2 Methodologische discussie

5.2.1 Indruk validiteit

In dit onderzoek is uiteindelijk een proeflocatie meegenomen. In het eerder gestelde plan stonden 2 proeflocaties. Om de data nog meer valide te maken zou dit de voorkeur hebben. Echter is het grote aantal proefvelden ook valide om de data goed te kunnen vergelijken. Ook zijn er door de tijd heen meerdere metingen uitgevoerd om toeval uit te sluiten.

5.2.2 Inhoudsvaliditeit

Zoals in de resultaten al aangetoond zijn de correlaties van de verschillende meetinstrumenten wisselend. Er zou discussie kunnen ontstaan over de inhoudsvaliditeit; echter was dit ook onderdeel van het onderzoek, namelijk onderzoeken of de meetinstrumenten daadwerkelijk data leveren welke de fabrikanten claimen dat ze leveren.

Omdat de metingen op proefvelden gedaan zijn, konden we de metingen goed uitvoeren zoals gepland. Er is gemeten met hoge intensiteit. De vraag is of dit ook op praktijkpercelen gekund had, omdat de ruimte van handelen daar vaak ingeperkt wordt door onverwachte praktijksituaties.

De tijd van data verzamelen en de uiteindelijke verslaglegging zit een langere tijd tussen; optimaal zou de tijd tussen data verzamelen en de uiteindelijke verslaglegging korter op elkaar zijn (zie ook voorwoord).

6. Conclusies

6.1 Conclusies onderzoek

Uit het onderzoek bleek dat van alle meetapparaten de metingen reproduceerbaar zijn.

De grashoogtemeter (Jenquip Ec20) bleek bij een zware maaide snede 3000 kg/dm/ha lage correlatie te geven t.o.v. de Standaard in het onderzoek. Op oogstmomenten met lagere opbrengsten zijn de correlaties hoger, behalve bij het laatste oogstmoment.

De Pasture reader kan de opbrengst in kg/dm beperkt meten. Net als met de grashoogtemeter geeft de Pasture Reader bij een hogere opbrengst van het gewas ook een lagere correlatie t.o.v. de Standaard. Daarnaast is de opbrengst van maaidatum 1 mei niet gemeten. En is de opbrengst van 30-10 niet correct gemeten door meetfouten/storing van de apparatuur.

Bij de OptRx sensor is de conclusie dat de correlatie met Ntotaal een wisselend beeld geeft t.o.v. de Standaard. Bij het tweede en derde oogstmoment was de correlatie boven 0,8. Bij het laatste oogstmoment is de correlatie zeer slecht. De correlatie van OptRx meetwaarde met de Standaard opbrengst (kg/dm/ha) was hoger met de hoogste correlatie van 0.95 bij het vierde oogstmoment. Ook bij het tweede oogstmoment was er een correlatie van boven de 0.8. De andere metingen blijken niet betrouwbaar genoeg.

De Tec 5 meet met de banden van 390 t/m 1100. De Tec 5 geeft in relatie met de Standaard opbrengst (kg/dm/ha) op twee oogstmomenten een correlatie-waarde van boven de 0.8. Er zijn ook twee meetmomenten waarbij het slecht is en lager zijn dan 0,4. De hoogste correlaties werden bij het kleurenspectrum met de NIR gevonden. Uit de correlaties met Ntotaal, is er slechts een moment waarop de correlatie-waarde 0,8 gehaald wordt. Op andere momenten waren de correlaties allemaal onvoldoende. Binnen het kleurenspectrum gaven de golflengtes in het gebied van de NIR altijd de hoogste relaties bij Ntotaal.

6.2 Eindconclusie

De hoofdvraag die centraal stond tijdens dit onderzoek was:

Hoe kan de Nederlandse melkveehouderijsector door gebruik te maken van precisielandbouw de gewasopbrengst van grasland optimaliseren met gebruik van meetapparatuur voor opbrengstbepaling?

De eindconclusie is dat alle meetapparaten gedurende het onderzoek niet de betrouwbaarheid geeft om volledig de opbrengst kunnen te bepalen en daardoor de Nederlandse melkveehouderijsector niet optimaal kan voorzien in de opbrengstbepaling van grasland in Nederland. Afwijkingen van de Standaard waren gemiddeld 25-30% voor zowel de fysieke opbrengst als de kwaliteit. Wel is het zo

dat de meetsystemen inzicht geven in de opbrengst van een perceel in termen van kg droge stof en stikstof-inhoud van het gras (Ntotaal).

7. Aanbevelingen

De eerste aanbeveling is meer onderzoek te doen in verschillende soorten grasland. Omdat er in de Nederlandse landbouw steeds meer gebruik gemaakt wordt diverse graslanden zoals grasklaver-mengsels en/of kruidenrijk grasland. Dit onderzoek levert ook data om de nauwkeurigheid van de sensoren te kunnen verbeteren.

De sensoren in combinatie met perceel gegevens en groeimodellen kunnen mogelijk meer en betrouwbaardere informatie opleveren. Denk hierbij aan bijvoorbeeld GrasSignaal op het Farmmaps platform (www.farmmaps.eu/nl).

Er is meer onderzoek nodig om een groter deel van wat op de markt beschikbaar is te kunnen toetsen. Hierin is het wel aan te bevelen om duidelijk te hebben waarvoor de meetapparatuur bedoeld is om de kwaliteit of de kwantiteit te meten.

Aanbeveling is ook om vervolgonderzoek te doen naar de gewenste precisie van opbrengst bepaling in grasland. Welke precisie is er nodig en met welke precisie kunnen er verbeteringen worden aangebracht om het grasland verder te kunnen optimaliseren?

Bibliografie

- Agrio uitgeverij. (2013). *artikel/71045-steeds-meer-kali-tekorten-op-grasland/*. Opgehaald van <https://www.melkvee.nl: https://www.melkvee.nl/artikel/71045-steeds-meer-kali-tekorten-op-grasland/>
- B.V., Booijink veevoerders. (2019). *ruwvoer/gras*. Opgehaald van booijinkveevoerders: <https://www.booijinkveevoerders.nl/ruwvoer/gras>
- Blackmore, S. .. (2005). *Robotic agriculture–the future of agricultural mechanisation*. Proceedings of the 5th European conference on precision agriculture.
- Boerenverstand. (2014). Voeren met boerenverstand. Utrecht, Utrecht, Nederland.
- Burns, A. C. (2006). *Principes van marktonderzoek*. Pearson Education.
- CBS. (2018). *statline/#/CBS/nl/dataset/80781NED/table?fromstatweb*. Opgehaald van [opendata.cbs.nl: https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80781NED/table?fromstatweb](https://opendata.cbs.nl: opendata.cbs.nl: https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80781NED/table?fromstatweb)
- Conijn, J. G. (2005). *A dynamic simulation model for grassland management and C and N flows at field scale*. Wageningen: Plant Research International.
- Eurofins Agro. (-). Vers grasCheck. *Vers gras check*. Eurofins agro .
- Feenstra. (2015). Op naar de 15 ton droge stof. *Veeteelt extra*.
- Haldrup. (sd). *Haldrup products harvesters*. Opgehaald van Haldrup.net : <https://en.haldrup.net/haldrup-products/haldrup-harvesters/haldrup-f-55/#>
- Holshof, G. a. (2016). *Grasgroei meten met de gashoogtemeter*. Wageningen: Wageningen UR Livestock.
- Homburg. (2019). */nl/agleader/optrx_nl*. Opgehaald van [homburg-holland.com: https://www.homburg-holland.com/nl/agleader/optrx_nl](https://www.homburg-holland.com/nl/agleader/optrx_nl)

- Hoving, I. (2017, mei 15). *Grasopbrengsten-bepalen-met-satelliet-en-dronebeelden*. Opgehaald van AmazingGrazing: <https://www.amazinggrazing.eu/nl/amazinggrazing-4/show/Grasopbrengsten-bepalen-met-satelliet-en-dronebeelden.htm>
- Hoving, I. E. (2020). *Test grasgroeivoorspelling in de praktijk*. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Hoving, I., Kempenaar, C., Been, T., Philipsen, B., Roerink, G., & Hermans, G. (2015). *GrasMais-Signaal; adviessysteem precisielandbouw melkveehouderij*. Wageningen: Wageningen UR.
- Kempenaar, C. D. (2018). *Sensoren en gewasmodellen voor precisielandbouw: Literatuuronderzoek DISAC deelproject E-pieper (No. WPR-75)*. . Stichting Wageningen University Research, Wageningen Plant Research, Business unit unit Agrosystems.
- KWIN. (2019). *KWIN 2018-2019*. Wageningen: Wageningen University and Research.
- Mahler, R. L. (2004). *Nutrients plants require for growth*. Idaho: University of Idaho. College of Agricultural and Life Science.
- MT. (sd). *informatiemateriaal over weegbruggen*. Opgehaald van www.mt.com: https://www.mt.com/be/nl/home/products/Transport_and_Logistics_Solutions/truck-scales.html#publications
- NPPL . (2018). *over NPPL* . Opgehaald van NPPL: <https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/over-nppl/>
- NPPL. (2018). *over NPPL*. Opgehaald van NPPL: <https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/over-nppl/>
- Philipsen. (2018). *meer gras meer melk*. Nufarm.
- Rommelink, G. J. (2014). *Handboek melkveehouderij*. Wageningen: Wageningen UR Livestock Research.
- Rommelink, G. J. (2015). Eerste curve grasgroei en bodemtemperatuur. *V-focus*, 24-25.

- Rommelink, G. v. (2020). *Handboek melkveehouderij 2019/20*. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Ruelle, E. D. (2020). *Predicting grass growth: The MoSt GG model*. Ireland: ICROP2020: Second International Crop Modelling Symposium.
- RVO. (2018). *Tabel-1-Stikstofgebruiksnormen*. Opgehaald van rvo:
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/03/Tabel-1-Stikstofgebruiksnormen-2018.pdf>
- RVO. (2020). *rvo.nl*. Opgehaald van onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/gebruiken-en-uitrijden/hoeveel-fosfaat-landbouwgrond: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mestbeleid/gebruiken-en-uitrijden/hoeveel-fosfaat-landbouwgrond>
- Stenzen, M. . (2016). *Grasgroei meten de grashoogtemeter*. Wageningen: Wageningen UR, livestock research.
- Thibautier, P. (2019). *pasturereader*. Opgehaald van pasturereader: <http://www.pasturereader.nl/>
- van der Wal, T. V.-R. (2017). *Doorontwikkeling van de precisielandbouw in Nederland*. Wageningen University en Research.
- Vegte van der, Z. (2017, februari 2). *Breng de bodem pH op peil*. Opgehaald van www.wur.nl:
<https://www.wur.nl/nl/nieuws/breng-de-bodem-ph-op-peil-1.htm>
- WEnR. (2017). *Milieu-effectrapportage van maatregelen zesde actieprogramma Nitraatrichtlijn*. Wageningen: WEnR. Opgehaald van rvo.
- wikiwijs. (sd). Opgehaald van Biotisch_en_abiotisch:
https://maken.wikiwijs.nl/87631/Biotisch_en_abiotisch#!page-2550259
- wur . (2018). *over wageningen*. Opgehaald van wur: <https://www.wur.nl/nl/Over-Wageningen.htm>
- Zedde, R. (2014). *Bemonsteren en analyseren van dierlijke mest op een vrachtauto*. Wageningen: Wur food en biobased research.

Zom, R. A. (2013). *Juiste bepaling van de dichtheid van ingekuild ruwvoer voor de voorraaderkening van BEX en BEP*. Wageningen: Wageningen UR Livestock Research .

Bijlage 1

Toestemming:

Ik : Frank Hollewand.

☐ geef toestemming voor opname van mijn afstudeerwerkstuk in repository

☐ geef geen toestemming voor opname in repository. In dit geval wordt alleen intern gearhiveerd voor accreditatie doeleinden

Datum Juni 2022.....

Opleiding Agrotechniek en management

Major

.....

Bijlage 2

Beoordeling Afstudeerwerkstuk (AFW)

versie aug. 2018

Naam student :	Naam beoordelaar :	Datum:
Versie :	Functie beoordelaar : 1e beoordelaar / 2e beoordelaar	handtekening

Indicator	Beoordelingscriteria		Beoordeling	Feedback
	Goed (voldoet aan alle bolletjes)	Voldoende (voldoet aan alle bolletjes)		
1. Samenvattingen	- Gaan over hele AFW. - Zijn gestructureerd. - Kunnen zelfstandig gelezen worden. - Hebben maximaal 400 woorden (1 A4). - Zijn gericht op de doelgroep. - Bevatten geen persoonlijke mening. - De samenvatting in een andere taal heeft niet meer dan 10 taalfouten.	- Gaan over hele AFW. - Zijn gestructureerd. - Kunnen zelfstandig gelezen worden. - Hebben maximaal 400 woorden (1 A4).	Goed	
2. Inleiding	- De inleiding beschrijft het breder kader van het onderwerp, trends en ontwikkelingen: waarom en voor wie het onderwerp belangrijk is (= relevantie). - In de inleiding wordt beschreven wat bekend is (theoretisch kader) en wat niet (=knowledge gap). - De hoofdvraag maakt duidelijk welk antwoord wordt gezocht. - Deelvragen dragen systematisch bij aan de beantwoording van de hoofdvraag. - Het is duidelijk wat met het beantwoorden van de hoofdvraag wordt bereikt in de beroepspraktijk (doelstelling). - Alle niet-eigen beweringen zijn onderbouwd met referenties.	- De inleiding beschrijft het breder kader van het onderwerp, trends en ontwikkelingen: waarom en voor wie het onderwerp belangrijk is (= relevantie). - In de inleiding wordt beschreven wat bekend is (theoretisch kader) en wat niet (=knowledge gap). - De hoofdvraag maakt duidelijk welk antwoord wordt gezocht. - Deelvragen dragen systematisch bij aan de beantwoording van de hoofdvraag.	Goed	
3. Aanpak (Materiaal en Methode)	- De onderzoeksopzet past bij de onderzoeksvragen. - De methodologie van de onderzoeksopzet is verantwoord. - De methode van data-analyse sluit aan bij de thematiek van het onderzoek en bij de manier van gegevensverzameling (n.v.t. bij literatuuronderzoek). - Bij literatuuronderzoek is het volledige zoekplan beschreven. - Alle onderzoekseenheden en variabelen zijn genoemd (niet bij literatuuronderzoek). - Beschrijft bij literatuuronderzoek de criteria waarop literatuur wel of niet gebruikt wordt. - Indien van toepassing: Enquête(s) of interviewstructuur zijn als bijlage toegevoegd.	- De onderzoeksopzet past bij de onderzoeksvragen. - De methodologie van de onderzoeksopzet is verantwoord. - De methode van data-analyse sluit aan bij de thematiek van het onderzoek en bij de manier van gegevensverzameling (n.v.t. bij literatuuronderzoek). - Bij literatuuronderzoek is het volledige zoekplan beschreven.	Voldoende	
4. Resultaten	- De resultaten zijn gestructureerd (volgens de deelvragen) weergegeven. - Tabellen, figuren, grafieken zijn toegelicht in de tekst. - Tabellen, figuren, grafieken geven informatie voor het beantwoorden van de deelvragen. - De resultaten bevatten geen discussie en geen interpretatie. - De resultaten zijn correct geanalyseerd (waar nodig is analyserende statistiek gebruikt). - Verschillende factoren zijn met elkaar in verband gebracht. - Alleen de resultaten die nodig zijn voor het beantwoorden van de deelvragen zijn beschreven.	- De resultaten zijn gestructureerd (volgens de deelvragen) weergegeven. - Tabellen, figuren, grafieken zijn toegelicht in de tekst. - Tabellen, figuren, grafieken geven informatie voor het beantwoorden van de deelvragen. - De resultaten bevatten geen discussie en geen interpretatie.	Voldoende	
5. Discussie	- Er is een kritische reflectie op de gebruikte onderzoeksmethode(n). - De resultaten zijn correct geïnterpreteerd. - De reikwijdte van de resultaten (wat kan doelgroep er mee) is beschreven. - De discussie is gestructureerd weergegeven. - De resultaten zijn vergeleken met literatuur, normen, verwachtingen. - Er worden geen conclusies getrokken. - Nieuwe bronnen zijn alleen gebruikt bij niet verwachte resultaten of nieuwe ontwikkelingen in de beroepspraktijk. - De omvang van de discussie is proportioneel met de omvang van het AFW.	- Er is een kritische reflectie op de gebruikte onderzoeksmethode(n). - De resultaten zijn correct geïnterpreteerd. - De reikwijdte van de resultaten (wat kan doelgroep er mee) is beschreven. - De discussie is gestructureerd weergegeven.	Voldoende	
6. Conclusie(s) en aanbevelingen	- Onderzoek en doel van het rapport worden genoemd. - Elke deelvraag wordt beantwoord. - De hoofdvraag wordt beantwoord. - De conclusies zijn gebaseerd op de resultaten en discussie. - Aanbevelingen zijn praktisch toepasbaar voor de doelgroep. - De relevantie van de resultaten wordt gegeven ('cirkel sluiten'). - Alle aanbevelingen passen bij de discussie en/of conclusie(s). - Aanbevelingen zijn ingedeeld naar korte en lange termijn.	- Onderzoek en doel van het rapport worden genoemd. - Elke deelvraag wordt beantwoord. - De hoofdvraag wordt beantwoord. - De conclusies zijn gebaseerd op de resultaten en discussie. - Aanbevelingen zijn praktisch toepasbaar voor de doelgroep.	Voldoende	
7. Bronnen	- Minstens 10 referenties komen uit peer reviewed bronnen. - De literatuurlijst is opgesteld conform de geldende APA-normen. - Er zijn wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke, nationale en internationale bronnen gebruikt (diepgang). - Alle gekozen bronnen zijn relevant. - Minstens 10 referenties zijn actueel (< 10 jaar oud).	- Minstens 10 referenties komen uit peer reviewed bronnen. - De literatuurlijst is opgesteld conform de geldende APA-normen.	Voldoende	
8. Het hele AFW: Rapporteren	- Het rapport voldoet aan alle punten van de 'checklist schriftelijk rapporteren'. - De omvang van het Afstudeerwerkstuk is maximaal 50 pagina's (excl. bijlagen).	Het rapport bevat geen 'killing points' van de 'checklist schriftelijk rapporteren'.	Voldoende	
9. Het hele AFW: hbo-niveau	- Het rapport heeft vakinhoudelijke diepgang. - In het rapport worden wetenschap en (beroeps)praktijk met elkaar in verband gebracht (past theorie toe / praktijkgericht). - Meerdere kennisgebieden worden geïntegreerd. - Een complex vraagstuk is in praktisch bruikbare delen gesplitst.	- Het rapport heeft vakinhoudelijke diepgang. - In het rapport worden wetenschap en (beroeps)praktijk met elkaar in verband gebracht (past theorie toe / praktijkgericht).	Voldoende	
10. Het hele AFW: Proces Alleen te beoordelen door coach 2e beoordelaar neemt beoordeling over aan te brengen.	- De student heeft feedback gebruikt om verbeteringen aan te brengen. - De student heeft gericht gezocht naar nieuwe informatie voor het beantwoorden van de vraag/ oplossen van het probleem/ innovatie. - De student heeft zelfstandig gewerkt. - De student heeft volgens een zelf gemaakte planning gewerkt. - De student heeft zelf het initiatief genomen om verbeteringen aan te brengen.	- De student heeft feedback gebruikt om verbeteringen aan te brengen. - De student heeft gericht gezocht naar nieuwe informatie voor het beantwoorden van de vraag/ oplossen van het probleem/ innovatie.	Voldoende	
Cijfer			6,4	

Bijlage 3

[illegible]

Bijlage 4

Gewas	Klei 2019-2021	Noordelijk ¹⁰ , westelijk ¹¹ en centraal ¹² zand 2019-2021	Zuidelijk ¹³ zand 2019-2021	Löss ⁴ 2019-2021	Veen 2019-2021
Grasland (kg N per ha per jaar)					
Grasland met beweiden	345	250	250	250	265
Grasland met volledig maaien ¹	385	320	320	320	300
Tijdelijk grasland² (kg N per ha per periode)					
van 1 januari tot minstens 15 april	60	50	50	50	50
van 1 januari tot minstens 15 mei ³	110	90	90	90	90
van 1 januari tot minstens 15 augustus ³	250	210	210	210	210
van 1 januari tot minstens 15 september ³	280	235	235	235	235
van 1 januari tot minstens 15 oktober ³	310	250	250	250	265
vanaf 15 april tot minstens 15 oktober	310	250	250	250	265
vanaf 15 mei tot minstens 15 oktober	280	235	235	235	235
vanaf 15 augustus tot minstens 15 oktober	95	80	80	80	80
vanaf 15 september tot minstens 15 oktober	30	25	25	25	25
vanaf 15 oktober	0	0	0	0	0

Grasland

PAL-waarde	Categorie	2019-2021
<27	Laag	100
27-50	Neutraal	90
>50	Hoog	80

Bouwland

Pw-waarde	Categorie	2019-2021
<36	Laag	75
36-55	Neutraal	60
>55	Hoog	50