



Onderzoek naar toepassing gewassensoren voor optimalisering grasteelt in ruwvoerwinning

Student: Joep Kools

Datum: 01-06-2018

Opdrachtgever: Agrifirm; division arable solutions

Afstudeerdocent: Dhr. Nysten, S.



Afstudeerwerkstuk: onderzoek naar toepassing gewassensoren voor optimalisering grasteelt in ruwvoerwinning

Auteur

Joep Kools
Kruizemunt 185
8252 BX Dronten
T: +31 6 12668563
E: 3017997@aeres.nl

Instelling

Aeres Hogeschool Dronten
De Drieslag 4
8251 JZ Dronten

Opleiding/major

HBO Bachelor Voltijd Tuin- en akkerbouw

Klas

4TA

Opdrachtgever

Royal Agrifirm Group B.V. (Division Arable Solutions)
Landgoedlaan 20
7325 AW Apeldoorn

Contactpersoon opdrachtgever

Dhr. Strikkeling, A.
E: a.strikkeling@agrifirm.com

Afstudeerdocent

Dhr Nysten, S.
E: s.nysten@aeres.nl

Datum

Vrijdag 1 juni 2018

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 afstudeerwerkstuk over de mogelijkheden en toepassing van precisielandbouw en gewassensoren in de grasteelt in de ruwvoerwinning. Het afstudeeronderzoek wordt geschreven in het kader van de afstudeerfase van de major tuin- en akkerbouw. In dit afstudeerwerkstuk wordt er antwoord gegeven op de hoofd- en deelvragen van het onderzoek. Tijdens de afstudeerfase heb ik mij verdiept in precisielandbouw door middel van de minor Smart Farming Technologies en deze interesse heb ik bij Agrifirm Plant B.V. verder ontwikkelt door hier vanaf maart 2017 de afstudeerstage te doen. Agrifirm wil bijdragen aan een verantwoorde en duurzame voedselketen en precisielandbouw staat hierin ook centraal.

Het onderwerp voor het afstudeerwerkstuk is tot stand gekomen door de afstudeerstage en wordt uitgevoerd in opdracht van Agrifirm. Als coöperatieve onderneming is Agrifirm actief in de veehouderij en de landbouwsector. Er is al relatief veel ervaring met precisielandbouw in openluchtteelten, maar dit geldt niet voor de ruwvoerteelt terwijl de techniek wel beschikbaar is. Agrifirm heeft veel belang bij loonbedrijven en melkveehouders en hierbij is de vraag voorgelegd wat de mogelijkheden zijn voor het toepassen van sensoren voor optimalisering van de grasteelt in de productie van ruwvoer met een kloppend verdienmodel. De persoonlijke interesse in precisielandbouw in combinatie met de verbreding naar de veehouderijsector toe heeft er juist voor gezorgd dat ik heb gekozen voor dit onderwerp voor het afstudeeronderzoek.

Alle bedrijven die direct betrokken zijn bij de ruwvoerteelt en de leveranciers van de sensoren zijn gebaat bij het onderwerp van het afstudeeronderzoek. Daarnaast is het ook interessant voor de veehouderij sectorbreed gezien.

Graag zou ik Sylvan Nysten bedanken. Als afstudeerdocent heeft hij mij erg geholpen bij het schrijven van dit afstudeerwerkstuk door middel van het geven van goede feedback tijdens het schrijven van het vooronderzoek en hier ben ik dan ook zeer dankbaar voor. Ook wil ik graag Adrie Strikeling van Agrifirm bedanken door mij een afstudeerstage aan te bieden bij Agrifirm Plant B.V. en te betrekken bij dit vraagstuk. Verder wil ik ook nog graag Gerard Meuffels van Agrifirm bedanken die mij goed begeleidt en geholpen heeft bij de uitvoering van het onderzoek.

Dronten, juni 2018

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	4
SUMMARY	5
1. INLEIDING	6
1.1 PRECISIELANDBOUW IN DE MELKVEEHOUDERIJ	6
1.2 KANSEN PRECISIELANDBOUW RUWVOERTEELT	7
1.3 GEWASSENSING EN GEWASSENSOREN	9
1.4 OPTIMALISATIE RUWVOERWINNING GRAS EN GEWASPARAMETERS	14
1.5 HOOFDVRAAG EN DEELVRAGEN ONDERZOEK	16
1.6 DOELSTELLING EN HYPOTHESES ONDERZOEK	17
2. MATERIAAL EN METHODE	18
2.1 D1: IS ER EEN CORRELATIE TUSSEN DE SENSORDATA VAN DE GREENSEEKER RT100 EN DE KWANTITEITS- EN KWALITEITSPARAMETERS VAN HET GRAS?	18
2.2 D2: IS ER EEN CORRELATIE TUSSEN DE SENSORDATA VAN DE FRITZMEIER ISARIA EN DE KWANTITEITS- EN KWALITEITSPARAMETERS VAN HET GRAS?	19
2.3 D3: IS ER EEN CORRELATIE TUSSEN DE SENSORDATA VAN DE EBEE AG SENSEFLY EN DE KWANTITEITS- EN KWALITEITSPARAMETERS VAN HET GRAS?	20
2.4 D4: WAT ZIJN DE KOSTEN EN BATEN VOOR TOEPASSING VAN DE SENSOREN VOOR DE DOELGROEPEN VAN HET ONDERZOEK ?	21
3. RESULTATEN	22
3.1 GREENSEEKER Rt100 EN GRASDATA	22
3.2 FRITZMEIER ISARIA SENSOR EN GRASDATA	29
3.3 EBEE DRONE EN GRASDATA	31
3.4 KOSTEN EN BATEN GEWASSENSOREN	37
4. DISCUSSIE	38
4.1 GREENSEEKER Rt100 EN GRASDATA	38
4.2 FRITZMEIER ISARIA EN GRASDATA	38
4.3 EBEE SENSEFLY EN GRASDATA	39
4.4 KOSTEN EN BATEN GEWASSENSOREN	39
4.5 REFLECTIE UITVOERING ONDERZOEK	40
5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	41
5.1 CONCLUSIE DEELVRAAG 1	41
5.2 CONCLUSIE DEELVRAAG 2	41
5.3 CONCLUSIE DEEL VRAAG 3	41
5.4 CONCLUSIE DEELVRAAG 4	41
5.5 CONCLUSIE EN BEANTWOORDING HOOFDVRAAG	42
5.6 AANBEVELINGEN	42
BRONNENLIJST	43
BIJLAGE 1. STAPPENPLAN/PROTOCOL DATAVERZAMELING EN DATA-ANALYSE ONDERZOEK PER GRASSNEDE	45
BIJLAGE 2: TOESTEMMINGSFORMULIER TOT OPNAME EN BESCHIKBAARSTELLING AFSTUDEERWERKSTUKKEN IN REPOSITORY	46

Samenvatting

Tegenwoordig zijn deze ruwvoerproducties op de melkveebedrijven van een zodanige omvang dat een goed ruwvoermanagement door de veehouder zeer relevant is. Hiervoor is het essentieel dat melkveehouders gedurende het groeiseizoen inzicht krijgen in de ruwvoergewassen. Op basis van de juiste informatie op het juiste moment kan een ondernemer zo ook de juiste beslissingen nemen voor de ruwvoerwinning. In de huidige bedrijfsvoering bestaan metingen aan ruwvoerproducten voornamelijk uit laboratoriumanalyses. De uitslagen hiervan komen pas later binnen en zo is het ook niet mogelijk voor een melkveehouder om bijvoorbeeld gedurende het groeiseizoen in te spelen op variatie. Er is dan ook beschikbare en betrouwbare meetinstrumenten waarbij op een niet destructieve wijze metingen uitgevoerd kunnen worden aan ruwvoergewassen gedurende het groeiseizoen.

Het doel van dit onderzoek is geweest om te bepalen hoe commerciële gewassensoren kunnen worden ingezet in grasteelt in de ruwvoerwinning met een realistisch verdienmodel voor melkveehouder en loonwerker. De gewassensoren die zijn toegepast in het onderzoek zijn de close range sensoren Fritzmaier Isaria en de Greenseeker RT100. Daarnaast zijn er metingen gedaan met de eBee sensefly drone (Remote Sensing). Deze sensordata is vergeleken met de kwantiteit-en kwaliteits opbrengst van het gras.

Hieruit blijkt dat er een sterke significante correlatie gevonden tussen de sensordata van de Greenseeker en de opbrengst droge stof op perceelsniveau. Op snede-niveau echter is er ook een negatieve correlatie gevonden tussen de opbrengst droge stof en de sensordata van de Greenseeker. Geconcludeerd kan dan ook worden dat er geen betrouwbare correlatie is tussen deze data, maar dat het ook niet onwaarschijnlijk is dat er wel een relatie aanwezig is tussen de opbrengst droge stof en de sensordata van de Greenseeker.

Uit de resultaten blijkt ook dat voor de Fritzmaier Isaria sensor er sterke tot zeer sterke significante correlaties zijn gevonden met de opbrengst droge stof en ook met de opbrengst ruw eiwit. Echter zijn er alleen betrouwbare metingen gedaan voor één snede en dus negen monsterpunten voor een perceel met veel variatie. Deze omstandigheden en het aantal metingen zijn niet voldoende om te kunnen concluderen dat er een betrouwbare correlatie is tussen deze data. Het lijkt echter wel aannemelijk dat deze sensor zeker wel potentie heeft.

Uit de resultaten blijkt niet dat er betrouwbare correlaties aanwezig zijn tussen de sensordata van de eBee en de grasdata. De metingen per perceel zijn te weinig, maar er kan wel geconcludeerd worden dat het niet aannemelijk is dat de eBee van toegevoegde waarde is in de grasteelt.

Wat het financiële aspect betreft zullen de kosten zullen voor een melkveehouder met minimaal 7% per hectare toenemen als een loonwerker een dergelijke sensor aanschaf. De kosten voor een dronevlucht bedragen zo'n €25,- per hectare. De absolute meerwaarde van een sensor kunnen op basis van de onderzoeksresultaten nog niet concreet in beeld worden gebracht.

Wanneer er naar de gewassensoren op zichzelf wordt gekeken lijken de Greenseeker Rt100 en de Fritzmaier Isaria gewassensor het meest interessant voor de ruwvoerteelt. Van vitaal belang voor loonwerker en melkveehouder is wat de concrete meerwaarde van een sensor is. Deze kan op basis van de onderzoeksresultaten nog niet aangetoond worden en een praktijkrijp concept is dan ook nog niet aanwezig. Echter, de gewassensoren Fritzmaier Isaria en de Greenseeker Rt100 laten bij verschillende resultaten wel potentie zien.

Summary

Nowadays the roughage productions on the dairy farms are of such a size that good roughage management by the farmer is very relevant. It is essential for dairy farmers to gain insight into the roughage crops during the growing season. Based on the right information at the right time, a farmer can also take the right decisions for roughage production. In current operations, measurements on roughage products consist mainly of laboratory analyzes. The results will only arrive later and it is not possible for a dairy farmer to respond to variation during the growing season, for example. There is therefore available and reliable measuring instruments in which non-destructive measurements can be carried out on forage crop during the growing season.

The aim of this research was to determine how commercial crop sensors can be used in grass cultivation in forage harvesting with a realistic revenue model for dairy farmers and contract workers. The crop sensors used in the research are the close range sensors Fritzmaier Isaria and the Greenseeker RT100. In addition, measurements were taken with the eBee sensefly drone (Remote Sensing). This sensor data has been compared with the quantity and quality yield of the grass.

This shows that a strong significant correlation was found between the sensor data from the Greenseeker and the yield of dry matter at field level. At the cut level, however, a negative correlation has also been found between the yield of dry matter and the sensor data from the Greenseeker. It can therefore be concluded that there is no reliable correlation between these data, but that it is also not unlikely that there is a relationship between the yield of dry matter and the sensor data from the Greenseeker.

The results also show that for the Fritzmaier Isaria sensor strong to very strong significant correlations were found with the yield of dry matter and also with the yield of crude protein. However, only reliable measurements were made for one cut and therefore nine sample points for a plot with a lot of variation. These circumstances and the number of measurements are not sufficient to conclude that there is a reliable correlation between these data. However, it seems likely that this sensor certainly has potential.

The results do not show that there are reliable correlations between the sensor data of the eBee and the grass data. The measurements per lot are not enough, but it can be concluded that it is not plausible that the eBee is of added value in the cultivation of grass.

The costs for a dairy farmer will increase by at least 7% per hectare if a contract worker purchases such a sensor. The costs for a drone flight are around € 25 per hectare. The absolute added value of a sensor can not yet be mapped out on the basis of the research results.

When looking at the crop sensors itself, the Greenseeker Rt100 and the Fritzmaier Isaria crop sensor seem the most interesting for roughage cultivation. Of vital importance for contractor and dairy farmer is what the concrete added value of a sensor is. This can not yet be demonstrated on the basis of the research results, and a practice-ready concept is therefore not yet available. However, the crop sensors Fritzmaier Isaria and the Greenseeker Rt100 show potential for different results.

1. Inleiding

De ruwvoerproductie vormt één van de basiselementen van een melkveebedrijf. Het streven naar kostprijsbeheersing, een efficiënte inzet van grondstoffen en het winnen van ruwvoer van hoge kwaliteit hebben dan ook direct betrekking op het uiteindelijke bedrijfsresultaat. Zo is ook uit een studie gebleken dat als melkveehouders hier zich in willen verbeteren optimalisering van de ruwvoerteelt nodig is (Meuleman, Schut, & Smits, 2006). Tegenwoordig zijn de ruwvoerproducties op de melkveebedrijven van een zodanige omvang dat een goed ruwvoermanagement door de veehouder zeer relevant is. Hiervoor is het essentieel dat melkveehouders gedurende het groeiseizoen inzicht krijgen in de ruwvoergewassen. Op basis van de juiste informatie op het juiste moment kan een ondernemer zo ook de juiste beslissingen nemen voor de ruwvoerwinning. Hierin staat dan ook centraal dat er meetinstrumenten beschikbaar en betrouwbaar moeten zijn, waarbij op een niet destructieve wijze metingen uitgevoerd kunnen worden aan ruwvoergewassen gedurende het groeiseizoen.

In de huidige bedrijfsvoering bestaan metingen aan ruwvoerproducten voornamelijk uit laboratoriumanalyses. De uitslagen hiervan komen pas later binnen en zo is het ook niet mogelijk voor een melkveehouder om bijvoorbeeld gedurende het groeiseizoen in te spelen op variatie. Er is dan ook behoefte aan meetinstrumenten die snel data verzamelen over de actuele status van het gewas, waarbij er nog sturing door de melkveehouder mogelijk is. Uit een enquête onder 500 melkveehouders in 2005 is gebleken dat op dat moment 60% van de melkveehouders in de toekomst gebruik wilde gaan maken van “snelle” meetmethoden voor het bepalen van de energie en eiwitwaarden in vers gras (Stienezen, et al., 2005). Dit geeft dan ook aan dat melkveehouders wel open staan voor nieuwe technologieën op bijvoorbeeld het gebied van sensortechnologie en precisielandbouw in de ruwvoerteelt.

In de volgende paragrafen is beschreven wat de ontwikkelingen zijn op het gebied van precisielandbouw in de melkveehouderij en welke rol dit in de sector speelt. Daarnaast is beschreven waar de potentie en kansen liggen van het toepassen van precisielandbouw in de ruwvoerwinning van gras.

1.1 Precisielandbouw in de melkveehouderij

Wanneer er naar de teelt wordt gekeken is het een duidelijke tendens dat er in de tuin- en akkerbouw veel meer gebruikt wordt gemaakt van precisielandbouwtoepassingen in vergelijking met de productie van het ruwvoer ten behoeve van de melkveehouderij (Hoving, et al., 2015). Echter is in de melkveehouderijsector precisielandbouw zeker geen recente ontwikkeling. Zo zijn sensoren, automatisering en robotisering in de sector bekende termen. In de jaren tachtig werden er al maatregelen getroffen om door middel van sensortechnologie te kijken en in te spelen op het “individuele” dier (Rutten, Velthuis, Steeneveld, & Hogeveen, 2013). In deze jaren werden ook de eerste stappentellers ontwikkeld en in gebruik genomen om de bewegingen van het melkvee te volgen (Kempenaar & Kocks, 2013). Daarnaast werden er in deze periode ook al studies gedaan naar automatische melksystemen en in 1992 werden deze eerste melksystemen al geïmplementeerd op Nederlandse melkveebedrijven (Rutten, Velthuis, Steeneveld, & Hogeveen, 2013). Door de jaren heen zijn dergelijke technologische ontwikkelingen alleen maar toegenomen, wat ervoor gezorgd heeft dat melkveehouders steeds beter in staat zijn om per koe te meten en te registreren. Wanneer er over precisielandbouw in melkveehouderij wordt gesproken heeft men het vaak over Precision Livestock Farming (PLF) of Dairy Precision Farming (Kempenaar & Kocks, 2013). Precision Livestock Farming kan gedefinieerd worden als een principe dat zich richt op het nauwkeurig managen van de verschillende processen van het individuele dier en hun fysieke omgeving (Wathes, Kristensen, Aerts, & Berckmans, 2008).

Processen die hieronder worden verstaan zijn onder andere:

- De output (*samenstelling melk per dier*)
- De aspecten van dierlijk gedrag (*monitoring activiteit melkvee*)
- Signaleren en monitoren van dierziekten
- Processen in de omgeving van het dier (*o.a. stalklimaat*)

Door robotisering, automatisering, sensortechnologie, ICT en GPS zijn er talloze systemen en ontwikkelingen in de markt waarbij het mogelijk is om van elke individuele koe en directe omgeving alles te weten te komen. In 2015 is er een enquête gehouden onder Nederlandse melkveehouders over het gebruik van sensoren. Van de 512 bedrijven heeft bijna 40% van deze bedrijven hierbij aangegeven sensoren toe te passen binnen het bedrijf (Steenefeld & Hogeveen, 2015). Daarnaast maakt tegenwoordig gemiddeld één op de vier Nederlandse melkveebedrijven gebruik van een melkrobot; voor de bedrijven met meer dan 100 melkkoeien is dit zelfs bijna 30% (Lentz, 2017). Dit geeft dan ook aan dat de Nederlandse melkveehouderij positief tegenover deze ontwikkelingen staat en de implementatie van systemen op het gebied van precision livestock farming al veelvuldig wordt toegepast. Ontwikkelingen op het gebied van gewassensensoren in de ruwvoerteelt zijn relevant voor dit onderzoek. Hier wordt in de volgende paragraaf verder op ingegaan.

1.2 Kansen precisielandbouw ruwvoerteelt

Stal en dier kunnen dus gezien worden als een plaats van toptechnologie op het gebied van precisielandbouw en smart farming. Met precisielandbouw wordt bedoeld hoe nieuwe technologieën (bijv. sensoren) gebruikt kunnen worden door te sturen op variatie van individuele bedrijfsprocessen en met smart farming worden deze processen gecombineerd tot een integrale bedrijfsbenadering (Kempenaar & Kocks, 2013). Hoe anders is dit als er wordt gekeken naar de ruwvoerteelt. Technieken op dit gebied zijn nog nauwelijks van toepassing in de teelt van gras en maïs in de Nederlandse melkveehouderij. Er zijn een aantal redenen die verklaren waarom precisielandbouw hier nog niet veel van toepassing is.

Een eerste reden is simpelweg dat een melkveehouder minder bezig is met de teelt en ruwvoerproductie, doordat zijn passie bij de dieren ligt. Dit blijkt ook uit een interview met een melkveehouder uit Lemmer (Thibaudier, 2016). Een volgende verklaring voor het achterblijven van precisielandbouwtoepassingen in de ruwvoerteelt is het economisch rendement. Door het onbekende verdienmodel en de lagere marges dan in de akkerbouw wordt er minder snel geïnvesteerd. Ook een belangrijke reden is de afhankelijkheid van loonwerkers voor de melkveehouderijbedrijven. Waar een teler vaak in staat is om de gewasbehandelingen zelf uit te voeren is in veel gevallen bij melkveehouders de loonwerker hier verantwoordelijk voor. Een loonwerker zal dan ook alleen investeren in dergelijke toepassingen als hij dit door kan rekenen naar zijn klanten. Het directe gevolg hiervan is weer dat melkveehouders alleen bereid zijn meer te betalen, wanneer blijkt dat de toepassing ook voordeel oplevert.

Ondanks dat de toepassing van precisielandbouw en sensoren in de ruwvoerteelt dus nog niet echt van de grond komt geven recente ontwikkelingen hier juist wel aanleiding toe. Na onderzoek van onder andere de WUR is geschat dat slechts 36% van de hoeveelheid droge stof in gras-ruwvoer door een koe wordt benut, waarbij er een potentieel verlies is van zo'n €1400,- per hectare (Stevens, 2017). Minder dan de helft van het ruwvoer wordt benut door de koeien en geschat wordt dat 15% van de verliezen in de ruwvoerproductie bij grasland worden veroorzaakt door fouten of gebreken van de ondernemer (Stevens, 2017). Deze verliezen zijn dan ook te voorkomen en kunnen voordelen opleveren voor de voerefficiëntie. De voerefficiëntie is een belangrijk kengetal voor melkveehouders en geeft aan hoeveel kg melk er geproduceerd wordt uit een kg droge stof voer. Een toename van de voerefficiëntie door beter ruwvoer en de benutting hiervan heeft dan ook een positief effect op het saldo en de melkproductie.

Met een hogere ruwvoerbenutting is een veehouder dan ook in staat om de kostprijs te verlagen en te beheersen, waardoor de veerkracht van het bedrijf in mindere perioden ook vergroot wordt. Optimalisering van de ruwvoerteelt van zowel kwaliteit als opbrengst biedt dan ook veel potentieel voordeel.

Daarnaast speelt het mineralenmanagement ook een centrale rol in de Nederlandse melkveehouderij. Zowel in 2015 als in 2016 is het Europees vastgestelde fosfaatplafond door de Nederlandse melkveehouderij overschreden (CBS, 2016). Om weer onder dit plafond te komen en het zicht op derogatie te behouden is het fosfaatreductieplan in 2017 ingevoerd wat nog enige tijd zal doorlopen tot in 2018 en zijn er vanaf 1 januari 2018 fosfaatrechten ingevoerd voor de Nederlandse melkveehouderij (RVO, 2017). Gras is een gewas wat veel fosfor bevat, waarbij wel blijkt dat de fosfor uit het ruwvoer niet automatisch resulteert in een hogere fosfaatuitstoot door het melkvee (Eurofins Agro, 2015). Hierbij speelt met name een hogere voerefficiëntie van het rantsoen een grotere rol; wanneer het ruwvoer beter benut wordt door koe kan er met minder ruwvoer een betere melkproductie gerealiseerd worden en wordt de fosfaatexcretie ook verlaagd.

Ook stikstof speelt een belangrijke rol in de Nederlandse melkveehouderij; van de ammoniakemissie in de Nederlandse veehouderij is de melkveesector hier voor het grootste gedeelte verantwoordelijk voor. Het rantsoen dat opgenomen wordt door de koeien bestaat met gras en maïs voor het grootste gedeelte uit ruwvoer, waarin het gras voor de grootste aanvoer van stikstof zorgt. Deze stikstof uit het gras wordt door de koeien opgenomen in de vorm van ruw eiwit. Het grootste deel van het overtollige eiwit wordt weer uitgescheiden en kan vervluchtigen als ammoniak en heeft dan ook direct gevolg voor de ammoniakemissie van een bedrijf. Het voorkomen of beperken van een eiwitovermaat in het rantsoen kan dan ook heel goed bijdragen aan het verlagen van de stikstofexcretie en verbeteren van de ammoniakemissie (Aarts, Hilhorst, Sebek, Smits, & Oenema, 2007), zonder dat de eiwitvertering en melkproductie hier nadelige effecten van ondervinden.

Verder is zeer relevant dat gedurende het groeiseizoen op meer dan 85% van de Nederlandse melkveebedrijven vers gras het belangrijkste voedermiddel is (Klop, de Jonge, & Brandsma, 2008). Zo is bijvoorbeeld een goede eiwit-waardering en droge stof gehalte gedurende de teelt en oogst van vers gras dan ook bepalend voor de voerkwaliteit. Inzicht in de variatie door real-time metingen in de grasteelt kunnen de veehouder dan ook de mogelijkheid geven om ook te kunnen sturen in het gewas gedurende het groeiseizoen.

Zoals ook eerder beschreven in het vooronderzoek speelt ook de huidige methode voor het analyseren en meten van de gras een belangrijke rol. Deze analyses (*o.a. laboratoriumonderzoek*) geven pas na de grasoogst inzicht in de kwaliteitsgehalten van het gras. Op basis hiervan wordt bepaald hoeveel en welk soort krachtvoer en mineralen er aangekocht worden om het rantsoen samen te stellen. Er kan in de ruwvoerwinning van gras gedurende het groeiseizoen dan ook niet goed ingespeeld worden op de variatie binnen het perceel en de wisselende kwaliteit van het gewas. Door inzicht in de actuele status van het gras gedurende het groeiseizoen is het in potentie wel mogelijk om hierop te sturen en dus ook op de uiteindelijke rantsoenkwaliteit en voerefficiëntie.

De beschreven ontwikkelingen geven dan ook aan dat de ruwvoerwinning uit grasland zeer relevant is voor de melkveebedrijven en dat verbetering in kwaliteit, opbrengst en efficiëntie hierin ook direct bedraagt aan het bedrijfsresultaat. Zo kan er een hogere voeropname gerealiseerd worden, er meer melk uit eigen ruwvoer geproduceerd wordt en hoeft er minder kracht- of ruwvoer aangekocht te worden, waardoor de kostprijs per liter melk gereduceerd kan worden. Optimalisatie van de ruwvoerteelt door inzet van “snelle” meetinstrumenten in de ruwvoerwinning in grasland kan hierin dan ook een grote rol spelen.

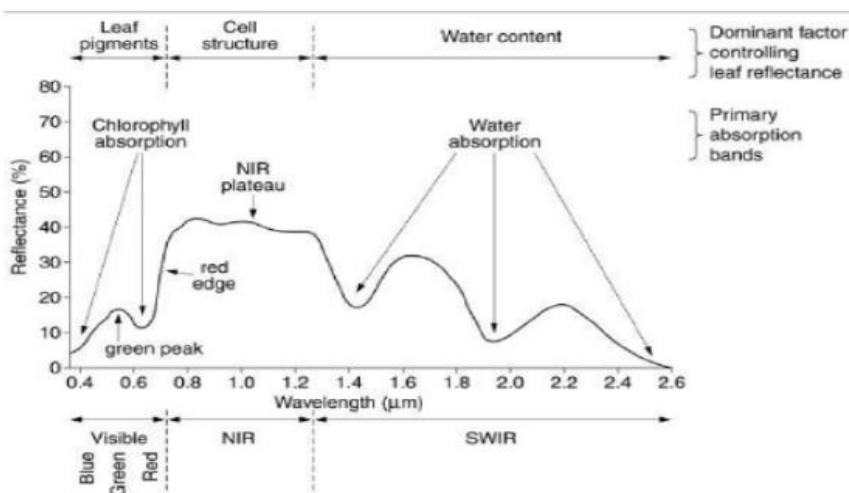
Tot op heden zijn er echter nog vrijwel geen praktisch toepasbare concepten van “snelle” meetinstrumenten in de ruwvoerteelt in de melkveehouderij. De reden hiervoor is dat de meerwaarde van dergelijke instrumenten nog niet goed genoeg aangetoond is, waardoor investering voor loonwerkers en melkveehouders een te groot risico is. Er zijn zeker wel ontwikkelingen en technieken op de markt die geschikt zouden kunnen zijn als snelle meetmethode voor de melkveehouder in de ruwvoerteelt. Een voorbeeld van zo’n techniek zijn close range gewassensensoren. Deze sensoren maken gebruik van gewasreflectiemetingen en uit onderzoek is vastgesteld dat hierbij in gras droge stof opbrengsten en inhoudsstoffen (nutriënten) bepaald kunnen worden. Wat hierbij echter wel ontbreekt is een in de praktijk toepasbaar model. In dit onderzoek wordt dan ook gekeken naar de praktische mogelijkheden van dergelijke gewassensensoren in grasproductie in de ruwvoerteelt.

1.3 Gewassensing en gewassensensoren

De toepasbaarheid van gewassensensoren in de grasteelt ten behoeve van de ruwvoerwinning staat dus centraal in het onderzoek. Met behulp van sensoren is het mogelijk inzicht te krijgen in de variatie van de gewasstand binnen een perceel en dit wordt gewassensing genoemd. Er zijn twee manieren gewassensing te onderscheiden (Kikkert, 2009):

- Near sensing; dit zijn sensoren die vlak boven het gewas meten, zoals sensoren die bijvoorbeeld vanaf een trekker meten
- Remote sensing; dit zijn sensoren die van grotere afstand boven een gewas meten, zoals drones (UAV), vliegtuigen en satellietbeelden

Er zijn dan ook diverse sensoren ontwikkeld voor gewassensing om plaats specifiek een schatting te geven van de gezondheid en groei van een gewas. Deze sensoren zijn gebaseerd op het principe van de gewasreflectie bij een bepaalde golflengte van het elektromagnetisch spectrum, waarbij licht uit verschillende golflengtes bestaat. Hieronder in figuur 1 is de schematische gewasreflectiecurve weergegeven.



Figuur 1: Gewasreflectie van licht in relatie tot golflengte (Ros & Bussink, 2012)

In het zichtbare deel van het spectrum (*tussen de 400nm tot 700 nm*) wordt een groot gedeelte van het ingestraalde licht door planten geabsorbeerd met absorptiepieken rond 450 nm (blauw) en de 650 nm (rood) en vindt er weinig reflectie plaats. Hierbij is ook te zien dat in het zichtbare spectrum er de kleur groen wel meer gereflecteerd wordt door het gewas dan de kleuren rood en blauw (*green peak*); Dit is dan ook de reden dat planten en gewassen voor ons over het algemeen een groene kleur hebben.

Planten zijn in staat om de energie uit geabsorbeerde lichtdeeltjes om te zetten en te gebruiken voor de fotosynthese van de plant door voornamelijk de kleurstof chlorofyl. De aanwezigheid en concentratie chlorofyl in het blad bepaalt dan ook de bladkleur en gewasreflectie in dit deel van het spectrum. Door gewasreflectiemetingen uit te voeren in dit spectrum kan er daarom ook iets gezegd worden over de hoeveelheid chlorofyl in de plant en dus ook over de plantgezondheid. Wanneer een gewas stress ondervindt of ziek is bevat deze minder chlorofyl en is de absorptie van lichtdeeltjes dus ook minder. Dit is dan ook de reden dat ziekere planten bijvoorbeeld een wat blekere kleur krijgen, doordat de absorptie van groen licht gelijk komt te liggen met die van blauw en rood licht in het zichtbare spectrum.

De straling voorbij het zichtbaar spectrum vanaf 700nm wordt infrarood genoemd en in figuur 5 is ook te zien dat de reflectie hier veel hoger ligt dan in het zichtbare deel van het spectrum. In dit gebied is de absorptie van lichtdeeltjes door chlorofyl vele malen lager dan in het zichtbare spectrum het geval is en dit wordt veroorzaakt door de celstructuur in het blad. Wanneer een gewas meerdere bladlagen bevat draagt dit ook bij aan de reflectie in het infrarood (Buiten & Clevers, 1990). Door gewasreflectiemetingen uit te voeren in het nabij-infrarood kan er hierdoor inzicht worden verkregen in de dikte van het vegetatiedek van het gewas, de celstructuur (bladgezondheid) en dus ook de ontwikkeling van het gewas. Daarnaast speelt het verschil in reflectie tussen bodem en gewas ook nog een grote rol bij gewassensing.

Van dit verschil wordt dan ook gebruik gemaakt bij reflectiemetingen om onderscheid te maken tussen gewas en bodem. Zo reflecteert de een gewas weinig rood licht en veel nabij infrarood licht. De bodem reflecteert juist weer meer rood licht en minder nabij infrarood licht. Hierdoor is het mogelijk door analyse van de gewasreflectie een schatting te geven van de door het gewas bedekte bodem, de dikte van het vegetatiedek en de dus de hoeveelheid biomassa. Praktisch gezien betekent dit dat gedurende het seizoen plaatsspecifiek de gewasgroei gemonitord kan worden.

Door gewasreflectiemetingen te doen in het in het zichtbare spectrum en het nabij infrarood kan dit dus inzicht geven over de variatie in biomassa en chlorofylgehalte binnen een perceel. Een gewas gebruikt stikstof voor het aanmaken van chlorofyl, waardoor er zo ook informatie kan worden verkregen over de stikstofbenutting van het gewas. Daarnaast kan er ook door middel van gewasreflectiemetingen met gewassensoren informatie worden verkregen over de gewasvitaliteit, doordat een gezond gewas een andere reflectiecurve laat zien dan een gewas in stresscondities (Carter & Knapp, 2001). Naast stress kan de reflectie van bladeren ook gebruikt worden voor het maken van een goede inschatting van het droge stof gehalte, de voederwaarde en het nutriëntengehalte van een grasgewas (Schut, et al., 2004). Het doen van gewasreflectiemetingen in de ruwvoerteelt heeft dan ook zeker potentie.

Van verschillende stoffen is bekend in welk gebied van het elektromagnetisch spectrum zij veel van het ingestraalde licht absorberen of reflecteren. Als dus van een stof bekend is welke specifieke golflengte er veel licht absorbeert is het theoretisch mogelijk om de hoeveelheid van een stof te bepalen door de gewasreflectie te meten bij deze specifieke golflengte. Dit werkt bij planten echter anders, omdat door de complexiteit van de verbindingen van de stoffen over een breder gebied licht geabsorbeerd wordt en de absorptie afhankelijk is van meerdere componenten.

Het is dan ook niet mogelijk om met commerciële gewassensensoren op basis van reflectiemetingen in gras bijvoorbeeld het suikergehalte of het gehalte ruw eiwit nauwkeurig te bepalen. Om inzicht te krijgen in de gewasontwikkeling en gewasvitaliteit en metingen betrouwbaar te kunnen vergelijken wordt er door sensoren gebruik gemaakt van zogeheten vegetatie-indexen (Kooistra, 2011).

Vegetatie-indexen

Bij gewasreflectiemetingen zijn er verschillende factoren aanwezig die de meting kunnen beïnvloeden. Denk hierbij aan de variatie in de bodem zoals organische stof, vochttoestand, mineralen en ruwheid van het oppervlak (Dorigo, et al., 2007). Bij vegetatie-indexen worden de gewasreflectiemetingen van verschillende spectrale banden gecombineerd volgens een bepaalde formule om de storende invloeden te reduceren en zo de metingen ook te kunnen vergelijken en zicht te krijgen in de variatie van de gewasgroei binnen een perceel. Voorbeelden van gewasindexen en die ook relevant zijn voor het onderzoek zijn de NDVI, WdVI en NDRE.

➤ NDVI

De Normalized Difference Vegetation Index is wellicht de meest bekende en meest toegepaste index voor gewassensing (Tucker, 1979). Doordat een gezond gewas weinig rood licht reflecteert en veel nabij infrarood licht, waarbij een kale bodem veel rood licht reflecteert kan er inzicht worden verkregen in de dikte van het vegetatiedek en de gewasgroei. Er is al veel onderzoek naar de NDVI gedaan en is gebleken dat deze index een sterke relatie heeft met de bladbiomassa van een gewas (Hazeu & Wamelink, 2004). De waarde van de NDVI kan variëren van 0 tot 1. Hierbij is 0 een kale bodem en is 1 een volledig gesloten en groen gewas. Verzadiging is op den duur wel een probleem bij deze gewas-index (Mutanga & Skidmore, 2004). Bij een wat voller gewas is de absorptie van chlorofyl vaak maximaal en zijn veranderingen in biomassa dan ook slecht waar te nemen voor een sensor. Ook de reflectie vanuit de bodem wordt dan slechter waargenomen, vanwege deze verzadiging. Om deze reden is de NDVI dan ook geschikt voor het monitoren van gewassen in een eerder groeistadium.

➤ WdVI

Als alternatief voor de NDVI voor inzicht in de biomassa van het gewas is de Weighted Difference Vegetation Index (WdVI) ontwikkeld (Clevers, 1989). Hierbij worden ook gewasreflectiemetingen uitgevoerd van rood licht en nabij infrarood licht, maar is er ook een zekere bodemcorrectiefactor meegenomen in de formule. De vegetatie index WdVI gebaseerd op het feit dat de fractie van de invallende straling die gereflecteerd wordt, sterk verschilt tussen groen blad en bodem. Uit onderzoek is bovendien gebleken dat sensoren met corrigerende bodemreflecties minder gevoelig zijn voor verzadiging (Ros & Bussink, Ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen voor bijmesten van gewassen, 2012).

➤ NDRE

De gewasindexen NDVI en WdVI maken gebruik van de gewasreflectiemetingen van rood licht en nabij infrarood licht om inzicht te geven in de biomassa van een gewas. Naast deze indexen zijn er ook nog alternatieve indexen ontwikkeld die gewasreflectiemetingen uitvoeren rond de "Red Edge Position". Dit is het gebied van het spectrum tussen zichtbaar rood en nabij infrarood licht, waarbij de maximale absorptie van licht omslaat in maximale reflectie; zie ook figuur 5. Door verschuivingen van dit gebied kan er specifiek inzicht worden verkregen in de hoeveelheid chlorofyl van een gewas. Hiervoor is dan ook in verschillende commerciële sensoren de Normalized Difference Red Edge Index (NDRE) en de Red Edge Inflection Point (REIP) ontwikkeld (Eitel, Keefe, Long, Davis, & Vierling, 2010). Stikstof zorgt voor de vorming van chlorofyl in de groene delen van de plant en de NDRE-index wordt dan ook in de praktijk toegepast om inzicht te krijgen van het stikstofniveau in plant en gewas.

De commerciële gewassensoren waarvan gebruikt wordt gemaakt in het onderzoek zijn de Greenseeker, de Isaria Fritzmeier sensor en de eBee Ag Sensefly drone. Hieronder in figuur 2, 3 en 4 zijn deze sensoren weergegeven.



Figuur 2: Greenseeker Rt100 (Vantage Agrometius, 2018)



Figuur 3: Fritzmeier Isaria (Fritzmeier Umwelttechnik, 2013)



Figuur 4: Ebee Ag Sensefly (Flight Evolved, 2016)

Hieronder in tabel 2 zijn de relevante specificaties van de gewassensoren die toegepast zullen worden in het onderzoek weergegeven.

Tabel 1: Weergave productspecificaties gewassensoren voor onderzoek

Gewassensor	Aantal spectrale banden	Spectra	Werking	Methode sensing	Gewas index	Standaard parameters	Producent
Greenseeker RT100	2 (656 nm en 774nm)	VIS/NIR*	Actieve lichtbron en ontvanger	Near (close range)	NDVI	Biomassa	NTech Industries Inc., Ukiah, CA
Fritzmeier Isaria	5 (van 670nm tot 780nm)	VIS/NIR*	Actieve lichtbron en ontvanger (meerdere leds i.v.m. greenseeker)	Near (close range)	IBI/IRMI**	Biomassa en stikstof	Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co
Ebee Ag Sensefly	4 (van 550nm tot 790nm)	VIS/NIR*	4 sensoren die gewasreflectie meten met zonlichtcorrectie	Remote	NDVI/WDVI NDRE/CCCI	Biomassa en stikstof	Sensefly (multi-spectraal-camera ontwikkeld Airinov)

*Dit is het gebied van het spectrum waarin de gewasreflectie wordt gemeten; VIS= visible (zichtbaar) spectrum, NIR= nabij infrarood spectrum

** De naamgeving van deze indexen zijn bedacht door Fritzmeier Isaria zelf; de IBI komt overeen met de NDVI en de IRMI komt overeen met de REIP/REP

De Greenseeker is een sensor voor gewassensing gebruikmakend van actieve LED's als lichtbron en is met name geschikt om van een perceel biomassa-kaarten van het gewas te maken. Hierbij maakt de sensor gebruik van de NDVI-index en wordt er dus gewasreflecties gemeten in het rood van het zichtbare spectrum op 656 nm en de reflectie in het nabij infrarood spectrum op 774nm. De bandbreedte en dus nauwkeurigheid van de gemeten spectrale banden bedraagt 25nm. Doordat bij deze sensor alleen de NDVI wordt gemeten is het risico van verzadiging voor de gewasreflectiemeting wel aanwezig.

Net als de greenseeker is de Fritzmeier Isaria een multispectraal sensor en wordt deze gebruikt voor near-sensing. De Fritzmeier Isaria sensor is wel relatief nieuw (2010) en verschilt wel wat van de Greenseeker en veel andere commerciële gewassensoren. Zo heeft de Fritzmeier Isaria als lichtbron vier LED's, waarbij de gewasreflectie wordt gemeten met de ontvanger in het midden van de sensor. Daarnaast meet de Isaria de gewasreflecties in vijf spectrale banden variërend van 670nm tot 780nm (Peteinatos, Korsath, Berge, & Gerhards, 2016). Doordat er metingen worden gedaan in vijf verschillende spectrale banden kunnen er met de Fritzmeier Isaria ook twee verschillende gewasindexen berekend worden; dit is de "Isaria Biomass Index" (IBI) en een index (IRMI) die gebruik maakt van het "Red Edge Inflection Point" (REIP) of "Red Edge Position" (REP). Zoals ook beschreven bij de NDRE-index wordt deze index gebruikt om inzicht te krijgen in de hoeveelheid chlorofyl in het gewas. Deze sensor zou dan ook geschikt moeten zijn om inzicht te krijgen in de hoeveelheid biomassa en stikstof van een gewas. Van de Fritzmeier Isaria gewassensor is in tegenstelling tot de greenseeker nog relatief weinig bekend wat betreft onderzoeksresultaten.

Naast de twee hiervoor beschreven near-sensing gewassensoren wordt er in het onderzoek ook nog gebruik gemaakt van een remote-sensing gewassensor. Het gaat hierbij om de eBee AG Sensefly die ontwikkeld en toegepast wordt sinds 2014 en is dan ook een nieuwe ontwikkeling. Voor het scannen van gewassen maakt de drone de gewasreflectie met de multiSPEC 4C camera met een zonlichtcorrectie. Deze multispectrale camera bevat vier sensoren waarbij van vier specifieke spectrale banden de gewasreflectie gemeten wordt. Het gaat hierbij om een band in het zichtbaar groen (550nm), in het zichtbaar rood (660nm), de Red Edge (735nm) en het nabij infrarood (790nm). Vanuit de deze vier spectrale banden kunnen er ook vier verschillende gewas-indexen berekend worden van elke meting. Dit zijn de NDRE, de NDVI, de WdVI en ook "Canopy Chlorophyll Content Index" (CCCI). De CCCI is een NDRE die is gekalibreerd door de NDVI uit te zetten tegen de NDRE, waardoor een gevalideerde waarde ontstaat die meer zou moeten zeggen over het chlorofyl in de gemeten plant en de bovenste laag van het vegetatiedek (Fitzgerald, Rodriguez, & O'Leary, 2010). Deze index is dan ook geschikt voor het bepalen van de stikstofhoeveelheid in planten, waar de bovengrondse groei van groot belang is. De eBee is dan ook geschikt om snel inzicht te krijgen in verschillende parameters van het gewas, waarbij je ook niet afhankelijk bent van rijsporen. Doordat de camera voor elke spectrale band een aparte sensor heeft is de resolutie van de gewaskaarten ook een stuk hoger en kunnen er veel meer gewasreflectiemetingen per oppervlakte gedaan worden dan bij de greenseeker en Fritzmeier het geval is. Gewassen op percelen kunnen dan ook zeer gedetailleerd in kaart worden gebracht met de eBee Ag Sensefly.

Doordat met de nieuwere MultiSPEC 4C camera de gewasreflectie nauwkeurig gemeten kan worden over vier spectrale banden en de detailinformatie zal de eBee in het onderzoek ook vooral worden gebruikt als referentie voor de gewasreflectiemetingen door de Fritzmeier Isaria sensor en de Greenseeker. Er wordt dan ook onderzocht wat de praktische toepasbaarheid van de near-sensing sensoren is in de ruwvoerteelt in grasland.

1.4 Optimalisatie ruwvoerwinning gras en gewasparameters

Hiervoor is beschreven welke gewassensensoren toegepast zullen worden in het onderzoek en wat de werking van deze sensoren is. Om de ruwvoerwinning in grasland te kunnen optimaliseren door middel van sensortechnologie moet de opbrengst en het gehalte van verschillende inhoudsstoffen in het gras gemeten worden om de kwantiteit en kwaliteit van het verse gras op het veld te kunnen bepalen. De relevante gewasparameters hiervan zijn weergegeven in tabel 1. Deze parameters zullen bij de metingen in het onderzoek ook bepaald worden door middel van volledige vers gras analyses door Eurofins Agro.

Tabel 2: Relevante gewasparameters gras (streefwaarden via Eurofins Agro, 2018)

Parameter	Omschrijving/relevantie	Streefwaarde in vers gras
Vers gewicht gras	Indicatie opbrengst; i.c.m. droge stof gehalte wordt de totale droge stof opbrengst wordt op basis hiervan bepaald	nvt
Droge stof gehalte en opbrengst	Bepalend voor de kwaliteit van kuilvoer, aangezien hier het energie en eiwit zich bevinden voor het dier. Alle andere kengetallen en de voederwaardewaardering worden per kg droge stof weergegeven	Tussen de 15% en 22% (150- 220 gram/ kg vers gras)
Ruw eiwit	Totale beschikbare N en eiwit in het product aan. Heeft een directe relatie met melkproductie, ureum en eiwitgehaltes.	190-240 gram ruw eiwit/ kilogram droge stof
suiker	Heeft invloed op smakelijkheid van het gras en het conserveringsproces.	60-150 gram suiker/ kilogram droge stof
Ruwe celstof	Belangrijk onderdeel van verschillende formules voor voederwaardebepalingen als stuctuurwaarde, verzadigingswaarde en VEM. Is een indicatie voor het aantal celwanden en daarom van invloed op o.a. de structuur en verteerbaarheid.	190-220 gram ruwe celstof/kilogram droge stof

Parameter	Omschrijving/relevantie	Streefwaarde in vers gras
Voeder eenheid melk (VEM)	Geeft aan hoeveel energie de koe uit het voer kan benutten voor de melkproductie, de eigen lichaamsgroei en de groei van het kalf.	1000-1050 VEM/ kilogram droge stof
DVE (Darm Verteerbaar Eiwit)	Hoeveelheid eiwit die beschikbaar komt en verteerd kan worden in de dunne darm. DVE is een zeer relevante parameter en heeft een directe link met de melkeiwit- en melkproductie.	90-100 gram DVE/kilogram droge stof
OEB (Onbestendig Eiwit Balans)	Indicatie voor balans energie en eiwit. Heeft een directe relatie met de pensfermentatie, pensverzuring en ureum gehalte in melk. Van groot belang voor de pensactiviteit, melkproductie en melkkwaliteit.	45-75 OEB/kilogram droge stof
VC-OS (Verteringscoëfficiënt organische stof)	Belangrijke indicatie geeft voor de totale hoeveelheid afgebroken organische stof van gras in de pens van de koe. (koolhydraten, eiwitten en vetten) VCOS is de verteringscoëfficiënt; het percentage van het voedermiddel de koe verteert en hoeveel procent er via de mest de koe verlaat.	82-86% van de droge stof

Wat betreft de opbrengst en kwantiteit is de belangrijkste parameter de droge stof opbrengst. Wat betreft de kwaliteit van het gras is de belangrijkste parameter de ruw eiwit opbrengst. Hierbij zijn de gehalten van deze parameters wat minder relevant, aangezien een hoog gehalte nog geen garantie geeft op een grote hoeveelheid/opbrengst droge stof of ruw eiwit. Bij het vergelijken van de sensordata met de grasdata is er dan ook gefixeerd op deze parameters droge stof opbrengst en ruw eiwit opbrengst.

Het is mogelijk om gedurende het seizoen te sturen in de grasoogsten voor de ruwvoerwinning. Dit kan voornamelijk worden gedaan met het maaimoment en de bemesting. Door bijvoorbeeld te maaien in een jong stadium heeft het gras een hogere verteerbaarheid dan wanneer het gras in een later stadium gemaaid wordt. Verder heeft een hogere stikstofbemesting bijvoorbeeld tot gevolg dat het ruw eiwit in het gras verhoogd kan worden. Door vroeger te maaien kan de voederwaarde ook verhoogd worden. Met later maaien en een hogere bemesting kunnen er weer zwaardere sneden en een hogere droge stof opbrengsten per hectare gerealiseerd worden. Afhankelijk van de visie ondernemer en bedrijfssysteem zijn er dus mogelijkheden om te sturen gedurende de ruwvoerteelt in grasland. In de huidige bedrijfsvoering in de melkveehouder is het echter over het algemeen zo dat het maaimoment en de bemestingsstrategie op visuele wijze vastgesteld worden door de ondernemer en niet op basis van actuele data.

In grasland voor voederwinning worden er in het onderzoek sensoren ingezet op de maaier van loonwerkers op percelen van verschillende melkveehouders over een aantal sneden. Hier ligt ook gelijk de grootste uitdaging van het onderzoek en de toepassing van sensoren in de ruwvoerwinning in de praktijk. Voor loonwerkers en melkveehouders is in veel gevallen nieuw om te kijken naar de variatie binnen een perceel, hierin realtime-metingen te doen en vanuit teelttechnisch oogpunt naar de ruwvoerwinning te kijken. Er zal dan ook door de melkveehouders op een meer akkerbouwmatige manier naar het grasland gekeken moeten worden.

Op deze manier kan er gewerkt worden aan een integrale bedrijfsvoering, waarbij dier en plant dus op elkaar afgestemd worden en door real-time metingen te doen hierin ook gestuurd kan worden door de melkveehouder.

Voorgaand is beschreven wat het belang is van de ruwvoerteelt in de Nederlandse melkveehouderij. Door de grote omvang van de grasproductie en de variatie hierin in de huidige sector en de invloed die het heeft op het bedrijfsresultaat is het dan ook relevant dat er gewerkt wordt aan verbetering van het ruwvoermanagement. Om dit management te kunnen verbeteren moet er gedurende het groeiseizoen inzicht worden verkregen in de actuele status van het gewas en variatie door de melkveehouder om op deze variatie te kunnen inspelen. Een praktijkrijp concept hiervoor ontbreekt hierin echter nog wel in de melkveehouderij ondanks de beschikbare technologie. Het doen van metingen voor deze “actuele” status en sturen gedurende de teelt van gras voor ruwvoerwinning is dan ook de essentie van het onderzoek. In de volgende paragraaf zijn de hoofd- en deelvragen van het onderzoek beschreven.

1.5 Hoofdvraag en deelvragen onderzoek

Het is helder dat de melkveehouderij vraagt om een praktijkrijp concept waarbij er met snelle meetinstrumenten tijdig inzicht kan worden verkregen in actuele kwantiteits- en kwaliteitsstatus van gras in de ruwvoerteelt gedurende het groeiseizoen. Hierbij is ook bekend dat er wel degelijk gewassensoren beschikbaar zijn die hier de potentie voor hebben, maar dat nog onduidelijk ligt waar de meerwaarde van deze sensoren ligt. Om naar de potentie van de praktische toepassing van dergelijke sensoren in de grasteelt voor de ruwvoerwinning te kijken worden in dit onderzoek verschillende gewassensoren ingezet tijdens het maaien.

Voor dit onderzoek is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

“Hoe kunnen gewassensoren worden ingezet gedurende het groeiseizoen in de grasteelt voor ruwvoerwinning met een realistisch verdienmodel voor melkveehouder en loonwerker?”

Voor het beantwoorden van deze hoofdvraag zijn de volgende vijf deelvragen geformuleerd:

- **D1: Is er een correlatie tussen de sensordata van de Greenseeker RT100 en de meest relevante kwantiteits- en kwaliteitsparameters van het gras?**

Hierbij worden de vers gras analyses en de opbrengstresultaten vergeleken met de sensordata van de greenseeker sensor (close range sensing) om te kijken of hier correlaties in aanwezig zijn.

- **D2: Is er een correlatie tussen de sensordata van de Isaria Fritzmeier en de meest relevante kwantiteits- en kwaliteitsparameters van het gras?**

Hierbij worden de vers gras analyses en de opbrengstresultaten vergeleken met de sensordata van de Fritzmaier sensor (close range sensing)

- **D3: Is er een correlatie tussen de sensordata van de eBee Ag Sensefly en de meest relevante kwantiteits- en kwaliteitsparameters van het gras?**

Hierbij worden de vers gras analyses en de opbrengstresultaten vergeleken met de sensordata van de eBee Ag Sensefly (Remote sensing)

- **D4: Wat zijn de kosten en baten voor toepassing van de sensoren voor de doelgroepen van het onderzoek ?**

Hierbij wordt onderzocht wat de kosten en baten van investering zijn en of het in potentie dus aantrekkelijk is voor een loonwerker of melkveehouder om hierin te investeren.

1.6 Doelstelling en hypothesen onderzoek

In dit aspect is beschreven wat de doelstelling is van het onderzoek. Daarnaast is per deelvraag kort de hypothese beschreven.

Doelstelling

Momenteel is het dus nog niet goed mogelijk om op een snelle, eenvoudige en betrouwbare manier met sensoren gedurende het seizoen in het gras te meten. In het onderzoek worden er bij loonwerkers verschillende sensoren ingezet op de maaier en zullen er real-time metingen uitgevoerd worden tijdens het maaien gedurende meerdere sneden op een aantal percelen van verschillende melkveehouders. Hierbij zal dan ook onderzocht worden in hoeverre de sensoren toepasbaar en betrouwbaar zijn om te kunnen meten en sturen op de gehalten in het gras. De doelstelling hierbij is om inzicht te krijgen in deze relatie en of deze sensoren potentiële meerwaarde hebben voor de grasteelt in de ruwvoerwinning voor loonwerkers en melkveehouders.

Hypothesen

Bij de eerste, tweede en derde deelvraag is er beschreven of er een correlatie is tussen de sensormetingen en de kwaliteits- en kwantiteitsparameters van het gras. Uit verschillende bronnen is gebleken dat de gewasindex NDVI een verzadiging kent wanneer de bodembedekking toeneemt. Voor een gewassensor die werkt op basis van deze gewasindex zal het onderscheidend vermogen dan waarschijnlijk ook te laag zijn om goed inzicht te krijgen in de variatie van het gras op het moment van het meten. Dit is tijdens het maaien en de bodembedekking is dan ook groot. De verwachting is dan ook dat de Greenseeker (te) weinig betrouwbaar inzicht geeft in de variatie van de gewasparameters in het gras. Van de NDRE en de REIP is in onderzoeken naar voren gekomen dat deze index goed inzicht kan geven in de variatie van het chlorofylgehalte in grasland en dus ook het stikstofniveau. Dit stikstof heeft weer een directe relatie met de aanwezige eiwitten in planten. De verwachting is dan ook dat deze index inzicht kan geven in de variatie van het gehalte ruw eiwit in het gras. De Fritzmeier sensor en de eBee zouden hiervoor dan ook geschikte gewassensoren zijn.

Bij de laatste deelvraag wordt de financiële kant van investering in dergelijke gewassensoren onderzocht en wordt er gekeken naar het potentieel verdienmodel. De hypothese hierbij is dat het in de praktijk waarschijnlijk niet mogelijk is om de investering door een loonwerker direct door te rekenen naar de melkveehouders, maar dat de meerwaarde van de sensoren voor de ruwvoerteelt en dus de melkveehouders en loonwerkers wel aantoonbaar is.

2. Materiaal en methode

Het uitgevoerde onderzoek is kwantitatief, aangezien de cijfermatige resultaten van belang zijn. Hierbij is er in het onderzoek gebruik gemaakt van deskresearch en experimenteel onderzoek/empirisch onderzoek. Van deskresearch (literatuuronderzoek) is met name gebruik gemaakt in het vooronderzoek om informatie te verzamelen over de gewassensoren en ontwikkelingen omtrent het onderwerp in het onderzoek. Door veldonderzoek zijn er in het onderzoek juist nieuwe resultaten verzameld, geanalyseerd en geïnterpreteerd. De gebruikte materialen en methode om de deelvragen te beantwoorden zijn hieronder per deelvraag beschreven.

2.1 D1: Is er een correlatie tussen de sensordata van de Greenseeker RT100 en de kwantiteits- en kwaliteitsparameters van het gras?

2.1.1 Materiaal

Voor deze deelvraag is onderzocht of er correlaties zijn tussen de sensormetingen van de greenseeker RT100 gewassensor en de kwantiteits- en kwaliteitsparameters van gras. De gebruikte sensor hiervoor is dus de Greenseeker RT100 en is beschikbaar gesteld door Agrometius. Om de monsterlocaties op de percelen te bepalen en te zorgen dat er bij elke meting op dezelfde locatie gemeten werd is er ook gebruik gemaakt van een NOMAD computer met RTK-ontvangen van Agrometius. Voor het uitzetten van de meetlocaties is er gebruik gemaakt van landbouwpiketten en een meetlint. Daarnaast is er gebruikt gemaakt van een bak met een bagageweger om het versgrasgewicht van een monsterlocatie op een onderzoeksperceel te bepalen. Voor het bij elkaar vegen van het gras is er gebruik gemaakt van harken. Verder is ook nog gebruikt gemaakt van de volledige versgrasanalyse methode door Eurofins Agro voor elk monster gras van elke monsterlocatie op de onderzoekspercelen. Voor het nemen van de grasmonsters zijn officiële monsterzakjes van Eurofins Agro gebruikt.

2.1.2 Methode

Wat betreft de gehanteerde methode voor de dataverzameling per grassnede in het onderzoek is in bijlage 1 van dit rapport het stappenplan/protocol weergegeven. In het onderzoek zijn bij twee percelen grasland metingen uitgevoerd met de Greenseeker op de maaier. Vooraf zijn er per onderzoeksperceel negen monsterlocaties ingedeeld en ingetekend met de Nomad computer op RTK-niveau. Deze locaties zijn vastgelegd, zodat bij de volgende snede er weer in exact hetzelfde gebied gemeten kon worden. Elke monsterlocatie heeft een breedte van 3 meter en een lengte van 6 meter (18m^2). Na het maaien is het gras van een monsterlocatie bij elkaar geveegd en gewogen, zodat de massa van het vers gras bepaald kon worden. Vervolgens is van elke monsterlocatie ook een monster vers gras genomen. Dit monster is vervolgens door Eurofins Agro geanalyseerd volgens een volledige vers gras analyse. Zo is voor elke monsterlocatie op elk perceel bepaald wat de waarde is van de gewasindex van de gewassensor, wat de (droge stof)opbrengst op deze locatie is en wat de gehalten van de kwaliteitsparameters als ruw eiwit en voedereenheid melk zijn. Op basis van deze data kan er geanalyseerd worden of de sensordata positief gecorreleerd is aan de grasanalyseresultaten van de monsterlocaties en wordt inzicht verkregen in de betrouwbaarheid en geschiktheid van de sensor.

2.1.3 Dataverwerking en data-analyse

De sensordata (NDVI) van de greenseeker zijn verwerkt in de GIS-programma's OpenJump en Farmworks. Deze programma's zijn gebruikt voor het omzetten van de puntdata van de sensor in grids, zodat de sensordata op de monsterlocaties bepaald kon worden. De opbrengstdata, de analyseresultaten van het vers gras en de sensor data zijn in een Excel-spreadsheet. Wat betreft de data-analyse is er in het statistiek-programma SPSS gebruik gemaakt van de Pearson correlatietoets om de correlatiecoëfficiënt (R) te bepalen tussen de sensordata van de Greenseeker en de grasdata.

Op basis hiervan is gekeken of er sprake is van een betrouwbaar lineair verband tussen deze data. De waarde hierin kan variëren tussen -1 en 1, waarbij er bij 1 of -1 sprake is van een perfect verband en bij 0 van geen verband. Daarnaast is met de determinatiecoëfficiënt (R^2) bepaald welk gedeelte van de variatie in de variabele van de sensordata verklaard kan worden door de variatie in de variabele van de grasdata. Deze coëfficiënt varieert van 0 tot 1 waar er bij 0 geen sprake is van een verband en bij 1 sprake is van een uitzonderlijk sterk verband. Hieronder in tabel 3 is weergegeven hoe deze coëfficiënten geïnterpreteerd zijn in het onderzoek.

Tabel 3: Interpretatie correlatiecoëfficiënt en determinatiecoëfficiënt (Doorn & Rhebergen, 1998)

Pearson Correlation (R)	Determinatiecoëfficiënt (R^2)	Verklaarde variantie	Interpretatie verband
<0,3 (ook negatief)	<0,1	<10%	zeer zwak
0,3-0,5 (ook negatief)	0,1-0,25	10%-25%	zwak
0,5-0,7 (ook negatief)	0,25-0,5	25%-50%	redelijk
0,7-0,85 (ook negatief)	0,5-0,75	50%-75%	sterk
0,85-0,95 (ook negatief)	0,75-0,9	75%-90%	zeer sterk
>0,95 (ook negatief)	>0,9	>90%	uitzonderlijk sterk (verdacht!)

Vanaf een determinatiecoëfficiënt van 0,5 en correlatiecoëfficiënt vanaf 0,7 wordt een verband interessant. Bij het bepalen en onderbouwen van de toepasbaarheid van de gewassensoren in de grasteelt is er dan ook naar deze waarderingen gekeken. Naast de correlatiecoëfficiënt en de determinatiecoëfficiënt is er ook gekeken naar de significantie van de correlaties. Hiermee wordt bedoeld of een correlatie op toeval berust of juist niet. Wanneer een correlatie significant is kan gezegd worden dat de kans klein is dat deze relatie toevallig is en dus "echt" is. Wanneer de P-waarde lager ligt dan 0,05 wordt er gesproken van een significante correlatie voor het 95%-betrouwbaarheidsinterval en wanneer de P-waarde lager ligt dan 0,01 wordt er gesproken van een significante correlatie voor het 99%-betrouwbaarheidsinterval. Met betrekking tot het onderzoek zijn de correlaties voor het betrouwbaarheidsinterval van 90% ($P < 0,10$) 95% ($P < 0,05$) al zeer interessant. Bij een "R" vanaf 0,7 en een " R^2 " vanaf 0,5 en wanneer een correlatie significant is kan er dan ook gesproken worden van een sterke correlatie.

2.2 D2: Is er een correlatie tussen de sensordata van de Fritzmeier Isaria en de kwantiteits- en kwaliteitsparameters van het gras?

2.2.1 Materiaal

Net zoals bij de eerste deelvraag is onderzocht of er correlaties zijn tussen de sensormetingen van de gebruikte gewassensor en de kwantiteits- en kwaliteitsparameters van gras. De gebruikte gewassensor hiervoor is de Fritzmeier Isaria gewassensor. De Fritzmeier Isaria sensor is door Abémec beschikbaar gesteld. Om de monsterlocaties op de percelen te bepalen en te zorgen dat er bij elke meting op dezelfde locatie gemeten werd is er ook weer gebruik gemaakt van een NOMAD computer met RTK-ontvanger van Agrometius. Voor het uitzetten van de monsterlocaties is er gebruik gemaakt van piketten en een meetlint. Daarnaast is er ook weer gebruikt gemaakt van harken en een bak met een bagageweger om het vers-grasgewicht van een monsterlocatie op een perceel te bepalen. Verder is er ook weer gebruikt gemaakt van de volledige vers-grasanalyse methode van Eurofins Agro voor elk monster gras van elke monsterlocatie op de onderzoekspercelen. Hiervoor zijn officiële monsterzakjes van Eurofins Agro gebruikt.

2.2.2 Methode

Voor het beantwoorden van de tweede deelvraag is er gekeken naar de correlaties tussen de grasdata van de monsterplekken en de sensordata van de Fritzmeier Isaria gewassensor. Net zoals bij de Greenseeker RT100 was het de opzet om op twee verschillende percelen van minimaal twee datasets te verzamelen. Echter, door verschillende onvoorziene omstandigheden is dit niet gelukt. Zo vond de leverancier het risico op beschadiging te groot om de sensor op de frontmaaier te plaatsen. Voor de eerste snede is de sensor dan ook op de zijkant van linkerzijmaaier gezet. Door de overlapping van de sensor met stroken die al gemaaid waren zijn hier geen betrouwbare waarden uitgekomen voor het onderzoek. Voor de tweede snede is de sensor wel op de frontmaaier geplaatst. Echter, heeft de ondernemer van één perceel besloten om na de eerste snede het perceel te beweiden. Hierdoor is dit perceel ook niet meer met de sensor gemaaid. Dit houdt dan ook in dat er alleen betrouwbare sensordata is verzameld van één snede van één perceel. Wat betreft het meten en verzamelen van de sensordata en de opbrengstdata is dezelfde methode gehanteerd als hierboven beschreven bij deelvraag 1.

2.2.3 Dataverwerking en data-analyse

De sensordata (IBI & IRMI) van de Fritzmeier is verwerkt in de GIS-programma's OpenJump en Farmworks. Deze programma's zijn gebruikt voor het omzetten van de puntdata van de sensor in grids, zodat de sensordata op de monsterlocaties bepaald kon worden. De opbrengstdata, de analyseresultaten van het vers gras en de sensor data zijn in een Excel-spreadsheet ingevoerd. Daarnaast is er ook weer gebruikt gemaakt van het statistiek-programma SPSS en de Pearson correlation-toets om de correlatiecoëfficiënt (R) en de determinatiecoëfficiënt (R^2) te bepalen tussen de sensordata van de Fritzmeier en de grasdata. In combinatie met de significanties zijn de correlaties weer geanalyseerd.

2.3 D3: Is er een correlatie tussen de sensordata van de eBee Ag Sensefly en de kwantiteits- en kwaliteitsparameters van het gras?

2.3.1 Materiaal

Er is onderzocht of er correlaties zijn tussen de sensormetingen van de gebruikte gewassensor en de kwantiteits- en kwaliteitsparameters van gras. De gebruikte gewassensor is de eBee Ag Sensefly. De vluchten zijn uitgevoerd door de "dronewerkers" waar Agrifirm een landbouwdienst mee aanbiedt. Om de monsterlocaties op de percelen te bepalen en te zorgen dat er bij elke meting op dezelfde locatie gemeten werd is er ook gebruik gemaakt van een NOMAD computer met RTK-ontvangen van Agrometius. Voor het uitzetten van de monsterlocaties is er gebruikt gemaakt van landbouwpiketten en een meetlint. Daarnaast is er gebruikt gemaakt van harken en een bak met een bagageweger om het vers-grasgewicht van een monsterlocatie op een perceel te bepalen. Verder is er ook nog gebruikt gemaakt van de volledige vers-grasanalyse methode door Eurofins Agro voor elk monster gras van elke monsterlocatie op de onderzoekspercelen. Hiervoor zijn officiële monsterzakjes van Eurofins Agro gebruikt.

2.3.2 Methode

Alle vier beschikbaar gestelde percelen zijn kort voor het maaien gescand met de eBee Ag Sensefly. Wat betreft de dataverzameling is het stappenplan uit bijlage 1 ook weer toegepast. Vooraf zijn er per onderzoeksperceel negen monsterlocaties ingedeeld en ingetekend met de Nomad computer op RTK-niveau. Deze locaties zijn vastgelegd, zodat bij de volgende snede weer in exact hetzelfde gebied gemeten kon worden. Elke monsterlocatie heeft een breedte van 3 meter en een lengte van 6 meter (18m^2). Na het maaien is het gras van een monsterlocatie bij elkaar geveegd en gewogen, zodat de massa van het vers gras bepaald kon worden. Vervolgens is van elke monsterlocatie ook een monster vers gras genomen. Dit monster is vervolgens door Eurofins Agro geanalyseerd volgens een volledige vers gras analyse.

Zo is voor elke monsterlocatie op elk perceel bekend wat de waarde is van de gewasindex van de gewassensor, wat de (droge stof) opbrengst op deze locatie is en wat de gehalten van de kwaliteitsparameters als ruw eiwit en voedereenheid melk zijn. Op basis van deze data is er geanalyseerd of de sensordata positief gecorreleerd is aan de grasanalyseresultaten van de monsterlocaties en is inzicht verkregen in de betrouwbaarheid en geschiktheid van de sensor.

2.3.3 Dataverwerking en data-analyse

De sensordata (NDVI, NDRE, WDV & CCCI) van de eBee Sensefly Ag is verwerkt in de GIS-programma's OpenJump en Farmworks. Deze programma's zijn gebruikt voor het omzetten van de puntdata van de sensor in grids, zodat de sensordata op de monsterlocaties bepaald kon worden. De opbrengstdata, de analyseresultaten van het vers gras en de sensor data zijn in een excel spreadsheet ingevoerd. Daarnaast is er in het statistiek-programma SPSS ook weer gebruik gemaakt van de Pearson correlation-toets om de correlatiecoëfficiënt, de determinatiecoëfficiënt en de significanties van de correlaties te bepalen tussen de sensordata van de eBee en de grasdata. Vervolgens zijn weer met behulp van de significanties de correlaties tussen de sensordata en de grasdata verder geanalyseerd.

2.4 D4: Wat zijn de kosten en baten voor toepassing van de sensoren voor de doelgroepen van het onderzoek ?

2.4.1 Materiaal

Voor het beantwoorden van de laatste deelvraag is onderzocht wat de kosten en baten van investering zijn en of het in potentie dus aantrekkelijk is voor een loonwerker of melkveehouder om hierin te investeren.

2.4.2 Methode

Uit de andere deelvragen is duidelijk geworden of implementatie van gewassensoren meerwaarde heeft in de ruwvoerteelt voor melkveehouders teelttechnisch gezien. Op basis hiervan is onderzocht of investering in een gewassensor ook bedrijfseconomisch gezien verantwoord is. Voor het beantwoorden van deze deelvraag is het niet nodig geweest om nieuwe data (statistisch) te analyseren.

3. Resultaten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten uit het onderzoek weergegeven. Hierbij zijn de resultaten per deelvraag beschreven. Verder gaat het in dit hoofdstuk om de objectieve beschrijving van de resultaten en worden er hieraan nog geen meningen en conclusies verbonden. Dit komt aan de orde in de hoofdstukken hierna.

3.1 Greenseeker Rt100 en grasdata

Voor het beantwoorden van de eerste deelvraag is gedurende het onderzoek sensordata verzameld en data met betrekking tot de opbrengst en kwaliteit van het gras voor een aantal van drie sneden op twee verschillende onderzoekspcelen. Deze data is weergegeven in bijlage 2 en 3 van dit rapport voor elk van de twee percelen ("Van de Anker" en "Van Rooijen"). Wat betreft de sensordata gaat het om de NDVI-waarden die worden verkregen met de Greenseeker op monsterlocaties.

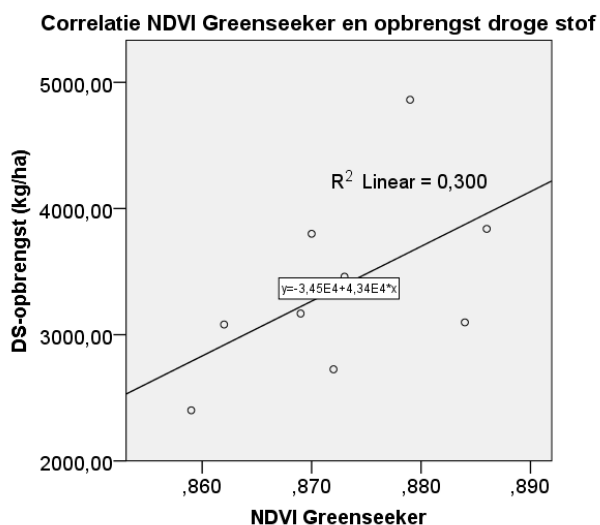
3.1.1 Eerste snede

Met betrekking tot de betrouwbaarheid van de resultaten wordt er eerst gekeken naar de verschillende sneden onderling naar de correlaties tussen de sensordata van de greenseeker en de meest relevante onderzochte parameters van het gras (opbrengst droge stof en ruw eiwit). De correlaties, de determinatiecoëfficiënten en de bijbehorende significanties hiervan zijn hieronder weergegeven in tabel 4 voor de eerste snede voor het perceel "van de Anker".

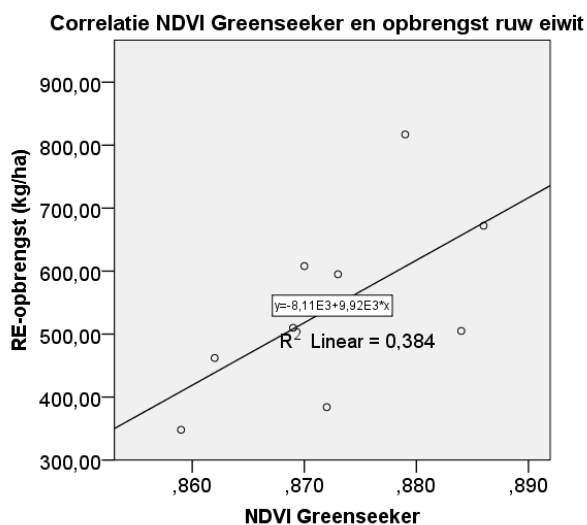
Tabel 4: Correlaties en P-waarden Greenseeker en grasdata eerste snede Van de Anker

	Droge stof opbrengst (kg/ha)	Ruw eiwit opbrengst (kg/ha)
Pearson correlation (R)	0,548	0,62
Determinatiecoëfficiënt (R²)	0,300	0,384
Verklaarde variantie (%)	30,0%	38,4%
Significantie (P-waarde)	0,127	0,075

Wat betreft de droge stof opbrengst is deze correlatie redelijk en positief gecorreleerd en niet significant. De ruw eiwit opbrengst is redelijk tot sterk positief gecorreleerd tot de sensordata en is significant voor het 90% betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,1$). Hierbij kan de variatie in de sensorwaarden voor bijna 40% verklaard worden door variatie in de ruw eiwit opbrengst. Hieronder in figuur 5 en 6 zijn de grafieken van de correlaties met betrekking tot de opbrengst droge stof en ruw eiwit weergegeven.



Figuur 5: Correlatie DS-opbrengst en sensordata Greenseeker eerste snede vd Anker



Figuur 6: Correlatie RE-opbrengst en sensordata Greenseeker eerste snede vd Anker

De correlatie tussen de droge stof opbrengst en de sensor is redelijk ($R=0,55$ en $R^2=0,3$), maar niet significant met $P=0,127$. Met betrekking tot de opbrengst ruw eiwit per hectare en de sensordata in figuur 8 is de determinatiecoëfficiënt afgerond 0,4. De P-waarde bedraagt met 0,075 dus wel meer dan 0,05 en de correlatie is dus niet significant voor het 95%-betrouwbaarheidsinterval, maar deze correlatie is toch redelijk tot sterk te noemen.

Hieronder in tabel 5 zijn de correlaties, determinatiecoëfficiënten en P-waarden weergegeven tussen de droge stof- en ruw eiwit opbrengst metingen en de sensordata van de Greenseeker voor de eerste snede voor het perceel "Van Rooijen".

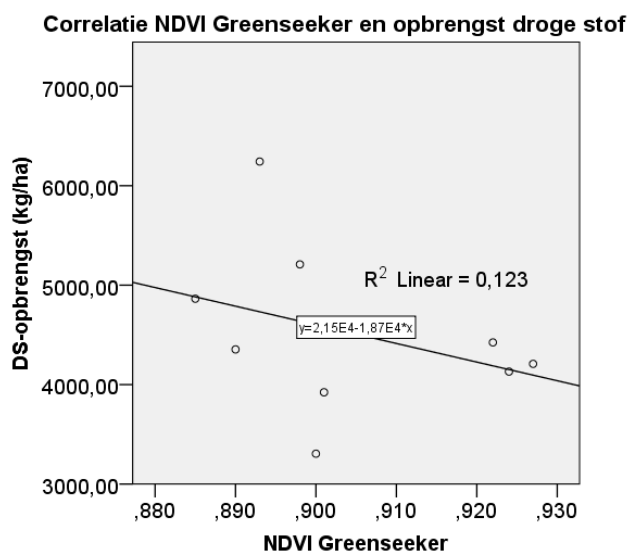
Tabel 5: Correlaties en P-waarden tussen sensordata Greenseeker en grasdata eerste snede "Van Rooijen"

	Droge stof opbrengst (kg/ha)	Ruw eiwit opbrengst (kg/ha)
Pearson Correlation (R)	-0,351	-0,581
Determinatiecoëfficiënt (R^2)	0,123	0,337
Verklaarde variantie (%)	12,3%	33,7%
Significantie (p-waarde)	0,355	0,101

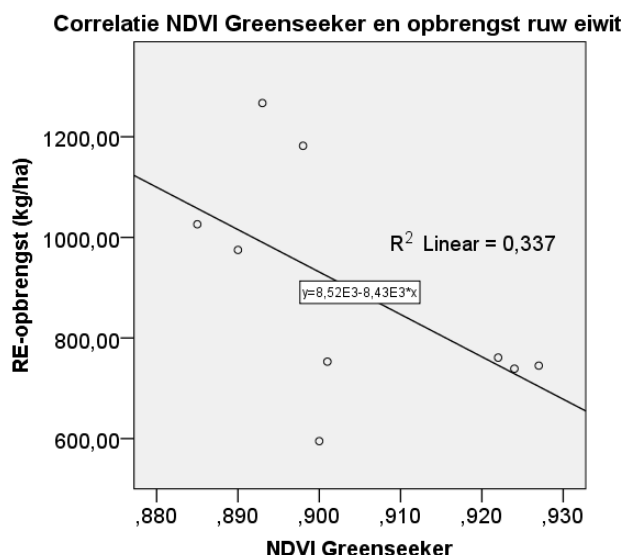
*Correlatie is significant voor betrouwbaarheidsinterval van 95% ($P<0,05$)

** Correlatie is significant voor betrouwbaarheidsinterval van 99% ($P<0,01$)

Wat betreft de droge stof opbrengst is te zien dat deze negatief, zwak tot matig gecorreleerd en niet significant is. De opbrengst ruw eiwit is negatief, redelijk sterk gecorreleerd en redelijk significant ($P=0,1$). In de figuren 7 en 8 hieronder zijn de correlaties van de opbrengst droge stof en ruw eiwit met de sensordata van de Greenseeker in beeld gebracht door middel van grafieken.



Figuur 7: Correlatie droge stof opbrengst en NDVI Greenseeker eerste snede "Van Rooijen"



Figuur 8: Correlatie ruw eiwit opbrengst en NDVI Greenseeker tweede snede Van Rooijen

Wat betreft de correlatie tussen de droge stof opbrengst en de sensordata van de Greenseeker is de correlatie zwak te noemen en niet significant. De correlatie tussen de ruw eiwit opbrengst en de sensordata van de Greenseeker is zoals te zien negatief en redelijk gecorreleerd.

3.1.2 Tweede snede

Hieronder in tabel 6 zijn de correlaties, P-waarden en determinatiecoëfficiënten weergegeven van de sensordata van de Greenseeker en de grasdata van de metingen van de tweede snede voor het perceel "Van de Anker".

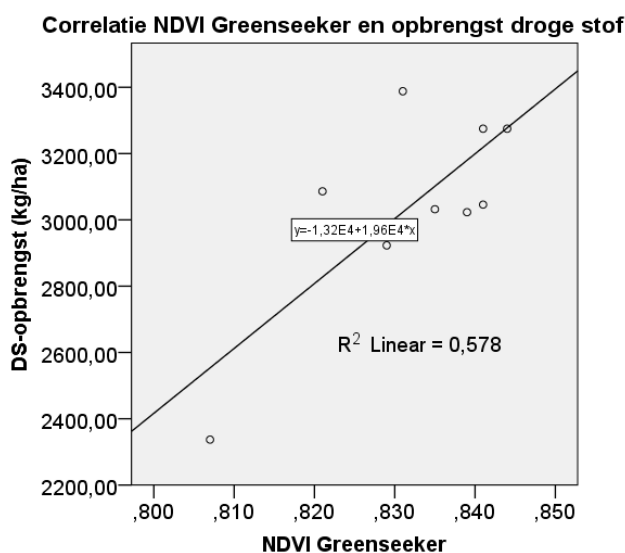
Tabel 6: Correlaties, P-waarden en determinatiecoëfficiënten grasdata en Greenseeker eerste snede "Vd Anker"

	Droge stof opbrengst (kg/ha)	Ruw eiwit opbrengst (kg/ha)
Pearson correlation (R)	,760*	,826**
Determinatiecoëfficiënt (R²)	0,578	0,682
Verklaarde variantie (%)	57,8%	68,2%
Significantie (P-waarde)	0,017	0,006

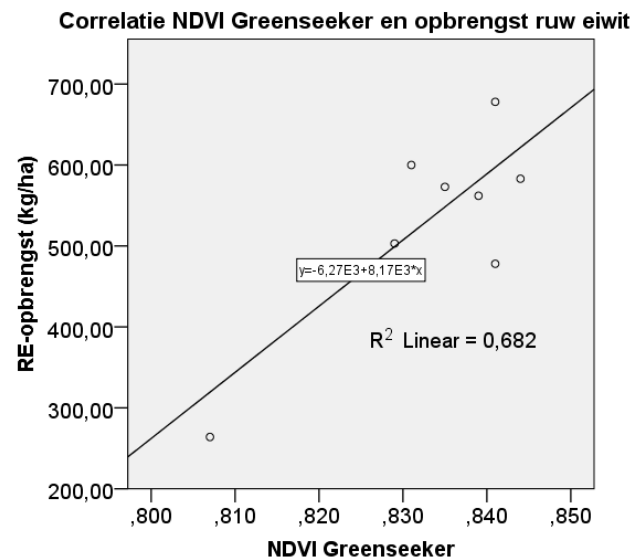
* Correlatie is significant voor 95%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,05$)

** Correlatie is significant voor 99%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,01$)

Er is een sterke positieve correlatie tussen de sensordata en de opbrengst ruw eiwit die significant is voor een betrouwbaarheidsinterval van 99%. De correlatie tussen de droge stof opbrengst en de sensordata is sterk positief gecorreleerd en significant voor een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Deze correlaties zijn hieronder in figuur 9 en 10 in grafieken weergegeven.



Figuur 9: Correlatie sensordata Greenseeker en droge stof opbrengst tweede snede "Vd Anker"



Figuur 10: Correlatie sensordata Greenseeker en opbrengst ruw eiwit tweede snede "Vd Anker"

Bij zowel figuur 9 als figuur 10 gaat het om een sterke correlatie ($R^2 > 0,5$) die significant is. Zowel de droge stof opbrengst de ruw eiwit opbrengst is positief gecorreleerd met de sensordata en significant. Hierbij kunnen in deze meting meer dan de helft van de variatie in de gemeten sensorwaarden van de Greenseeker verklaard worden door variatie in de opbrengst ruw eiwit en droge stof.

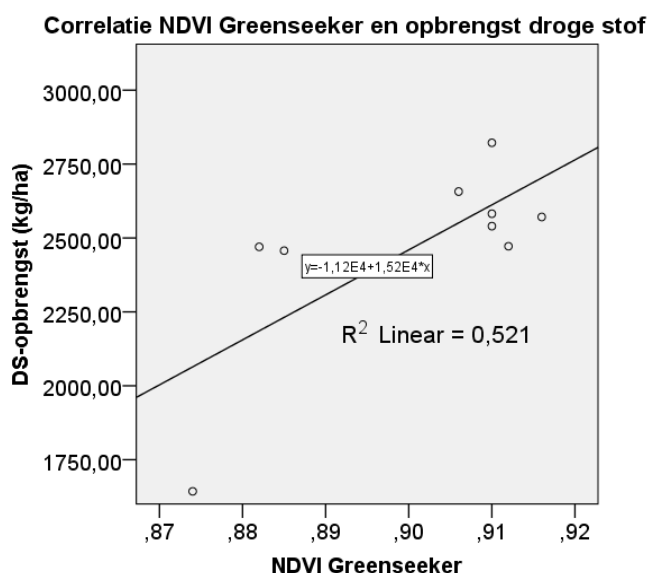
Hieronder in tabel 7 zijn de belangrijkste statistische waarden weergegeven van correlatie tussen de sensordata van de Greenseeker en de grasdata van de metingen van de tweede snede voor het perceel "Van Rooijen".

Tabel 7: Overzicht statistische correlatie greenseeker en grasdata tweede snede "Van Rooijen"

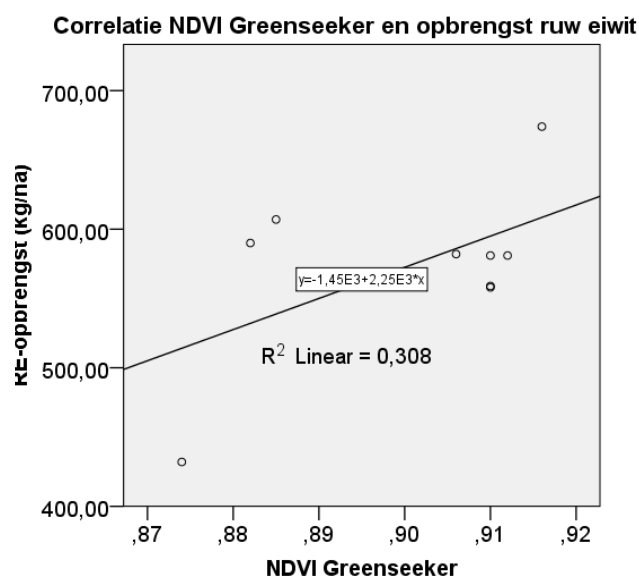
	Droge stof opbrengst (kg/ha)	Ruw eiwit opbrengst (kg/ha)
Pearson correlation (R)	,722*	0,555
Determinatiecoëfficiënt (R²)	0,521	0,308
Verklaar variantie (%)	52,1%	30,8%
Significantie	0,028	0,121

* Correlatie is significant voor betrouwbaarheidsinterval van 95% ($P < 0,05$)

Uit tabel 7 komt naar voren dat de correlatie tussen de droge stof opbrengst en de sensordata van de Greenseeker is sterk positief en significant voor het betrouwbaarheidsinterval van 95%. De correlatie tussen de ruw eiwit opbrengst en de sensordata is positief, redelijk tot sterk en niet significant. Hieronder in de figuren 11 en 12 zijn deze correlaties in grafieken weergegeven.



Figuur 11 Correlatie sensordata Greenseeker en opbrengst droge stof tweede snede "Van Rooijen"



Figuur 12: Correlatie sensordata Greenseeker en opbrengst ruw eiwit tweede snede "Van Rooijen"

De correlatie tussen de droge stof opbrengst en de sensordata is sterk ($R^2 > 0,5$), positief en significant voor het betrouwbaarheidsinterval van 95%. De correlatie tussen de ruw eiwit opbrengst en de sensordata van de Greenseeker is redelijk ($R^2 = 0,31$), positief en niet significant.

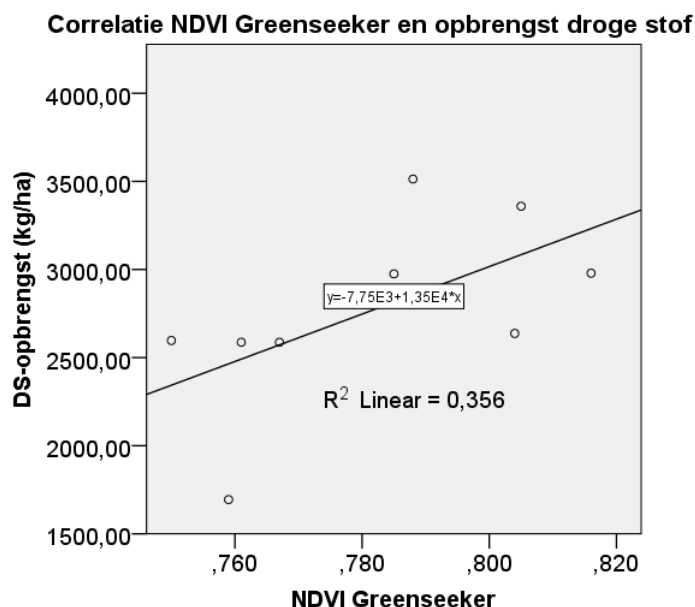
3.1.3 Derde snede

De metingen van de derde snede met de Greenseeker op de twee percelen verschilt wat met de eerste twee sneden. Met betrekking tot het beschikbare budget en de kosten van een volledige vers gras-analyse is er voor gekozen om bij de derde snede alleen een droge stof analyse van de grasmonsters te laten uitvoeren. Daarnaast is door een technisch probleem met de maaitrekker van de loonwerker met een andere trekker de derde snede gemaaid bij het perceel "Van Rooijen". In deze trekker was de hardware en software van de Greenseeker niet aanwezig, waardoor er geen sensordata gelogd kon worden. Dit houdt dan ook in dat er met betrekking tot de derde snede alleen relevante data is verzameld voor het perceel "Van de Anker". Hieronder in tabel 8 zijn de belangrijkste statistische waarden weergegeven met betrekking tot de correlatie van de greenseeker en de opbrengst droge stof voor dit perceel.

Tabel 8: Overzicht statistiek correlatie sensor en opbrengst droge stof derde snede "Vd Anker"

	Droge stof opbrengst (kg/ha)
Pearson correlation (R)	0,597
Determinatiecoëfficiënt (R²)	0,356
Verklaarde variantie	35,6%
Significantie	0,09

De droge stof opbrengst is redelijk tot sterk en positief gecorreleerd met de sensordata ($R=0,6$). Zo'n 36% van de variatie in de gemeten sensordata kan verklaard worden door de variatie in de droge stof opbrengst. Met betrekking tot de significantie bedraagt de P-waarde 0,09 en dit houdt in dat de correlatie significant is voor het 90%- betrouwbaarheidsinterval ($P<0,1$) en 10% van de waarden aan toeval toe te schrijven is. Dit is dan ook minder betrouwbaar dan het 95% of 99%-betrouwbaarheidsinterval, maar de correlatie is met deze significantie wel betekenisvol voor het onderzoek. Hieronder in figuur 13 is de grafiek weergegeven met de correlaties van de sensordata met de droge stof opbrengst.



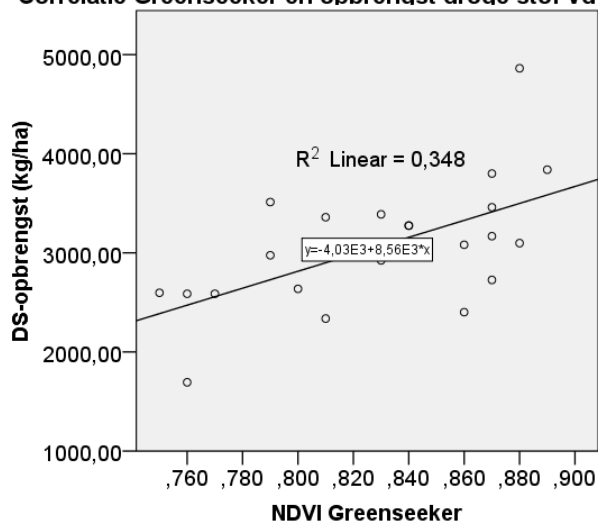
Figuur 13: Correlatie sensordata Greenseeker en opbrengst droge stof derde snede "Vd Anker"

De correlatie tussen de droge stof opbrengst en de sensordata is positief, redelijk sterk ($R^2=0,36$) en dus ook in behoorlijke mate significant.

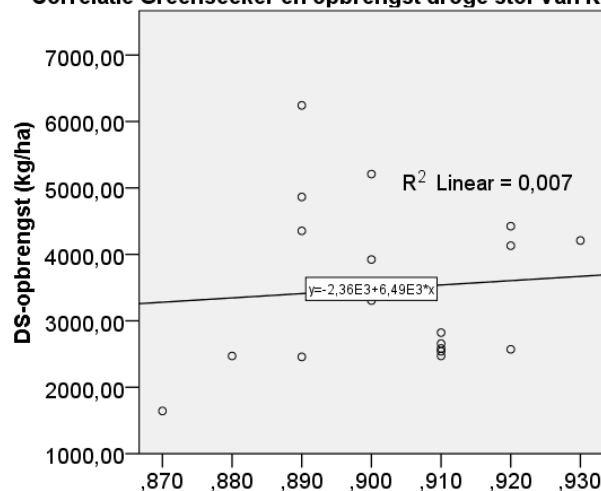
3.1.4 Overzicht op perceelsniveau

Hierboven zijn de correlaties weergegeven per snede per perceel. Hieronder in de grafieken en tabel zijn de correlaties weergegeven van de Greenseeker met de opbrengst droge stof en ruw eiwit per perceel, waarbij de verschillende sneden samengevoegd zijn.

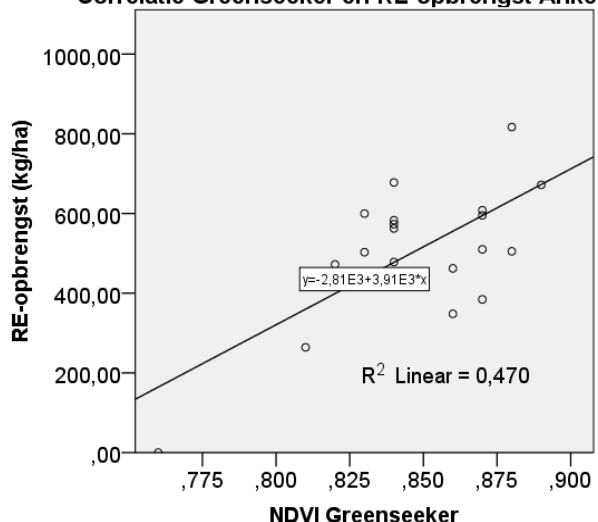
Correlatie Greenseeker en opbrengst droge stof Vd Anker



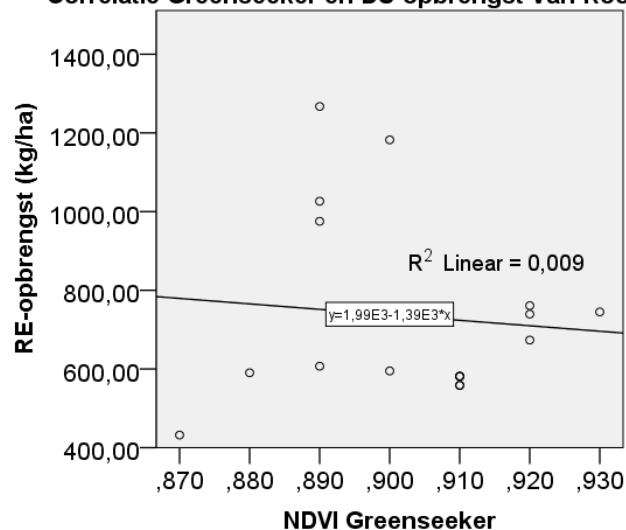
Correlatie Greenseeker en opbrengst droge stof Van Rooijen



Correlatie Greenseeker en RE-opbrengst Anker



Correlatie Greenseeker en DS-opbrengst Van Rooijen



Figuur 14: Correlatie GS en DS-opbr "Vd Anker"

Figuur 15: Correlatie GS en DS-opbr "Van Rooijen"

Tabel 9: Overzicht statistische data greenseeker en opbrengst DS en RE per perceel

Perceel	Vd Anker		Van Rooijen	
Gewasindex	NDVI Greenseeker		NDVI Greenseeker	
Grasparameter	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	0,590**	0,685**	0,083	-0,094
Determinatiecoëfficiënt (R²)	0,348	0,470	0,007	0,009
Verklaarde variantie (%)	34,8%	47,0%	0,7%	0,9%
Significantie (P-waarde)	0,001	0,001	0,744	0,711

**Correlatie is significant voor 99%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,01$)

Uit de grafieken en tabel blijkt dat er een redelijk tot sterke correlatie aanwezig is tussen de sensordata van de Greenseeker en de opbrengst droge stof en ruw eiwit voor het perceel “Vd Anker”. Deze correlaties zijn significant voor het 99%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,01$). Hierbij zijn voor de opbrengst droge stof 35% en voor de opbrengst ruw eiwit de helft de waarden van de Greenseeker te verklaren door de variatie in opbrengst droge stof of ruw eiwit. Wat betreft het perceel van Rooijen zijn er geen correlaties gevonden wanneer er naar de data van het perceel wordt gekeken.

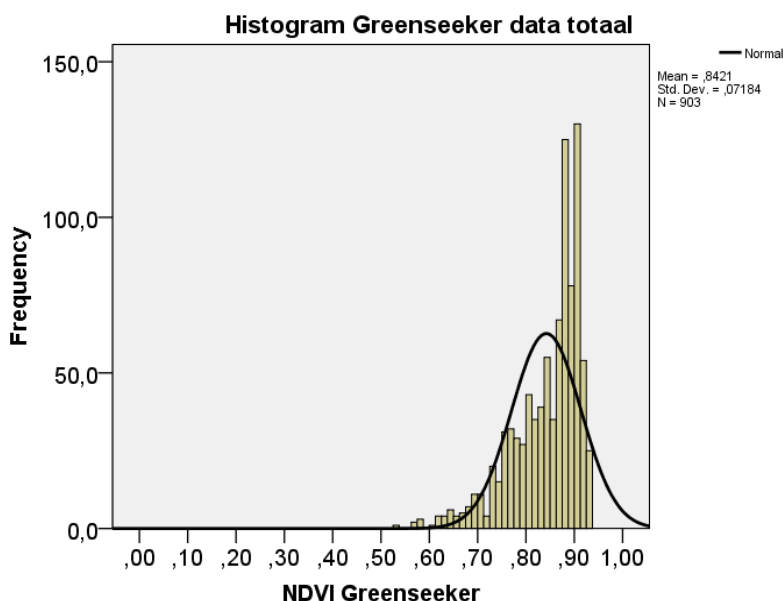
3.1.5 Greenseeker data algemeen

Gedurende het onderzoek zijn er dus op twee verschillende percelen van 3 sneden data verzameld met de Greenseeker. Hieronder in tabel 9 is een overzicht weergegeven van de statistische analyse van deze data.

Tabel 9: Statistische analyse sensordata Greenseeker totaal

N	Valid	903
	Missing	0
Mean		0,8421
Median		0,8690
Mode		0,91
Skewness		-1,258
Kurtosis		1,394
Minimum		0,53
Maximum		0,93

Van de 903 uitgevoerde metingen is de gemiddelde NDVI-waarde 0,842, waarbij de laagste gemeten waarde 0,530 en de grootste gemeten NDVI- waarde 0,930 bedraagt. Hieronder in figuur 14 is het histogram van deze data weergegeven ter visualisatie, waarbij de x-as van 0 tot 1 loopt (de Greenseeker kan ook een waarde geven van 0 tot 1). De standaardafwijking bedraagt 0,072 en houdt in dat het grootste gedeelte van gemeten NDVI-waarden gemiddeld 0,07 verwijderd zijn van het gemiddelde. Dit is een relatief kleine spreiding. Verder is de scheefheid (skewness) van de verdeling 1,3 en dit betekent dat er een ophoping van waarden is aan de rechterkant van de verdeling en dit is ook terug te zien in het histogram. De platheid of piekvormigheid (kurtosis) is 1,4 en geeft als informatie dat de verdeling puntig en smal is en dit is ook terug te zien in het histogram. De spreiding van de sensordata van de Greenseeker is dan ook zoals gezegd relatief klein.



Figuur 14: Histogram sensordata Greenseeker totaal

3.2 Fritzmeier Isaria sensor en grasdata

In dit aspect zijn de resultaten weergegeven van de metingen die gedaan zijn met de Fritzmeier Isaria gewassensor.

3.2.1 Tweede snede perceel “Van Drunen”

Zoals in het hoofdstuk materiaal en methode beschreven is het met de Fritzmeier alleen gelukt om van één snede van een perceel betrouwbare data te verzamelen met de Fritzmeier Isaria gewassensor. Hierbij gaat het om de tweede snede van het perceel “Van Drunen”. Hierbij dient ook vermeld te worden dat dit perceel in vergelijking met de andere percelen door variatie in vochttoestand ook relatief veel variatie bevatte in het gewas. Een overzicht van de statistische data is hieronder in tabel 10 weergegeven.

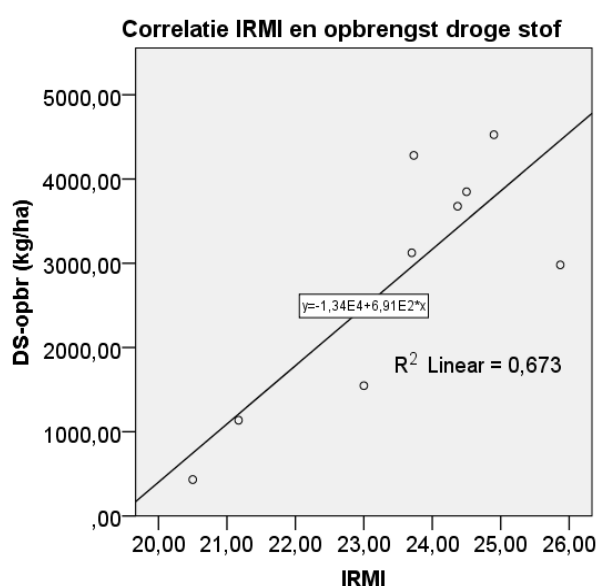
Tabel 10: Statistische data correlaties sensordata Fritzmeier en opbrengst droge stof en ruw eiwit

Gewasindex	IRMI		IBI	
Grasparameter	DS-opbrengst	RE-opbrengst	DS-opbrengst	RE-opbrengst
Pearson correlatie (R)	0,820**	0,803**	0,900**	0,829**
Determinatiecoëfficiënt (R ²)	0,673	0,645	0,810	0,688
Verklaarde variantie (%)	67,3%	64,5%	81,0%	68,8%
Significantie (P-waarde)	0,007	0,009	0,001	0,006

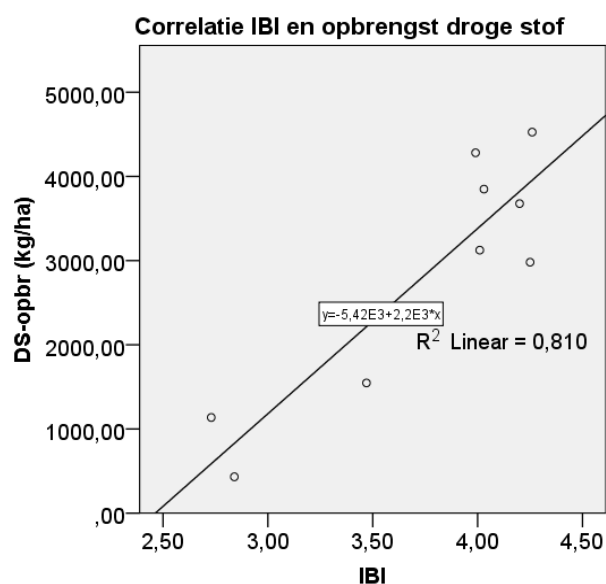
** Correlatie is significant voor 99%-betrouwbaarheidsinterval (P>0,01)

In de tabel is te zien dat op basis van deze meting blijkt dat de beide gewasindexen sterk tot zeer sterk positief en significant gecorreleerd zijn aan de opbrengsten droge stof en ruw eiwit. Hierbij ligt de verklarende variantie van de IRMI met de opbrengst droge stof en ruw eiwit en de IBI met de opbrengst ruw eiwit rond de 65%. De verklarende variantie van de gewasindex IBI in relatie tot de opbrengst droge stof is 81%.

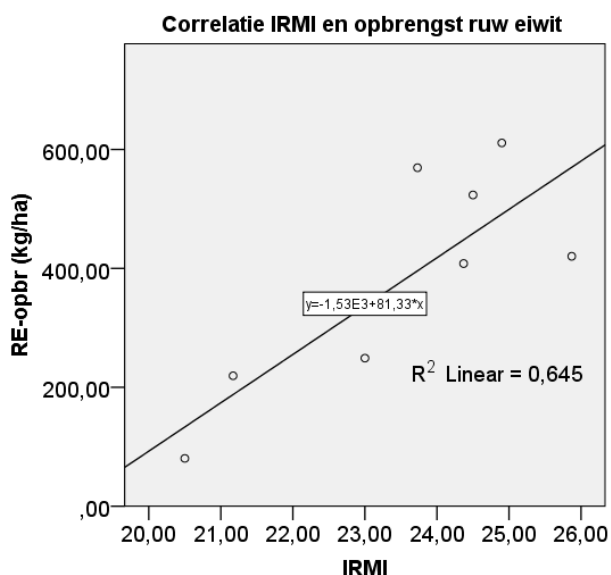
Hieronder en op de volgende pagina zijn de correlaties in grafieken weergegeven.



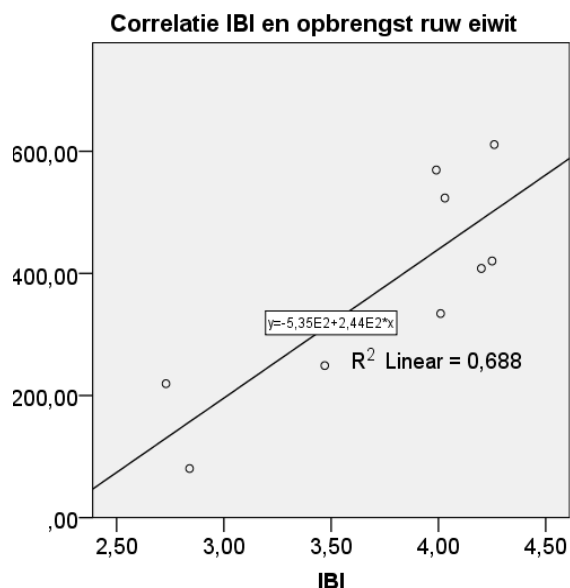
Figuur 3: Correlatie IRMI en opbrengst droge stof



Figuur 2: Correlatie IBI en opbrengst droge stof



Figuur 5: Correlatie IRMI en opbrengst ruw eiwit



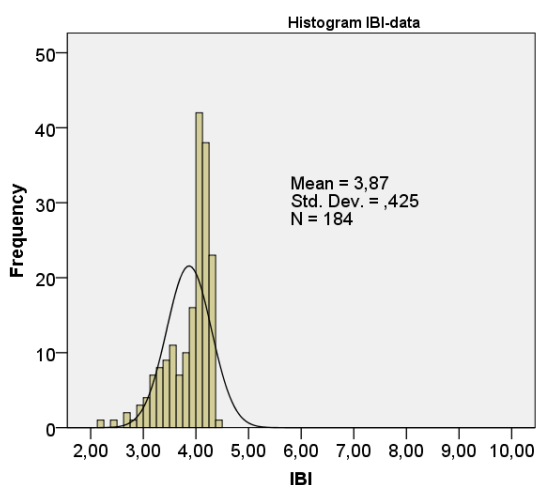
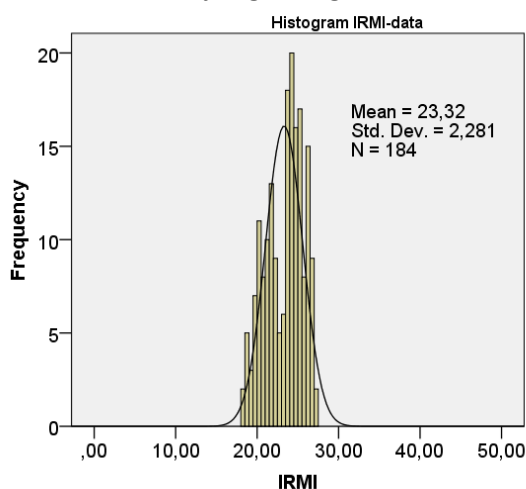
Figuur 4: Correlatie IBI en opbrengst ruw eiwit

3.2.2 Fritzmeier Isaria data algemeen

Hieronder in tabel 11 is de statistische analyse weergegeven voor de gemeten waarden van de gewasindex IRMI en IBI.

Gewasindex		IBI	IRMI
N	Valid	184	184
	Missing	0	0
Mean		3,8696	23,315
Median		4,04	23,7835
Mode		4,07	25,27
Minimum		2,13	18,03
Maximum		4,38	27,13

Hieronder in de figuren is deze analyse per gewasindex uitgewerkt in een histogram. Hierbij is ook de standaardafwijking weergegeven.



Voor beide gewasindexen geldt dat er een standaardafwijking aanwezig, waardoor er een zekere spreiding in de data is te zien. Bij de IRMI is deze wat gelijkmatiger verdeeld en bij de IBI is er een zeer duidelijke piek te zien rond de waarde van 4,0.

3.3 Ebee Drone en grasdata

In dit aspect zijn de resultaten weergegeven van de metingen die gedaan zijn in relatie tot de opbrengsten droge stof en ruweiwit op de verschillende percelen van meerdere sneden. Dit is gedaan op dezelfde manier als bij de eerste twee deelvragen.

3.3.1 Eerste snede

Hieronder in tabel 10 zijn de statistische gegevens weergegeven met betrekking tot de correlatie tussen de sensor en opbrengst droge stof en ruw eiwit voor het perceel "Vd Anker".

Tabel 10: Overzicht statistische data correlatie sensordata eBee en grasdata eerste snede "Vd Anker"

Gewasindex eBee	NDVI		WDVI		NDRE		CCCI	
Grasparameter	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	-0,685*	-0,681*	0,706*	0,773*	0,695*	0,775*	0,735*	0,814**
Determinatiecoëfficiënt (R ²)	0,469	0,464	0,498	0,598	0,483	0,601	0,540	0,663
Verklaarde variantie (%)	46,9%	46,4%	49,8%	59,8%	48,3%	60,1%	54,0%	66,3%
Significantie (P-waarde)	0,042	0,043	0,033	0,015	0,038	0,014	0,024	0,008

*Correlatie is significant voor 95%-betrouwbaarheidsinterval ($p < 0,05$)

** Correlatie is significant voor 99%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,01$)

Uit tabel 10 blijkt dat voor alle gewasindexen in relatie tot de opbrengst droge stof en ruw eiwit er significante correlaties zijn gevonden. Hierbij zijn de WDVI, de NDRE en de CCCI sterk positief gecorreleerd aan de opbrengst droge stof en ruw eiwit ($R^2 > 0,5$). Hieruit blijkt dat meer dan de helft van de gevonden variatie in de waarden van deze gewasindexen verklaard kunnen worden door variatie de opbrengst droge stof en ruw eiwit. De NDVI-waarden hebben ook een significante correlatie met de opbrengst droge stof en ruw eiwit, maar deze is iets minder sterk en negatief gecorreleerd.

Hieronder in tabel 11 zijn de statistische gegevens weergegeven met betrekking tot de correlatie tussen de sensor en de opbrengst droge stof en ruw eiwit voor het perceel "Van Rooijen".

Tabel 11: Overzicht statistische data correlatie sensordata eBee en grasdata eerste snede "Van Rooijen"

Gewasindex eBee	NDVI		WDVI		NDRE		CCCI	
Grasparameter	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	-0,620	-0,710*	0,428	0,394	0,231	0,345	0,344	0,471
Determinatiecoëfficiënt (R ²)	0,384	0,505	0,183	0,155	0,053	0,119	0,118	0,222
Verklaarde variantie (%)	38,4%	50,5%	18,3%	15,5%	5,3%	11,9%	11,8%	22,2%
Significantie (P-waarde)	0,075	0,032	0,250	0,295	0,550	0,363	0,365	0,200

* Correlatie is significant voor 95%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,05$)

Uit de tabel blijkt dat er een sterke negatieve significante correlatie is gevonden tussen de gewasindex NDVI en de ruw eiwit opbrengst. Daarnaast is de NDVI ook negatief gecorreleerd aan de droge stof opbrengst voor het 90%- betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,01$). De overige gewasindexen zijn zwak of zeer zwak gecorreleerd aan de opbrengst droge stof en ruw eiwit en zijn niet significant.

Hieronder in tabel 12 zijn de statistische gegevens weergegeven met betrekking tot de correlatie tussen de sensor en de opbrengst droge stof en ruw eiwit voor het perceel "Van Drunen".

Tabel 12: Overzicht statistische data correlatie sensordata Ebee en grasdata eerste snede "Van Drunen"

Gewasindex eBee	NDVI		WDVI		NDRE		CCCI	
	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	0,651	0,567	0,361	0,385	0,748*	0,823**	0,803**	0,861**
Determinatiecoëfficiënt (R^2)	0,424	0,321	0,130	0,148	0,560	0,677	0,645	0,741
Verklaarde variantie (%)	42,4%	32,1%	13,0%	14,8%	56,0%	67,7%	64,5%	74,1%
Significantie	0,058	0,111	0,34	0,307	0,021	0,006	0,009	0,003

* Correlatie is significant voor 95%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,05$)

** Correlatie is significant voor 99%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,01$)

Uit deze meting blijkt dat de gewasindex CCCI sterk tot zeer sterk gecorreleerd is aan de opbrengst droge stof en ruw eiwit. Deze correlaties zijn significant voor het 99% betrouwbaarheidsinterval en meer dan 60% van de variatie in de CCCI-waarden kan verklaard worden door variatie in de opbrengst droge stof en ruw eiwit. De correlatie tussen de opbrengst ruw eiwit en de NDRE is sterk tot zeer sterk positief gecorreleerd en significant, waarbij de verklaarde variantie 67% bedraagt. De correlatie tussen de opbrengst droge stof en NDRE sterk positief gecorreleerd en significant voor het 95%-betrouwbaarheidsinterval met een verklaarde variantie van 56%. De correlatie tussen de droge stof opbrengst en de NDVI is redelijk tot sterk positief en significant voor het 90%-betrouwbaarheidsinterval. De overige correlaties zijn redelijk tot zwak en niet significant.

Hieronder in tabel 13 zijn de statistische gegevens weergegeven met betrekking tot de correlatie tussen de sensor en de opbrengst droge stof en ruw eiwit voor het perceel "Vermeer".

Tabel 13: Overzicht statistische data correlatie sensordata Ebee en grasdata eerste snede "Vermeer"

Gewasindex eBee	NDVI		WDVI		NDRE		CCCI	
	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	-0,165	-0,183	0,123	0,078	0,107	0,098	0,162	0,187
Determinatiecoëfficiënt (R^2)	0,027	0,033	0,015	0,006	0,011	0,010	0,026	0,035
Verklaarde variantie (%)	2,7%	3,3%	1,5%	0,6%	1,1%	1,0%	2,6%	3,5%
Significantie	0,672	0,637	0,752	0,843	0,785	0,801	0,677	0,63

Uit de tabel blijkt dat er geen tot zeer zwakke correlaties zijn gevonden zijn tussen de waarden van de gewasindexen van de eBee en opbrengst ruw eiwit of droge stof. Daarnaast is er ook significantie aanwezig voor de correlaties.

3.3.2 Tweede snede

Hieronder in tabel 14 zijn de statistische gegevens weergegeven met betrekking tot de correlatie tussen de gewassensor en de opbrengst droge stof en ruw eiwit voor het perceel "Vd Anker".

Tabel 14: Overzicht statistische data correlatie sensordata Ebee en grasdata tweede snede "Vd Anker"

Gewasindex	NDVI		WDVI		NDRE		CCCI	
Grasparameter	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS - opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	0,592	0,826**	-0,077	0,191	0,093	0,448	0,015	0,382
Determinatiecoëfficiënt (R²)	0,350	0,682	0,006	0,036	0,009	0,201	0,000	0,146
Verklaarde variantie (%)	35,0%	68,2%	0,6%	3,6%	0,9%	20,1%	0,0%	14,6%
Significantie (P-waarde)	0,093	0,006	0,845	0,623	0,812	0,226	0,97	0,31

** Correlatie is significant voor 99%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,01$)

Bij deze meting is er een sterke tot zeer sterke positieve correlatie gevonden tussen de gewasindex NDVI en de ruw eiwit opbrengst. Deze correlatie is significant voor het 99% betrouwbaarheidsinterval waarbij zo'n 70% van de variatie in deze index-waarden verklaard kan worden door variatie in opbrengst ruw eiwit. De correlatie tussen de opbrengst droge stof en de NDVI is redelijk ($R=0,6$ en $R^2=0,35$) en significant voor het 90%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,1$). Hierbij kan zo'n 35% van de variatie in NDVI-waarden verklaard worden door de variatie in de opbrengst droge stof. Bij de gewasindexen WDVI, NDRE en CCCI zijn er bij deze meting zijn er zwakke tot geen correlaties gevonden met de opbrengst droge stof en ruw eiwit die ook niet significant zijn.

Hieronder in tabel 15 zijn de statistische gegevens weergegeven met betrekking tot de correlatie tussen de gewassensor en de opbrengst droge stof en ruw eiwit voor het perceel "Van Rooijen".

Tabel 15: Overzicht statistische data correlatie sensordata eBee en grasdata tweede snede "Van Rooijen"

Gewasindex	NDVI		WDVI		NDRE		CCCI	
Grasparameter	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	-0,028	0,273	0,788*	0,58	-0,208	0,195	-0,238	0,174
Determinatiecoëfficiënt (R²)	0,001	0,075	0,621	0,336	0,043	0,038	0,057	0,030
Verklaarde variantie (%)	0,1%	7,5%	62,1%	33,6%	4,3%	3,8%	5,7%	3,0%
Significantie	0,943	0,477	0,012	0,102	0,591	0,615	0,538	0,655

* Correlatie is significant voor 95%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,05$)

Bij deze meting is er een sterke correlatie gevonden tussen de WDVI en de opbrengst droge stof. Deze is significant voor het betrouwbaarheidsinterval van 95% waarbij 62% van de variatie in de indexwaarden verklaard kan worden door de variatie in opbrengst droge stof. De correlatie tussen de WDVI en de opbrengst ruw eiwit is positief, redelijk ($R^2=0,33$) en in bepaalde mate significant ($P=0,1$). De indexen NDVI, NDRE en CCCI laten zwakke correlaties tot zeer zwakke correlaties zien die niet significant zijn.

3.3.3 derde snede

Hieronder in tabel 16 zijn de statistische gegevens weergegeven met betrekking tot de correlatie tussen de sensordata en de opbrengst droge stof voor het perceel "Vd Anker".

Tabel 16: Overzicht statistische data correlatie sensordata eBee en grasdata derde snede "Vd Anker"

Gewasindex	NDVI	WDVI	NDRE	CCCI
Grasparameter	DS-opbr	DS-opbr	DS-opbr	DS-opbr
Pearson correlation (R)	0,535	0,653	0,753*	0,705*
Determinatiecoëfficiënt (R ²)	0,286	0,426	0,567	0,497
Verklaarde variantie (%)	28,6%	42,6%	56,7%	49,7%
Significantie (P-waarde)	0,138	0,056	0,019	0,034

*Correlatie is significant voor 95%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,05$)

De correlatie tussen de opbrengst droge stof en de gewasindex CCCI bij deze meting is redelijk tot sterk, positief en significant voor het 95%- betrouwbaarheidsinterval. De correlatie tussen de NDRE en opbrengst droge stof is sterk ($R > 0,7$ en $R^2 > 0,5$), positief en significant voor het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Hierbij kan 57% van de variatie in de gemeten NDRE-waarden verklaard worden door de variatie in de opbrengst droge stof. De correlatie tussen de WDVI en de opbrengst droge stof is redelijk, positief en significant voor het 90%-betrouwbaarheidsinterval. De correlatie tussen de NDVI en de opbrengst droge stof is zwak tot matig en niet significant.

Hieronder in tabel 17 zijn de statistische gegevens weergegeven met betrekking tot de correlatie tussen de sensordata en de opbrengst droge stof voor het perceel "Van Rooijen".

Tabel 17: Overzicht statistische data correlatie sensordata eBee en grasdata derde snede "Van Rooijen"

Gewasindex	NDVI	WDVI	NDRE	CCCI
Grasparameter	DS-opbr	DS-opbr	DS-opbr	DS-opbr
Pearson correlation (R)	0,365	0,756*	-0,322	-0,472
Determinatiecoëfficiënt (R ²)	0,133	0,572	0,104	0,223
Verklaarde variantie (%)	13,3%	57,2%	10,4%	22,3%
Significantie	0,334	0,018	0,398	0,199

*Correlatie is significant voor het 95%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,05$)

Uit deze meting blijkt dat er een sterke positieve correlatie is tussen de opbrengst droge stof en de WDVI-waarden en significant is voor het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Hierbij kunnen 57% van de variatie in de WDVI-index verklaard worden door verschillen in opbrengst droge. Wat betreft de indexen NDVI, NDRE en CCCI zijn er matige tot zwakke correlaties gevonden die niet significant zijn.

3.3.4 Overzicht op perceelsniveau

Hiervoor zijn de resultaten van de correlaties van alle sensordata van de eBee met de opbrengst droge stof en ruw eiwit per snede per perceel weergegeven. Om ook naar perceelsniveau te kijken is deze statistische data op de volgende pagina in tabel 18 per perceel weergegeven.

Tabel 18: Overzicht statistische data correlaties Greenseeker met opbrengst DS en RE op perceelsniveau

Perceel	Vd Anker							
Gewasindex	NDVI		WDVI		NDRE		CCCI	
Grasparameter	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS -opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	0,406*	-0,040	0,552**	0,277	0,38	0,296	0,385*	0,323
Determinatiecoëfficiënt (R ²)	0,165	0,002	0,305	0,077	0,144	0,087	0,148	0,104
Verklaarde variantie (%)	17%	0%	31%	8%	14%	9%	15%	10%
Significantie (P-waarde)	0,036	0,875	0,003	0,265	0,051	0,234	0,047	0,191
Perceel	Van Drunen							
Gewasindex	NDVI		WDVI		NDRE		CCCI	
Grasparameter	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS -opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	0,573	0,472	0,356	0,357	0,757*	0,837**	0,777*	0,843**
Determinatiecoëfficiënt (R ²)	0,328	0,223	0,127	0,128	0,572	0,701	0,604	0,711
Verklaarde variantie (%)	33%	22%	13%	13%	57%	70%	60%	71%
Significantie (P-waarde)	0,107	0,199	0,347	0,345	0,018	0,005	0,014	0,004
Perceel	Van Rooijen							
Gewasindex	NDVI		WDVI		NDRE		CCCI	
Grasparameter	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS -opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	0,035	-0,122	0,260	0,765**	0,38	0,465	0,401*	0,505*
Determinatiecoëfficiënt (R ²)	0,001	0,015	0,068	0,585	0,144	0,216	0,161	0,255
Verklaarde variantie (%)	0%	2%	7%	59%	14%	22%	16%	26%
Significantie (P-waarde)	0,861	0,629	0,191	0,000	0,051	0,052	0,038	0,033
Perceel	Vermeer							
Gewasindex	NDVI		WDVI		NDRE		CCCI	
Grasparameter	DS-opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr	DS -opbr	RE-opbr	DS-opbr	RE-opbr
Pearson correlation (R)	-0,132	-0,156	0,176	0,127	0,056	0,038	0,132	0,154
Determinatiecoëfficiënt (R ²)	0,017	0,024	0,031	0,016	0,003	0,001	0,017	0,024
Verklaarde variantie (%)	2%	2%	3%	2%	0%	0%	2%	2%
Significantie (P-waarde)	0,735	0,629	0,651	0,745	0,887	0,924	0,735	0,693

*Correlatie is significant voor het 95%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,05$)** Correlatie is significant voor het 99%-betrouwbaarheidsinterval ($P < 0,01$)

In de tabel zijn de gevonden significante correlaties met groen aangegeven. Voor het perceel “Vd Anker” zijn dit de correlaties NDVI, WDVI en CCCI met de opbrengst droge stof. Deze zijn allen redelijk gecorreleerd en positief gecorreleerd waarbij de WDVI de sterkste correlatie heeft met 31% verklarende variatie. Wat betreft het perceel Van Drunen zijn er significante en sterke positieve correlaties gevonden tussen de opbrengst droge stof en ruw eiwit met de NDRE. Hierbij is er 70% verklarende variantie voor de opbrengst ruw eiwit en 57% voor de opbrengst droge stof. Verder is er ook een sterke positieve correlatie gevonden voor de opbrengst ruw eiwit met de CCCI met een verklarende variantie van 71%. Wat betreft het perceel “Van Rooijen” zijn er significante correlaties gevonden tussen de opbrengst droge stof en ruw eiwit met de CCCI-gewasindex. Deze correlaties zijn positief en redelijk. Verder is er bij dit perceel nog een significante correlatie gevonden tussen de WDVI-gewasindex van de ebee en de opbrengst ruw eiwit. Deze correlatie is sterk met een verklarende variantie van 59%.

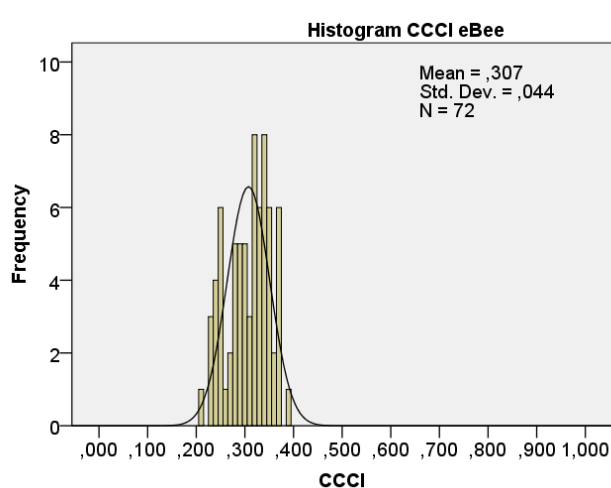
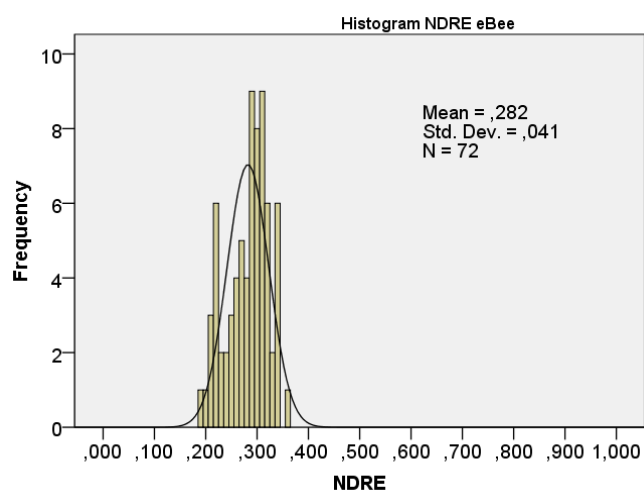
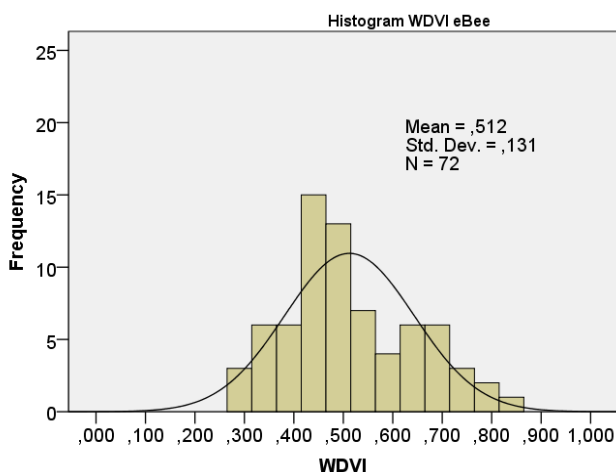
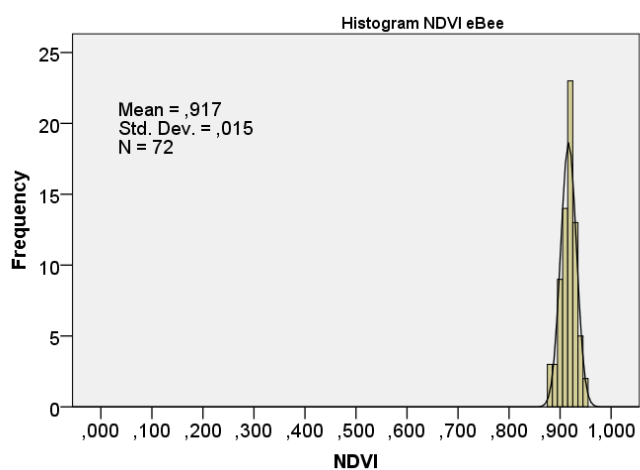
3.3.5 eBee data algemeen

Er is met de eBee drone data in het van vier verschillende gewasindexen van de vier percelen van verschillende sneden. Hieronder in tabel 19 is een overzicht weer geven van deze data.

Tabel 19: Overzicht statistische data eBee-data

		NDVI	WDVI	NDRE	CCCI
N	Valid	72	72	72	72
	Missing	18	18	18	18
Mean		0,917	0,512	0,282	0,307
Median		0,92	0,48	0,29	0,32
Mode		0,92	0,46	0,29	0,32
Variance		0	0,017	0,002	0,002
Minimum		0,88	0,29	0,19	0,21
Maximum		0,95	0,85	0,36	0,39

Hieronder in de grafieken zijn de histograms weergegeven van de spreiding van de waarden van elke gewasindex. Hierbij is ook de standaarddeviatie aangegeven.



De standaardafwijking en spreiding is relatief laag bij de gemeten waarden van de gewasindexen NDVI, NDRE en CCCI wat ook resulteert in een smallere verdeling. De standaardafwijking en daarmee de spreiding van de gemeten waarden ligt een stuk hoger bij de gewasindex WdVI.

3.4 Kosten en baten gewassensoren

In deze paragraaf zijn de resultaten van het financiële aspect met betrekking tot de sensoren per gewassensor beschreven.

3.4.1 Greenseeker Rt100

In het onderzoek zijn op de frontmaaier vier Greenseeker Rt100 gewassensoren gemonteerd, zodat er op een representatieve breedte metingen uitgevoerd konden worden. De aanschafwaarde van deze sensoren bedraagt €5000,-. Wanneer er vanuit wordt gegaan dat een gemiddelde loonwerker zo'n 3000 hectare per jaar maait bedragen moet een loonwerker €1,67 per hectare meer vragen per hectare aan de klanten om de sensoren in één jaar terug te kunnen verdienen. Het gemiddelde loonwerkertarief dat wordt gevraagd bedraagt €24,-/hectare (KWIN, 2017). Wanneer een loonbedrijf de aanschafwaarde dan ook volledig doorrekent naar dit tarief wordt het hectaretarief verhoogd met 7% (6,95%).

3.4.2 Fritzmeier Isaria Sensor

De aanschafwaarde van een Fritzmaier Isaria bedraagt €8,000,-. Wanneer er weer vanuit wordt gegaan dat een gemiddelde loonwerker in Nederland zo'n 3000 hectare per jaar maait moet een loonbedrijf €2,67 per hectare meer vragen per hectare om de Fritzmaier Isaria sensor in één jaar terug te kunnen verdienen. Wanneer een loonwerker de aanschafwaarde dan ook direct doorrekent naar het gemiddelde hectaretarief van €24,-/ha neemt dit tarief toe met meer dan 11%.

3.4.3 eBee Sensefly Ag

Hieronder in tabel 20 is het prijsformat opgesteld voor het uitvoeren van dronevlucht door de Topfly Ebee dienst van Agrifirm en de Dronewerkers.

Tabel 20: Kostenformat eBee drone

Starttarief per vlucht incl.	
Aanvraag vergunning	€ 180,00
Voorrijtarief	
Opstarttarief	
Verwerking data	
Starttarief tweede perceel binnen 10 km	€ 135,00
Starttarief derde perceel binnen 10 km	€ 90,00
Hectare tarief afhankelijk van individuele perceelgroottes	
1 – 14 ha	€17,50 per ha
15 – 29 ha	€ 16,00 per ha
30 – en meer ha	€ 14,50 per ha

Wanneer een melkveehouder dus een vlucht wil laten uitvoeren voor een perceel van 15 hectare bedragen de kosten hiervoor €28,- per hectare ($€16,00 + (€180/15)$). De gemiddelde kosten voor een dronevlucht zullen dan ook tussen de €25,- en €30,- per hectare liggen.

4. Discussie

Dit onderzoek is uitgevoerd om te kijken naar de praktische toepassing van gewassensoren in de grasteelt voor de ruwvoerwinning. Hierbij zijn resultaten verzameld door onder andere te kijken naar de correlaties tussen de sensordata van de gewassensoren en de kwaliteits- en kwantiteitsparameters van het gras. In dit hoofdstuk zijn per deelvraag de resultaten beschreven en kritisch belicht. Vervolgens is in dit hoofdstuk nog een kritische reflectie gegeven op het onderzoeksproces en de onderzoeksmethode.

4.1 Greenseeker Rt100 en grasdata

Voor het beantwoorden van de eerste deelvraag is er gekeken naar de correlaties tussen de sensorwaarden van de Greenseeker Rt100 en de opbrengst droge stof en ruw eiwit voor de 9 monsterpunten voor de percelen “Vd Anker” en “Van Rooijen”. Uit de resultaten is naar voren gekomen dat bij twee van de vijf metingen op snede-niveau er een sterke positieve correlatie is aangetoond tussen de opbrengst droge stof en de sensorwaarden van de Greenseeker. De overige twee metingen lieten redelijke positieve niet significante relaties zien en één meting liet een zwakke tot redelijke niet significante correlatie zien. Wat betreft de correlatie tussen de opbrengst ruw eiwit en de sensordata op snede-niveau is bij één meting een positieve sterke significante correlatie aangetoond en zijn de correlaties bij de andere metingen niet significant. Van deze niet significante correlaties zijn twee metingen redelijk sterk positief gecorreleerd en is één meting redelijk en negatief gecorreleerd. Wanneer er op perceelsniveau wordt gekeken naar “Vd Anker” zijn zowel de opbrengst droge stof en ruw eiwit sterk positief en significant gecorreleerd aan de sensordata van de Greenseeker. Wat betreft het perceel “Van Rooijen” is de opbrengst droge stof sterk positief en significant gecorreleerd aan de sensordata. De opbrengst ruw eiwit is voor dit perceel op perceelsniveau positief en redelijk gecorreleerd, maar niet significant. Uit deze resultaten blijkt dat er zeker significante correlaties zijn gevonden tussen voornamelijk de opbrengst droge stof en de sensordata. Dit is echter wel wat verraderlijk. Bij de metingen van de sneden is namelijk te zien dat er bij de droge stof ook een negatieve correlatie is gevonden. Deze wordt er als het ware “uitgefilterd” bij de metingen op perceelsniveau. Het is dan ook de vraag hoe het kan dat bij deze meting het droge stof gehalte juist negatief gecorreleerd is. Daarnaast is een kritisch aspect dat er per perceel slechts negen monsterplekken zijn waarop de correlatie bepaald wordt. Op perceelsniveau zijn dit voor “Vd Anker” 27 plekken (3 sneden) en voor “Van Rooijen” 18 plekken (2 sneden). Verder blijkt op basis van de sensordata dat deze een relatief kleine spreiding heeft, wat invloed kan hebben op het onderscheidend vermogen van de sensor.

4.2 Fritzmeier Isaria en grasdata

Voor het beantwoorden van de tweede deelvraag is er gekeken naar de correlaties tussen de sensorwaarden (IRMI en IBI) van de Fritzmeier Isaria gewassensor en de opbrengst droge stof en ruw eiwit. Uit de resultaten is naar voren gekomen dat bij zowel de gewasindex IRMI als de IBI er een sterke positieve correlatie is met de opbrengst droge stof en met de opbrengst ruw eiwit. Bij deze uitkomst zijn ook echter wat kritische noten te plaatsen. Doordat de sensor bij de eerste snede niet goed gemonteerd was en het tweede perceel niet meer geschikt was voor het onderzoek door beweiding is er slechts van één perceel van één snede sensordata verzameld. Er is dan ook geen referentie met sensordata van de Fritzmeier met de andere percelen of andere sneden. Verder is relevant dat de variatie in gewasstand op dit perceel tijdens het maaien van de tweede snede ook aanzienlijk was. Het gras is voor de meting gemaaid in een wat drogere periode en door verschillen in grondsoort en variatie in de vochthuishouding was deze variatie dan ook zeker aanwezig. Het is dan ook aannemelijk dat dit een redelijk grote invloed heeft gehad op de sensormetingen en het “makkelijker” voor de sensor was om de slechte en goede te onderscheiden. Dit was bij minder variatie in het gewas dan waarschijnlijk ook moeilijker geweest. Daarnaast zijn zoals gezegd negen metingen perceel ook aan de lage kant. Echter, de resultaten en correlaties zijn wel erg strak en het is dan ook een mogelijkheid dat de Fritzmeier Isaria zeker potentie heeft.

4.3 eBee Sensefly en grasdata

Voor het beantwoorden van de derde deelvraag is er gekeken naar de correlaties tussen de sensorwaarden van de eBee (NDVI, WdVI, NDRE & CCCI) en de opbrengst droge stof en ruw eiwit. Wanneer er op snede-niveau naar de eerste snede wordt gekeken voor "Vd Anker" zijn er voor alle gewasindexen sterke significante correlaties gevonden met de opbrengst droge stof en ruw eiwit. Deze zijn allen positief, behalve voor de correlaties van de NDVI met de opbrengst droge stof en ruw eiwit. Bij de eerste snede bij "Van Rooijen" is er een significante negatieve correlatie gevonden tussen de NDVI en de opbrengst droge stof. Wat betreft de eerste snede bij Van Drunen zijn de NDRE en de CCCI sterk positief gecorreleerd en significant aan de opbrengst ruw eiwit en opbrengst droge stof. Wat betreft de eerste snede voor het perceel "Vermeer" zijn er zwakke tot geen correlatie naar voren gekomen. Voor de tweede snede is er bij "Vd Anker" een sterke significante en positieve correlatie gevonden tussen de opbrengst ruw eiwit en de NDVI. Bij het perceel "Van Rooijen" is er een significante correlatie gevonden tussen opbrengst droge stof en de WdVI. Wat betreft de derde snede is er bij het perceel "Vd Anker" een sterke positieve correlatie gevonden tussen de opbrengst droge stof en de NDRE en de CCCI, waarbij deze correlaties ook significant zijn. Op perceelsniveau zijn er bij het perceel "Van Drunen" drie significante correlaties gevonden die ook sterk gecorreleerd zijn. Dit is de NDRE met de opbrengst ruw eiwit en droge stof en de CCCI met de opbrengst ruw eiwit. Verder is alleen nog bij het perceel "Van Rooijen" de WdVI significant en sterk gecorreleerd met de opbrengst ruw eiwit.

De resultaten van de correlaties van de eBee in relatie tot de grasdata zijn toch wel opvallend te noemen. Zo meet de Greenseeker Rt100 net zoals de eBee de NDVI, maar zijn met de Greenseeker met minder metingen meer positief sterke en significante correlaties gevonden met de opbrengst droge stof. In het histogram van de NDVI-data van de eBee is ook te zien dat de spreiding van deze data ook zeer klein is en de kans op verzadiging ook groot is bij een vol gewas. Ook bij de overige indexen NDRE, WdVI en CCCI komen er weinig correlaties naar voren wat betreft de eBee. Dit is enigszins opmerkelijk te noemen, aangezien deze sensor over moderne techniek beschikt dan de Fritzmaier Isararia en de Greenseeker Rt100. De eBee lijkt op basis van deze resultaten dan ook weinig geschikt om inzicht te krijgen in de kwaliteit- en kwantiteitsparameter van gras. Echter, er zijn in dit onderzoek wel te weinig monsterlocaties onderzocht om dit volledig betrouwbaar te kunnen concluderen.

4.4 Kosten en baten gewassensoren

Voor het beantwoorden van de vierde deelvraag is er naar het financiële aspect gekeken van de praktische toepassing van de sensoren in de melkveehouderij. Uit de resultaten is gebleken dat wanneer loonbedrijven de sensorkosten binnen één jaar willen terugverdienen het hectaretarief voor maaien minimaal met 7% zal stijgen. Wat betreft het uitvoeren van een dronevlucht met een eBee zijn de kosten minimaal €25,-. Wat betreft de baten van de gewassensoren zijn deze op basis van resultaten uit de vorige deelvragen nog niet betrouwbaar vast te stellen. Wel zijn er significante en sterke correlaties gevonden bij de NDVI-Greenseeker en met name de Fritzmaier, maar deze zijn nog niet constant genoeg om vast te stellen dat met deze sensoren betrouwbaar inzicht kan worden verkregen in kwaliteit- en kwantiteitsparameters van gras. Hiervoor zijn zoals gezegd ook meer metingen nodig. Dit komt overigens wel overeen met literatuuronderzoek, waaruit blijkt dat er nog geen praktijkrijp concept beschikbaar om met gewassensoren actuele informatie te verzamelen van het gras in de ruwvoerwinning en hierop in te spelen. Investeren in dergelijke sensoren lijkt dan ook nog een brug te ver voor loonbedrijven. Ditzelfde geldt ook voor het laten uitvoeren van dronevluchten door melkveehouders, aangezien de meerwaarde hiervan ook nog niet goed duidelijk is.

4.5 Reflectie uitvoering onderzoek

Met betrekking tot het onderzoeksproces en de planning is het onderzoek wel grotendeels gelopen zoals deze ook in de planning beschreven stond. Voor iedereen die betrokken was bij het onderzoek was ook duidelijk wat zijn of haar taak was en kon deze dan ook goed uitvoeren. De communicatie verliep ook goed in het onderzoek ondanks dat er verschillende partijen betrokken waren (Agrifirm, loonbedrijven, melkveehouders en leveranciers sensoren) en dit is dan ook gelijk het sterkste punt van het onderzoek. Af en toe was er wel eens een probleem met de beschikbaarheid van personen om de grasdata-metingen te kunnen uitvoeren maar door een goede communicatie en snel schakelen kon dit goed opgelost worden.

Echter hebben zich er wel een aantal aspecten in het proces voorgedaan die uiteindelijk wel invloed hebben gehad op de resultaten, maar moeilijk voorkomen hadden kunnen worden. Zo zijn er bij het maaien van de eerste snede met de Fritzmeier Isaria Sensor alleen onbetrouwbare metingen uitgevoerd, doordat de sensor door Abémec verkeerd op de maaier was geplaatst. Hierdoor konden alleen betrouwbare metingen worden uitgevoerd met deze sensor voor de tweede snede. Hierbij kwam ook nog dat de melkveehouder van het perceel “Vermeer” na de eerste snede besloot om het grasperceel te gaan beweiden. Dit alles heeft er in geresulteerd dat er maar van één snede van één perceel betrouwbare metingen zijn uitgevoerd met de Fritzmeier Isaria gewassensor. Verder is er bij het maaien van derde snede van het perceel “Van Rooijen” niet gescand met de Greenseeker door een probleem met de trekker van het loonbedrijf. Dit zijn allemaal onvoorziene omstandigheden geweest in het onderzoek die zeker invloed hebben gehad op de meetresultaten, maar moeilijk te voorkomen waren.

Met betrekking tot de onderzoeksmethode is het aantal metingen per perceel wel een aspect wat onverwachte resultaten zou kunnen verklaren. Doordat slechts op negen monsterlocaties per perceel de grasdata is bepaald en op basis hiervan correlaties zijn gelegd met de sensordata is de kans op onverwachte resultaten ook groter. Echter is de keerzijde hiervan weer dat het doen van meer metingen arbeidsintensief is en veel tijd in beslag neemt. Het is dan ook niet altijd mogelijk om veel metingen te doen.

5. Conclusies en aanbevelingen

De ruwvoerproductie vormt één van de belangrijkste productiefactoren van een melkveebedrijf. Verbeteringen in deze productie heeft dan ook direct betrekking op het uiteindelijke bedrijfsresultaat. Om een dergelijke verbetering te realiseren moet een melkveehouder gedurende de ruwvoerteelt actuele data over het gewas ter beschikking hebben om ook te kunnen sturen op de kwaliteit- en kwaliteitsparameters. Er is dan ook in dit onderzoek bepaald of commerciële gewassensoren praktisch toepasbaar zijn in de grasteelt in de ruwvoerwinning. Hieronder zijn de conclusies en aanbevelingen weergegeven.

5.1 Conclusie deelvraag 1

Deelvraag 1 luidt als volgt: *“Is er een correlatie tussen de sensordata van de Greenseeker RT100 en de meest relevante kwantiteits- en kwaliteitsparameters van het gras?”*

Er is een sterke significante correlatie gevonden tussen de sensordata van de Greenseeker en de opbrengst droge stof op perceelsniveau. Op snede-niveau echter is er ook een negatieve correlatie gevonden tussen de opbrengst droge stof en de sensordata van de Greenseeker. Geconcludeerd kan dan ook worden dat er geen betrouwbare correlatie is tussen deze data, maar dat het ook niet onwaarschijnlijk is dat er wel een relatie aanwezig is tussen de opbrengst droge stof en de sensordata van de Greenseeker.

5.2 Conclusie deelvraag 2

Deelvraag 2 luidt als volgt: *“Is er een correlatie tussen de sensordata van de Isaria Fritzmeier en de meest relevante kwantiteits- en kwaliteitsparameters van het gras?”*

Uit de resultaten blijkt dat zowel voor de gewasindexen IRMI en IBI er sterke tot zeer sterke significante correlaties zijn gevonden met de opbrengst droge stof en ook met de opbrengst ruw eiwit. Echter zijn er alleen betrouwbare metingen gedaan voor één snede en dus negen monsterpunten voor een perceel met veel variatie. Deze omstandigheden en het aantal metingen zijn niet voldoende om te kunnen concluderen dat er een betrouwbare correlatie is tussen deze data. Het lijkt echter wel aannemelijk dat deze sensor zeker wel potentie heeft.

5.3 Conclusie deel vraag 3

Deelvraag 3 luidt als volgt: *“Is er een correlatie tussen de sensordata van de eBee Ag Sensefly en de meest relevante kwantiteits- en kwaliteitsparameters van het gras?”*

Uit de resultaten blijkt niet dat er betrouwbare correlaties aanwezig zijn tussen de sensordata van de ebee en de grasdata. De metingen per perceel zijn te weinig, maar er kan wel geconcludeerd worden dat het niet aannemelijk is dat de eBee van toegevoegde waarde is in de grasteelt.

5.4 Conclusie deelvraag 4

Deelvraag 4 luidt als volgt: *“Wat zijn de kosten en baten voor toepassing van de sensoren voor de doelgroepen van het onderzoek ?”*

De maaikosten zullen voor een melkveehouder met minimaal 7% per hectare toenemen als een loonwerker een dergelijke sensor aanschafft. De kosten voor een dronevlucht bedragen zo’n €25,- per hectare. De absolute meerwaarde van een sensor kunnen op basis van de onderzoeksresultaten nog niet concreet in beeld worden gebracht.

5.5 Conclusie en beantwoording hoofdvraag

De hoofdvraag luidt als volgt: *“Hoe kunnen gewassensoren worden ingezet gedurende het groeizoen in de grasteelt voor ruwvoerwinning met een realistisch verdienmodel voor melkveehouder en loonwerker?”*

Wanneer er naar de gewassensoren op zichzelf wordt gekeken lijken de Greenseeker Rt100 en de Fritzmaier Isaria gewassensor het meest interessant. Deze laten de meeste correlaties zien met opbrengst droge stof of ruw eiwit. Van vitaal belang voor loonwerker en melkveehouder is wat de concrete meerwaarde van een sensor is. Deze kan op basis van de onderzoeksresultaten nog niet aangetoond worden en een praktijkrijp concept is dan ook nog niet aanwezig. Wanneer namelijk niet duidelijk is waar precies de meerwaarde van een sensor ligt zal een melkveehouder niet meer betalen en zal een loonwerker ook niet investeren in een dergelijke commerciële gewassensor. Echter, de gewassensoren Fritzmaier Isaria en de Greenseeker laten bij verschillende resultaten wel potentie zien. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen of op termijn dergelijke gewassensoren meerwaarde hebben voor de ruwvoerteelt en de melkveehouderij.

5.6 Aanbevelingen

Op basis van de resultatenanalyses en gedane conclusies kunnen de volgende aanbevelingen gedaan worden.

- Uit de analyses van de sensordata blijkt dat verzadiging een centraal probleem is. Dit komt omdat er gemeten wordt tijdens het maaien wanneer er een “vol” gewas staat. Een oplossing zou kunnen zijn om in een eerder stadium het gewas te scannen met een gewassensor. Echter is hierbij weer het probleem dat in de grasteelt voor ruwvoer niet op een eerder moment door het gewas wordt gereden dan tijdens het maaien en een drone is financieel niet aantrekkelijk. Een aanbeveling is dan ook om te kijken naar satellietbeelden.
- Een volgende aanbeveling is ook om een vervolgonderzoek te doen naar de Fritzmaier Isaria gewassensor in relatie tot de kwantiteit- kwaliteitsparameters van gras. Er is in dit onderzoek maar één snede betrouwbaar gemeten met deze sensoren, maar dit gaven wel sterke significante correlaties en biedt ook zeker potentie.
- Bij een vervolgonderzoek ook kijken naar de variatie in de bodem. In dit onderzoek is feitelijk alleen naar variatie in het gewas gekeken op basis van de gewassensoren. Het kan ook veel informatie opleveren om naar de oorzaken te kijken, zodat een melkveehouder ook weet of hij hier plaatsspecifiek op kan sturen.
- Wanneer er een vervolgonderzoek plaatsvindt is aanbeveling om per perceel meer monsterlocatie te bepalen wanneer dit arbeittechnisch ook mogelijk is. Zo wordt er onder dezelfde omstandigheden en voor dezelfde grassoort meer data verzameld. Dit komt de betrouwbaarheid van de resultaten ten goede.
- De laatste aanbeveling is om bij een vervolgonderzoek ook de opbrengst plaatsspecifiek te bepalen met een opraapwagen om te onderzoeken of dit overeenkomt met de gemeten variatie van de gewassensor. Zo kan er ook onderzocht worden of er op basis van de gewassensor een bemestingstaakkaart opgeleverd kan worden waarmee dus plaatsspecifiek gestuurd kan worden gedurende de grasteelt voor ruwvoerwinning.

Bronnenlijst

- Aarts, H., Hilhorst, G., Sebek, L., Smits, M., & Oenema, J. (2007). *De ammoniakemissie van de Nederlandse melkveehouderij bij een management gelijk aan dat van de deelnemers aan 'Koeien en Kansen'*. Wageningen: Wettelijke Onderzoekstaken natuur & milieu.
- Buiten, H., & Clevers, J. (1990). *Remote Sensing, theorie en toepassingen van landopbservatie*. Wageningen: Centrum voor landbouwpublicaties en landbouw.
- Bunnik, N. (1977). *The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties*. Wageningen: Landbouwhogeschool Wageningen.
- Carter, G., & Knapp, A. (2001). *Leaf optical properties in higher plants; linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration*. Botanical Society of America .
- CBS. (2016, 12 12). *Fosfaatplafond voor tweede keer op rij overschreden*. Opgeroepen op Januari 16, 2018, van CBD: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/50/fosfaatplafond-voor-tweede-keer-op-rij-overschreden>
- Clevers, J. (1989). The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimated leaf area index by correcting for soil moisture . *Remote Sensing Environment* , 25-37.
- Doorn, P., & Rhebergen, M. (1998). *Statistiek voor Historici*. Opgehaald van Universiteit Leiden: <http://www.let.leidenuniv.nl/history/RES/stat/html/les10.html>
- Dorigo, W., Zurita-Milla, R., de Wit, A., Brazile, J., Singh, R., & Schaepman, M. (2007). A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 165-193.
- Eitel, J. E., Keefe, R. F., Long, S. D., Davis, A. S., & Vierling, L. A. (2010). Active Ground Optical Remote Sensing for Improved Monitoring of Seedling Stress in Nurseries. *Sensors*, 2843-2850.
- Eurofins Agro. (2015). *Gehaltes P in ruwvoer niet leidend voor excretie*. Opgeroepen op Januari 17, 2018, van Eurofins Agro: <http://eurofins-agro.com/nl-nl/expertise/voederwaarde/artikelen/gehaltes-p-ruwvoer-niet-leidend-voor-excretie>
- Eurofins Agro. (2018). *Eurofins Agro*. Opgehaald van Eurofins Agro: <http://eurofins-agro.com/nl-nl/>
- Fitzgerald, G., Rodriguez, D., & O'Leary, G. (2010). Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index—The canopy chlorophyll content index (CCCI). *Field Crops Research*, 318-324.
- Flight Evolved. (2016). *Sensefly ebee Drone*. Opgehaald van Flight Evolved: <http://flight-evolved.com/sensefly-ebbee-drone/>
- Fritzmeier Umwelttechnik. (2013). *Press Photos*. Opgehaald van Fritzmeier Umwelttechnik: <http://fritzmeier-umwelttechnik.com/press-photos/?lang=en>
- Hazeu, G., & Wamelink, G. (2004). *Ruimtelijke vergelijking van gemodelleerde biomassa met NDVI. Onderzoek ter verbetering van de modellering in de Natuurplanner van het Natuurplanbureau*. Wageningen: Alterra .
- Hoving, I., Kempenaar, C., Heijting, S., Been, T., Philipsen, A., Vlemminx, H., . . . Hermans, G. (2015). *Grasmaïssignaal: adviesstelsysteem precisielandbouw melkveehouderij*. Wageningen: Wageningen UR Livestock Research.
- Kempenaar, C., & Kocks, C. (2013). *Van precisielandbouw naar Smart Farming Technology*. Dronten: Kenniscentrum Agrofood en ondernemen, Kenniscentrum Precisielandbouw.
- Kikkert, A. (2009). *Sensingsystemen voor bodem en gewas ten behoeve van precisielandbouw*. HLB Research and consultancy in agriculture.
- Klop, A., de Jonge, L., & Brandsma, G. (2008). *Eiwitwaarde vers gras , Protein evaluation fresh grass*. Wageningen: Animal Science Group Wageningen UR.
- Kooistra, L. (2011). *Verificatie remote versus near sensing voor toepassingen in precisielandbouw*. Wageningen: Wageningen Universiteit, departement Omgevingswetenschappen.
- KWIN. (2017). *Kwantitatieve Informatie Melkveehouderij*. Wageningen University & Research.
- Lentz, J. (2017, Oktober 10). *Melkrobot bij kwart Nederlandse melkveehouders*. Opgeroepen op December 7, 2017, van Veehouderij techniek: <https://www.mechaman.nl/veehouderij-techniek/2017/10/10/melkrobot-bij-kwart-nederlandse-melkveehouders/>

- Meuleman, J., Schut, A., & Smits, M. (2006). *Measuring the yield map; technische mogelijkheden voor verbetering van graslandproductiviteit*. Wageningen: Plant Research International B.V.
- Mutanga, O., & Skidmore, A. K. (2004). Hyperspectral band depth analysis for a better estimation of grass biomass (*Cenchrus ciliaris*) measures under controlled laboratory conditions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 87-96.
- Peteinatos, G. G., Korsath, A., Berge, T. W., & Gerhards, R. (2016). Using optical sensors to identify water deprivation, nitrogen shortage, weed presence and fungal infection in wheat. *Agriculture*, 1-26.
- Ros, G., & Bussink, D. (2012). *Ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen voor bijmesten van gewassen*. Wageningen: Nutriënten management instituut nmi bv.
- Ros, G., Ouwehand, G., van der Draai, H., & Bussink, D. (2013). *Naar de ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen voor het bijmesten van gewassen; Resultate veldonderzoek 2012*. Wageningen: Nutriënten Management Instituut NMI B.V.
- Rutten, C., Velthuis, A., Steeneveld, W., & Hogeveen, H. (2013). *Invited review: Sensors to support health management on dairy farms*. American Dairy Association.
- RVO. (2017). *Fosfaatrechten- algemene informatie*. Opgeroepen op Januari 16, 2018, van RVO: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mest/mest/fosfaatrechten/fosfaatrechten-algemeen>
- Schut, A., Hendriks, M., Van Evert, F., Hoving, K., Stienezen, M., Holshof, M., . . . Meuleman, J. (2004). Non-Destructive Assessment of Dry Matter Yield, Nutrient Content and Feeding Value of Grass Swards with Imaging Spectroscopy. *Proceedings of the 7th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management*. Department of Spatial Sciences.
- Steeneveld, W., & Hogeveen, H. (2015). Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *Journal of Dairy Science*, 709-717.
- Stevens, R. (2017, Juli 21). *Koe benut minder dan helft ruwvoer*. Opgeroepen op Januari 11, 2018, van Melkvee100plus: <http://www.melkvee100plus.nl/Artikelen/Management/2017/7/Koe-benut-minder-dan-helft-ruwvoer-153130E/?intcmp=navigatiepijlen>
- Stienezen, M., Kasper, G., Holshof, G., Molema, G., Schut, A., Meuleman, J., & Smiths, M. (2005). *Snelle meetmethoden als managementinstrument bij de teelt van ruwvoer*. Wageningen: Animal Science Group Wageningen UR.
- Thibaudier, P. (2016, 2 6). Slimmer boeren met een grasmeter. (A. v. Ginkel, Interviewer)
- Tucker, C. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of environment*, 127-150.
- Vantage Agrometius. (2018). *Greenseeker gewassensor*. Opgehaald van Vantage Agrometius: <https://www.vantage-agrometius.nl/product/greenseeker-gewassensor/>
- Wathes, C., Kristensen, H., Aerts, J.-M., & Berckmans, D. (2008). Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *computers and electronics in agriculture* 64, 2-10.

Bijlage 1. Stappenplan/protocol dataverzameling en data-analyse onderzoek per grassnede

	titel/onderwerp	Stappenplan dataverzameling en data-analyse onderzoek per grassnede
	Doel	Gestructureerde methodiek voor dataverzameling en analyse voor betrouwbaar onderzoek

Stappen	Tijdspad	Verantwoordelijke
1. Ebee vlucht onderzoeksperceel	Zo kort mogelijk voor maaien	Vlucht wordt uitgevoerd door Dronewerkers
2. Op basis van variatie in eBee-data negen monsterlocaties bepalen per onderzoeksperceel	Direct nadat eBee-data beschikbaar is	Agrifirm
3. Maaïen en sensordata verzamelen tijdens maaïen (2 percelen greenseeker Rt100 en 2 percelen met Fritzmeier Isaria).	nvt	Maaïwerkzaamheden worden verricht door desbetreffende loonwerker. Data van sensor wordt op USB gezet en verwerkt door Agrifirm
4. Monsterlocaties uitzetten met landbouwpiketten en meetlint en vastleggen met Nomad GPS. Dit is per monsterlocatie de breedte van de frontmaaier (3m) x 6 m lengte (18m ²).	Direct na maaïen	Agrifirm
5. Vers gras opbrengst per monsterlocatie bepalen met bak en bagageweger.	Direct na maaïen	Agrifirm
6. Van elke monsterlocatie wordt een vers gras monster genomen en in een monsterzakje gedaan.	Direct na maaïen	Agrifirm
7. Monster wordt volgens een volledige vers gras analyse geanalyseerd	Enkele dagen tussen afleveren monsters en uitslag analyses	Eurofins Agro
8. Alle verzamelde sensordata en grasdata wordt verwerkt en geanalyseerd.	Zo snel mogelijk met betrekking tot mogelijk vervolg onderzoek	Agrifirm

Bijlage 2: Toestemmingsformulier tot opname en beschikbaarstelling afstudeerwerkstukken in repository

Je staat op het punt je afstudeerwerkstuk in te leveren. Je hebt daarbij misschien wel dankbaar gebruik gemaakt van afstudeerwerkstukken van je voorgangers. Ook jouw afstudeerwerkstuk kan van belang zijn voor volgende afstudeerders of misschien wel voor jouw (inter)nationale vakgebied. Daarom willen we jouw product opnemen in een databank die full tekst toegang biedt aan derden. Daarvoor hebben we wel jouw toestemming als auteur nodig.

Let op!

Gezien bovenstaande is elk afstudeerwerkstuk in principe openbaar. Tenzij er zwaarwegende argumenten voor geheimhouding zijn.

Aeres Hogeschool Dronten en Almere heeft een digitale kennisbank (repository) waarin Aeres Hogeschool Dronten en Almere afstudeerwerkstukken die door studenten in het kader van hun studie aan de Hogeschool hebben geschreven, toegankelijk worden gemaakt voor derden. Hierdoor wordt het proces van creatie, verwerving en deling van kennis binnen het onderwijs mogelijk gemaakt en ondersteund.

De in de kennisbank opgenomen afstudeerwerkstukken zullen gedurende minimaal zeven jaar in de kennisbank worden opgenomen en toegankelijk worden gemaakt voor potentiële gebruikers binnen en buiten Aeres Hogeschool Dronten en Almere. Om opname en beschikbaarstelling mogelijk te maken dient dit Toestemmingsformulier.

Door opname en beschikbaarstelling in de digitale kennisbank wordt het auteursrecht niet overgedragen. Daarom kan de student zijn of haar toestemming tot het beschikbaar stellen van zijn afstudeerwerkstuk intrekken.

Rechten en plichten student

De student verleent aan Aeres Hogeschool Dronten en Almere kosteloos de niet-exclusieve toestemming om zijn afstudeerwerkstuk op te nemen in de digitale kennisbank en om dit afstudeerwerkstuk beschikbaar te stellen aan gebruikers binnen en buiten Aeres Hogeschool Dronten en Almere. Hierdoor mogen gebruikers het afstudeerwerkstuk geheel of gedeeltelijk kopiëren en bewerken. Gebruikers mogen dit alleen doen en de resultaten publiceren indien dit gebeurt voor eigen studie en/of onderwijs- en onderzoeksdoeleinden en onder de vermelding van de naam van de student en de vindplaats van het afstudeerwerkstuk.

Afstudeerwerkstukken die als vertrouwelijk moeten worden beschouwd, worden niet opgenomen in de repository.

De toestemming om de afstudeerwerkstuk aan derden beschikbaar te stellen, gaat in per onderstaande datum.

De student geeft Aeres Hogeschool Dronten en Almere het recht de toegankelijkheid van het afstudeerwerkstuk te wijzigen en te beperken indien daar zwaarwegende redenen voor bestaan.

De student verklaart dat de stage-biedende organisatie dan wel de opdrachtgever van het afstudeerwerkstuk geen bezwaar heeft tegen opname en beschikbaarstelling van het afstudeerwerkstuk in de repository.

Verder verklaart de student dat toestemming is verkregen van de rechthebbende van materiaal dat de student niet zelf gemaakt heeft om dit materiaal als onderdeel van de afstudeerwerkstuk op te nemen in de digitale kennisbank en aan derden binnen en buiten Aeres Hogeschool Dronten en Almere beschikbaar te stellen.

De student geeft Aeres Hogeschool Dronten en Almere het recht het afstudeerwerkstuk op te nemen in de digitale kennisbank en ter beschikking te stellen voor een periode van minimaal zeven jaar.

Rechten en plichten Hogeschool

De door de student verleende niet-exclusieve toestemming geeft Aeres Hogeschool Dronten en Almere het recht het afstudeerwerkstuk aan gebruikers binnen en buiten Aeres Hogeschool Dronten en Almere beschikbaar te stellen.

Aeres Hogeschool Dronten en Almere mag verder het afstudeerwerkstuk voor gebruikers binnen en buiten Aeres Hogeschool Dronten en Almere vrij toegankelijk maken voor een gebruiker van de digitale kennisbank en mag deze gebruiker toestemming geven om het afstudeerwerkstuk te kopiëren en te bewerken. Gebruikers mogen dit alleen doen en de resultaten publiceren indien dit gebeurt voor eigen studie en/of onderwijs- en onderzoeksdoeleinden en onder de vermelding van de naam van de student en de vindplaats van het afstudeerwerkstuk.

Aeres Hogeschool Dronten en Almere zal ervoor zorgen dat vermeld wordt wie de schrijver is van het afstudeerwerkstuk waarbij zij tevens aangeeft dat bij gebruik van het afstudeerwerkstuk de herkomst hiervan duidelijk vermeld moet worden. Aeres Hogeschool Dronten en Almere zal duidelijk maken dat voor ieder commercieel gebruik van het afstudeerwerkstuk toestemming van de student nodig is.

Aeres Hogeschool Dronten en Almere heeft het recht de toegankelijkheid van het afstudeerwerkstuk te wijzigen en te beperken indien daar zwaarwegende redenen voor bestaan.

Rechten en plichten gebruiker

Door dit Toestemmingsformulier mag een gebruiker van de digitale kennisbank het afstudeerwerkstuk geheel of gedeeltelijk kopiëren en/of geheel of gedeeltelijk bewerken. Gebruikers mogen dit alleen doen en de resultaten publiceren indien dit gebeurt voor eigen studie en/of onderwijs- en onderzoeksdoeleinden en onder de vermelding van de naam van de student en de vindplaats van het afstudeerwerkstuk.

Toestemming:

Ik : Joep Kools

.....

☐ Geef toestemming voor opname van mijn afstudeerwerkstuk in repository

Datum 01-06-2018

.....

Opleiding Tuin- en akkerbouw

.....

Major Tuin-en akkerbouw

.....

