

Afstudeerwerkstuk

Kilogrammen stikstof bepalen in weidegras met sensoren

*Onderdeel van het **Synchroflex** project*



Schothorst Feed Research
Research for Development



Door:	Ferry Tigchelhoff
Opleiding:	Agrotechniek & Management Aeres Hogeschool Dronten
Opdrachtgever:	NMI-agro Schothorst Feed Research
Afstudeerdocent:	dhr. C. Kocks
Datum:	28-03-2016

Afstudeerwerkstuk

Kilogrammen stikstof bepalen in weidegras met sensoren

Onderdeel van het Synchroflex project

Geschreven door:

Ferry Tigchelhoff 4BT

Student Agrotechniek & Management

Datum van publicatie:

28-03-2017

Plaats van publicatie:

Hulsen, gemeente Hellendoorn

Opgesteld voor:

NMI-agro, Wageningen

Schothorst Feed Research, Lelystad

Begeleidende medewerkers:

Dhr. Wim Bussink, NMI-agro

Mw. Gerjanne Doppenberg, NMI-agro

Mw. Lydia Kroon, Schothorst Feed Research

Dhr. Wilfried van Straalen, Schothorst Feed Research

Voorwoord

De reden voor mij om een onderwerp gerelateerd aan nutriënten en sensoren te kiezen komt voort uit de interesse in sensortechniek, gewasmonitoring en het verbeteren van de kringlopen binnen de landbouw. Met name de vraag óf sensoren daadwerkelijk kunnen meten wat laboratoriumanalyses kunnen bepalen, was voor mij reden om deel te nemen aan dit project. De probleemstelling binnen dit project komt voort uit het feit dat er beter om kan/moet worden gegaan met nutriënten. Milieu-, economische- en maatschappelijke aspecten komen hierin samen. De huidige, onder andere, ammoniak modellen kunnen worden uitgebreid door het huidige gebruik van nutriënten efficiënter te maken. Een (toekomstig) onderdeel daarvan zal de inzet van sensoren zijn.

Om mijn afstudeeropdracht/-onderzoek mogelijk te maken is er door verschillende partijen en mensen medewerking verleent. Allereest bedank ik dhr. Piet-Jan Thibaudier voor het beschikbaar stellen van de Pasture Reader ultrasone grashoogtemeter. Ook bedank ik graag de personen die fysieke medewerking hebben verleend aan het project. Waaronder de medewerkers van de Schothorst Feed Research voor de flexibele en leerzame samenwerking, in het bijzonder mw. Lydia Kroon en dhr. Wilfried van Straalen. Daarnaast bedank ik de medestudenten Rick Hensbergen en Paul Lugtenberg van Hogeschool Van Hall Larenstein graag voor de prettige samenwerking. Dhr. Wim Bussink en mw. Gerjanne Doppenberg van NMI-agro bedank ik eveneens voor de prettige en leerzame samenwerking, waarin Wim Bussink in het bijzonder voor de tijd en aandacht als begeleider van deze stageplek. Vanuit Aeres Hogeschool Dronten bedank ik dhr. Corné Kocks voor de begeleiding tijdens het afstuderen.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	6
Summary	7
1 Inleiding	8
1.1.1 Het Synchroflex project	8
1.1.2 NMI-agro.....	8
1.1.3 Schothorst Feed Research	8
1.1.4 Mijn project	8
1.2 Doelgroep	9
1.3 Hoofdstukindeling	9
2 Stikstof kringloop.....	11
2.1 Stikstofkringloop.....	11
2.1.1 Ammoniak.....	11
2.1.2 Ureum	11
2.1.3 Eiwitstofwisseling	12
3 Analyse sensoren	13
3.1 Biomassa sensor	13
3.1.1 Crop Circle red edge 3-bands spectraal sensor	14
3.2 Inhoud van een plant	14
3.3.1 Crop Scan 16-band multispectral sensor.....	15
3.3 Pasture Reader ultrasone grashoogtemeter	15
3.1.4 C-Dax grashoogtemeter	17
3.1.5 Jenquip plaatgrashoogtemeter	17
3.4 Combineren	17
4 Materiaal & Methode	18
4.1 Materiaal	18
4.2 Methode	18
4.2.1 Invulformat	18
4.2.1 Daadwerkelijke grasopbrengsten meten	19
4.2.2 Sensoren	19
4.2.3 Uitgevoerde analyses	22
5 Resultaten.....	24
5.1 Bepaling daadwerkelijke en gemeten N-hoeveelheid.....	24

5.1.1 Crop Circle	24
5.1.2 Crop Scan	27
5.1.3 Urineplekken spotten met dronebeelden.....	29
5.1.4 Camerabeelden in de weide en de stal.....	31
5.2 Bepaling daadwerkelijke en gemeten grashoeveelheid.....	31
5.2.1 Jenquip EC10 grashoogtemeter	32
5.2.2 Pasture Reader	34
5.3 Ervaring met de sensoren.....	35
5.4 Kunnen sensoren bepalen hoeveel gras wordt opgenomen.....	38
5.4.1 Relatie tussen koe sensor en grasopname (extern onderzoek).....	40
6 Discussie en conclusie	42
7 Aanbevelingen vervolgonderzoek	45
Bibliografie	47
Bijlage 1 Methoden voor het uitmaaïen als referentie	49
Bijlage 2: Invulformat in- en uitscharen	55
Bijlage 3 Opgenomen gras per koe per beweïdingsperiode	58
Bijlage 4: Gewogen kilogrammen vers gewicht + drogestof gewichten tov. Grashoogtemeter (GHM)60	
Bijlage 4.1 Tabellen met correlaties tussen de grashoogtemeter en kilogrammen vers gewicht en kilogrammen droge stof	61
Bijlage 5: Toegepaste formules Jenquip EC10 grashoogtemeter.....	63
Bijlage 6: Vergelijkingen Pasture Reader.....	64
Bijlage 7: Kolomweergave Crop Circle waarden in vergelijking met de ruw eiwit gehalten.....	65
Bijlage 8: Crop Scan formules, uitkomsten en vergelijkingen	67
Bijlage 9: Uitvergrootte afbeeldingen	69
Bijlage 10: Plattegrond perceel indeling De Schothorst met grassoorten	71
Bijlage 11: Materiaal en Methode Plan van Aanpak.....	73

Samenvatting

Als onderdeel van het Synchroflexproject is in opdracht van NMI-agro bij en in samenwerking met Schothorst Feed Research (SFR) een explorerend onderzoek gedaan naar de inzet van sensoren voor het bepalen van de hoeveelheid stikstof dat tijdens het beweiden door melkvee wordt opgenomen. Het doel van het onderzoek is om de ingezette sensoren te valideren voor eventuele inzet in het Synchroflexmodel of aanzet tot nader onderzoek. Het Synchroflex project probeert uit te gaan van een real-time bepaling en aanpassing van stikstof in het rantsoen, zowel in de stal als in de wei. Dit project heeft als doel om de emissie van ammoniak (NH_3) op melkveebedrijven met 10% te verlagen.

De hoofdvraag van het onderzoek was: Hoeveel stikstof neemt een koe op in de weide? Er zijn mogelijkheden om de vermoedelijke grasopname te berekenen en het is mogelijk om op arbeidsintensieve wijze met uitmaaiproeven de grasopname van een koe te bepalen. Het meten van de grasopname met sensoren is nog een explorerende manier van bepalen.

In het onderzoek is gewerkt met een plaatgrashoogtemeter (Jenquip EC10), een ultrasone grashoogtemeter (Pasture Reader), 3-bands N-sensor (Crop Circle) en een 16-bands N-sensor (Crop Scan). Bij wijze van test is er tijdens de proefperiode ook een drone met visuele- en NIR-camera ingezet om urineplekken in het perceel te spotten. Middels het uitmaaien van grasstroken in de proefpercelen zijn referenties opgezet om de sensoren te valideren. Uit de resultaten kan worden opgemaakt dat de inzet van sensoren om zowel grashoeveelheid als ruw eiwit te kunnen bepalen met sensoren veel belovend is. Op basis van gemiddelde waarden per meetperiode worden correlaties gehaald tot 92%. Met name voor de N-sensoren kunnen onderbouwde verbanden worden gelegd tussen ruw eiwit in het gras dat bepaald is met een laboratorium analyse en de meetwaarden van de sensoren. Echter zijn veel factoren naar voren gekomen die ervoor zorgen dat er onzekerheden en variaties te zien zijn in de vergelijkingen tussen de meetwaarden de sensoren en alle uitgevoerde metingen.

Het onderzoek zet aan tot een vervolgonderzoek, waarbij gericht kan worden ingegaan op de validatie van de sensoren met betrekking tot de grasopname tijdens de beweiding en het detecteren van beschikbare stikstof in de beweide percelen. Ondanks dat het doel van dit onderzoek was om te valideren of het mogelijk is om met sensoren de grasopname tijdens een beweidingsperiode te kunnen bepalen, is de validatie niet verder gekomen dan het bepalen van de grashoeveelheid voorafgaand aan het beweiden. Met dit onderzoek is aanleiding gegeven dat het mogelijk is om grasopbrengsten te bepalen met sensoren. Het bepalen van grasopname tijdens een beweiding is daarentegen nog niet bewezen. Hetzelfde geldt voor de N-sensoren. Er is aanleiding gevonden om aan te nemen dat N-sensoren kunnen bepalen hoeveel ruw eiwit er in gras aanwezig is. Het bepalen van de potentiële stikstofopname van het gras is nog niet doormiddel van de N-sensoren of dronebeelden gelukt.

Summary

As part of the Synchroflexproject, an exploratory study has been done by order of NMI-agro at and in cooperation with Schothorst Feed Research (SFR). The study has been conducted into the use of sensors for the determination of the amount of nitrogen that is taken by grazing cattle. The main goal of the study is to validate the sensors, which were used during the study, for implementation in the Synchroflexmodel or to encourage further research with these sensors. The Synchroflexmodel tries to develop a real-time determination of nitrogen content in both ration and the pasture. The main goal of the Synchroflexproject is to achieve a decrease of the ammonia emission at dairy farms of 10%.

The main question of this study is: How much nitrogen is taken by cattle in the pasture? There are possibilities to calculate the estimated grass intake and it is possible to determine the grass intake in a labour-intensive way by cutting trails by hand. Measuring the grass intake with sensors is still an explorative way of determining.

The sensors that were used in this study are: a plate sward height meter (Jenquip EC10), an ultrasonic sward height meter (Pasture Reader), 3-band N-sensor (Crop Circle) and a 16-band N-sensor (Crop Scan). During the trial period a drone with a visual- and NIR-camera was deployed to detect urine spots in the pasture as a test flight. Through cutting trials in the experimental plots, references were set to validate the sensors that were used during the trial. The results of the study show that the use of sensors to determine the grass quantity as well as the crude protein is promising. Based on the average measurements per trial period, correlations till 92% are achieved. In particular, for the N-sensors there are substantiated links between crude protein, which is determined by a laboratory analysis, and the measured values by the sensors. On the other hand it has become clear that there are many factors that cause uncertainties and variations between the sensor values and the actual outcomes of all measurements.

The study encourages further research to specifically validate the sensors regarding grass intake of the cattle in the pasture and to detect the available nitrogen left in the grazed pastures. Despite the aim of this study to validate the sensor possibilities to determine the total grass intake during the grazing period, the validation hasn't come any further than determining the grass quantity before the grazing period. Nevertheless this study has shown that it is likely to determine grass quantities with a sensor. Determining the by the cattle ingested nitrogen during a grazing period isn't proven yet. This also counts for the N-sensors. The study has shown to assume that N-sensors are able to determine the amount of crude protein in the grass. To determine the nitrogen uptake by the grass by the use of the tested sensors or a drone hasn't been proven yet.

1 Inleiding

Als onderdeel van het Synchroflexproject is in opdracht van NMI-agro bij en in samenwerking met Schothorst Feed Research (SFR) een explorerend onderzoek gedaan naar de inzet van sensoren voor het bepalen van de hoeveelheid stikstof dat tijdens het beweiden door melkvee wordt opgenomen. Het doel van het onderzoek is om de ingezette sensoren te valideren voor eventuele inzet in het Synchroflexmodel of aanzet tot nader onderzoek.

1.1.1 Het Synchroflex project

Het Synchroflex project probeert uit te gaan van een real-time bepaling en aanpassing van stikstof in het rantsoen, zowel in de stal als in de wei. *Dit project heeft als doel om de emissie van ammoniak (NH_3) op melkveebedrijven met 10% te verlagen. Om dit te realiseren worden twee bestaande modellen (een voederwaarderings- en ammoniakmodel) geïntegreerd in één instrument om de NH_3 -emissie van rantsoenen in beeld te brengen.*¹

1.1.2 NMI-agro

NMI is het enige onderzoek- en adviesbureau dat uitsluitend bodemkwaliteit in relatie tot groene functies als werkterrein heeft. Voortkomend als onderzoeksinstelling voor de meststoffenindustrie, heeft NMI zich ontwikkeld tot een gewaardeerd partner voor een breed scala stakeholders in de agribusiness en het landelijk gebied. Met haar kennis levert NMI een bijdrage aan kennisvraagstukken en applicaties in de domeinen landbouw, milieu en natuur. (NMI-agro)

“Vanuit onze passie voor de bodem en met respect voor het leven zetten wij onze kennis en kunde in. Onze klanten kunnen daarbij rekenen op onze onafhankelijkheid, betrokkenheid, integriteit en creativiteit”

1.1.3 Schothorst Feed Research

Schothorst Feed Research (SFR) is een onafhankelijk privaat kennis- en informatiecentrum voor diervoeding. SFR is er op gericht klanten te ondersteunen bij het ontwikkelen en implementeren van nutritionele kennis in profijtelijke en innovatieve diervoederconcepten die ook maatschappelijk acceptabel zijn. Onze internationale klanten worden bediend vanuit het hoofdkantoor en state-of-the-art faciliteiten te Lelystad in Nederland. De kracht van de organisatie is niet alleen dat zij haar oorsprong heeft in de diervoederindustrie, maar ook dat zij haar expertise richt op die industrie en de toeleveranciers. De unieke combinatie van expertise in verteringsfysiologie, grondstoffenkwaliteit, kwaliteitsmanagement, voederwaarderingsystemen en nutritionele behoeften van hoog productieve dieren en de voortdurende interactie met diervoederbedrijven over de hele wereld, maakt SFR tot een partner voor ambitieuze bedrijven in diervoedings- en humane voedingsketens. (Schothorst)

1.1.4 Mijn project

Het soort en hoeveelheid krachtvoer en dat wordt bijgevoerd aan het melkvee is afhankelijk van de kwaliteit van de kuil. Het nadeel van deze methode van meten is dat er wordt gewerkt met momentopnames, die vervolgens de stikstof (N) in- en output voor een heel jaar bepalen. Het gras dat in het weiland door de koeien kan worden opgehaald, kan momenteel niet op een snelle en eenvoudige manier worden gemeten. Het real-time bepalen van het aanwezige stikstof in het weidegras is daarom ook (nog) niet toegankelijk meetbaar. Aangezien stikstof wordt omgezet in het voor de koeien opneembare eiwit, maakt stikstof deel uit van een kringloop. Het teveel aan door de koe opgenomen stikstof verlaat de koe weer in de vorm van ureum dat zich in de urine bevindt. Ureum is de grootste veroorzaker van ammoniakvorming. Wanneer het mogelijk wordt om een overtollige eiwitopname door de koe terug te dringen, kan daarmee ook de ammoniakuitstoot worden teruggedrongen.

¹ Uit: model projectplan SBIR fase 2, blz. 1

Om de hoeveelheid te produceren NH_3 (ammoniak) te kunnen bepalen, zal met name de factor N (stikstof) van belang zijn om te kunnen meten. Stikstof is in het voerrantsoen aanwezig in de vorm van eiwitten. Doormiddel van kuilanalysegegevens kan worden bepaald hoeveel eiwitten/stikstof aanwezig is in de kuil voor de stalvoeding. Eventueel zou met een sensor wellicht tijdens het maaien kunnen worden bepaald hoeveel eiwit het gras bevat. Als er bijvoorbeeld met sensoren ook kan worden bepaald hoeveel stikstof aanwezig is in het weidegras, zou het mogelijk moeten zijn om het rantsoen met deze gedetailleerde gegevens op elkaar af te stemmen. Deze afstemming van voeding zal ervoor zorgen dat een overtollige N-opname door het dier wordt voorkomen, wat de productie van ammoniak aanzienlijk kan verlagen. Eventuele bijvoeding van eiwitten uit mineralen is dan mogelijk ook te optimaliseren.

Echter zijn er weinig beschikbare gegevens over bijvoorbeeld de betrouwbaarheid van sensoren die momenteel op de markt worden gebracht of in ontwikkeling zijn op het gebied van gemeten waarden. De praktijk maakt nog geen gebruik van instrumenten/techniek om de gras en N-opname te meten en te gebruiken als managementfunctie voor het stalrantsoen. Als onderdeel van het Synchroflex project zal worden onderzocht in hoeverre sensoren en technieken een bijdrage kunnen leveren voor het bepalen van de gehalten in het weidegras. Hierbij zal worden uitgezocht welke kwaliteit wordt geleverd door de sensoren en welke combinatie van sensoren wellicht een uitkomst kan bieden voor het meten van de beoogde gehalten. Uiteindelijk zal een praktisch werkbaar instrument moeten worden gevormd om de gras- / stikstofopname te kunnen bepalen / benaderen.

1.2 Doelgroep

De doelgroep voor dit onderzoek wordt met name in de landbouw gezocht. Veel agrarisch gerelateerde ondernemingen investeren of zijn bereid te investeren in precisie-/precieze landbouwtechniek. Maar vanwege het gebrek aan kennis en de beperkte mogelijkheden van toepassingen van de huidige techniek, worden vaak investeringen gedaan die niet kunnen waarmaken wat er wordt beloofd of men komt erachter dat de techniek niet toereikend is voor wat men daadwerkelijk wil meten/bepalen.

Met dit onderzoek willen we bepalen of het momenteel überhaupt mogelijk is om laboratorium analyses te benaderen/evenaren met sensortechnieken welke real-time in het veld toepasbaar zijn en bruikbare informatie kunnen weergeven over grasgroei, grashoogte en nutriënten in het gewas. Deze gegevens kunnen vervolgens een (zo mogelijk) dagelijks advies geven om de combinatie tussen weidegang en stalvoeding optimaal te laten samenvallen voor wat betreft de opname van gras door de koe gedurende de dag en de daarbij behorende opname van nutriënten en mineralen. Met name de hoeveelheid stikstof (N) is hierin van belang vanwege de hoeveelheid uit te scheiden N in mest en urine. Een lagere N-opname leidt tot minder N in de urine en daarmee tot minder ammoniak (NH_3) emissie.

1.3 Hoofdstukindeling

De hoofdstukindeling is als volgt. Hoofdstuk 2 begint met een uitleg over de stikstofkringloop waar dit onderzoek een onderdeel van uit maakt. Hoofdstuk 3 bevat een analyse van de sensoren die tijdens de metingen zijn gebruikt. Hoofdstuk 4 bevat de uitleg over het materiaal en de methode. In hoofdstuk 5 worden de resultaten van de gegevensanalyse uitgewerkt. Eerst worden de N-sensoren besproken. In de volgorde Crop Circle, Crop Scan zal voor de sensoren worden uitgewerkt welke correlaties zijn behaald. Daarnaast zal aandacht worden besteed aan de resultaten van de dronevlucht en een camera in de weide. De drone en de camerabeelden zijn enkel als test / proef tijdens de metingen ingezet en maken geen direct deel uit van het onderzoek. Vervolgens zijn de grasopbrengst sensoren uitgewerkt in de volgorde van 1) grashoogtemeter en 2) Pasture Reader ultrasone grashoogtemeter. Ook voor deze sensoren geldt dat er is gezocht naar correlaties tussen de daadwerkelijke grasopbrengst en de waarden die door de sensoren wordt aangegeven. In paragraaf 5.3 wordt aangegeven wat de ervaringen met het gebruik van de sensoren zijn en ten

slotte zal in paragraaf 5.4 worden uitgewerkt of er met de sensoren kan worden bepaald hoeveel gras er daadwerkelijk is opgenomen tijdens de beweidingsperiode. Hoofdstuk 6 bevat zowel de discussie als de conclusies en in hoofdstuk 7 wordt afgesloten met de aanbevelingen voor een vervolgonderzoek.

Bij het lezen van dit rapport in een digitale omgeving kan gebruik worden gemaakt van de groene vlaggetjes aan de linkerkant van elke pagina om snel door te gaan naar de bijlagen in het verslag. Door erop te klikken zal worden door gescrold naar de betreffende bijlage.

Stikstof kringloop

Op het moment dat mest en urine met elkaar in aanraking komen, worden de N-verbindingen in urine (vooral ureum) omgezet naar ammonium en treedt er ammoniakemissie op. Ammoniak uitstoot heeft nadelige effecten op het milieu. Door ervoor te zorgen dat er minder ureum aanwezig is in de urine zal de ammoniakvorming afnemen. Dit kan bereikt worden door de stikstof inname van de koe te beperken tot datgene wat de koe nodig heeft, zonder daarmee een tekort aan voeding te riskeren.

2.1 Stikstofkringloop

De stikstofkringloop is de biochemische kringloop en de geochemische omzetting van stikstof in de lucht (aardatmosfeer), planten, de bodem en biomassa. Alle organismen hebben stikstof nodig omdat het een bestanddeel is van aminozuren, eiwitten, DNA en van co-enzymen. Van de totale hoeveelheid aanwezige stikstof op aarde (10^{15} ton) bevindt zich 99 % in de aardatmosfeer. Alleen speciale bacteriën, in het bijzonder de Cyanobacteriën, stikstofknolletjesbacteriën van de familie van de Rhizobiaceae en bacteriën van het geslacht Rhizobium in symbiose met vlinderbloemige planten kunnen de stikstof uit de lucht omzetten in ammonium. Alle andere planten, dieren en de mens kunnen geen stikstof uit de lucht opnemen en zijn afhankelijk van de vastgelegde stikstof in de biosfeer. (Wikipedia, Stikstofkringloop, 2014)

2.1.1 Ammoniak

Ammoniak is een gas dat in de veehouderij ontstaat wanneer ureum uit de urine van koeien of varkens wordt afgebroken door het enzym urease. Dit enzym komt voor in de feces en daardoor ook in met mest besmeurde oppervlakken in de stal. Ook de bodem bevat ureasevormers. Ureum wordt met behulp van urease omgezet in ammonium. Naarmate urine meer ureum bevat is er dus meer omzetting naar ammonium mogelijk. Het gevormde ammonium is in drijfmest in evenwicht met ammoniak. Dit evenwicht is afhankelijk van de zuurtegraad van deze mest. De ammoniak kan uit de mest vervluchtigen als ammoniakgas. Naarmate de pH in de oplossing hoger is, zal dit sterker plaatsvinden. De mate van vervluchtiging hangt ook af van het verschil van de concentratie ammoniak in de lucht direct boven de mest en de concentratie ammoniak in de drijfmest. Bij veel luchtverversing direct boven de mest zal er meer ammoniak ontsnappen. De vorming van ammonium is ook afhankelijk van de temperatuur. (Agriholland, 2015)

2.1.2 Ureum²

Ureum is een stikstofhoudende organische verbinding met als molecuulformule $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Ureum is een afvalproduct bij de eiwitstofwisseling in de lever. Het wordt gebruikt als meststof in de plantenteelt en als selectieve katalysator om

² <https://nl.wikipedia.org/wiki/Ureum>

stikstofoxiden die vrijkomen bij dieselverbranding om te zetten in stikstof en water. Bij verhitting ontleedt het in ammoniak en biuret.

Ureum is een meststof voor planten. Het kan zowel door de grond gewerkt als (in opgeloste vorm) op het blad gespoten worden. Bij bespuiting op het blad moet bladverbranding (te hoge concentratie zouten, die uitdroging van de plant veroorzaken door het grote verschil in osmotische waarde) voorkomen worden. Daarom kan bespuiting maar onder bepaalde omstandigheden van zowel de plant als het weer. Planten kunnen nitraat (NO_3^-) direct uit het bodemvocht opnemen, terwijl ureum en ammonium (NH_4^+) in de bodem eerst moeten worden omgezet in nitraat. Ureum splitst in de amidevorm en kan op deze manier door de plant direct gebruikt worden voor de aanmaak van eiwitten. Het voordeel bij deze vorm van bemesten is dat de plant geen extra water op hoeft te nemen om de osmotische waarde te compenseren bij opname van nitraat. Stikstof uit nitraat geeft een veel explosievere groei en een lichtere kleur van het blad door de extra opname van water. Opname van amidestikstof geeft een sterkere plant en een gelijkmatiger groei.

De omzetsnelheid is afhankelijk van de hoeveelheid vocht in, en de temperatuur van de bodem. De omzetting van ureum in ammonium duurt bij een bodemtemperatuur van 10 °C ongeveer twee dagen. Voor de omzetting van ammonium in nitraat is bij die temperatuur twee weken nodig. Verantwoordelijk voor beide processen zijn nitrificerende micro-organismen. Een dergelijke trage vrijstelling van meststof is positief voor de begroeiing, niet alleen omdat bij regenval niet alles onmiddellijk uitspoelt, maar ook omdat trage vrijstelling het risico op verbranding van de planten vermindert. Groot nadeel is de hoge kans op vervluchtiging van stikstof (omzetting naar ammoniak). (Wikipedia, Ureum, 2016)

2.1.3 Eiwitstofwisseling

Via de eiwitstofwisseling ontstaat ureum in de lever, dat vervolgens uit het bloed wordt gefilterd door de nieren en wordt uitgescheiden via de urine. Ureum is het voornaamste eindproduct van de eiwitstofwisseling, scheikundige formule $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Ureum wordt door de nieren uitgescheiden. In het algemeen wordt het in de lever gevormd uit ammoniak, het belangrijkste afbraakproduct van de aminozuren, dat op hun beurt weer de bouwstenen zijn van de eiwitten (Causus).

Een belangrijk proces in de levercellen is dan ook de afbraak van aminozuren. Dit proces heet desaminering. De NH_2 -groepen van de aminozuren worden omgezet in ammoniak, de rest van het molecuul wordt omgezet in glucose of direct gebruikt voor de verbranding in de levercel. Ammoniak, dat zeer giftig is, wordt voor het grootste deel direct omgezet in ureum, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Ureum wordt aan het bloed afgegeven en door de nieren uitgescheiden. Een zeer kleine hoeveelheid ammoniak komt in het bloed terecht en wordt eveneens via de urine verwijderd.³

Ureum ontstaat in de lever en wordt door de nieren met de urine uit het bloed verwijderd. Bij de stofwisseling van eiwitten (aminozuren) komen kooldioxide en ammoniak vrij. Ammoniak treedt de ureumcyclus binnen bij de synthese van carbamoyl fosfaat en verlaat de cyclus bij de omzetting van arginine tot ornithine. De ureumcyclus produceert ureum uit ammoniak en kooldioxide en stelt ons in staat via de urine overtollige stikstof uit te scheiden in een niet giftige en goed oplosbare vorm.⁴

³ <http://www.10voorbiologie.nl/index.php?cat=9&id=499&par=503&sub=506>

⁴ <http://home.kpn.nl/b1beukema/ureumcyclus.html>

Analyse sensoren

In het plan van aanpak is doormiddel van een literatuurstudie en ervaringsbeoordelingen uitgewerkt welke sensoren data kunnen verschaffen die bijdragen aan het Synchroflexmodel. De sensoren zullen afzonderlijk of in combinatie met elkaar moeten kunnen weergeven hoeveel kilogram stikstof er aanwezig is in het te beweiden perceel.

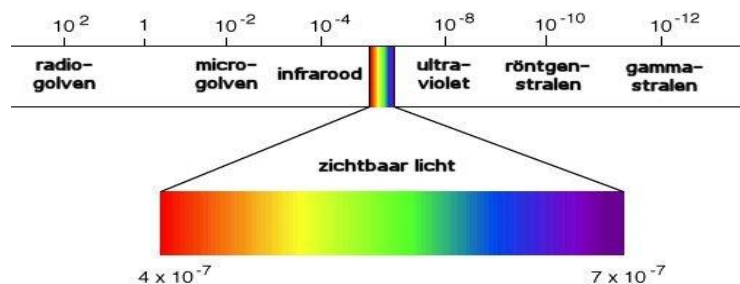
Uit het vooronderzoek is gebleken dat een aantal sensoren praktisch en haalbaar ingezet kunnen worden in het project. De sensoren zijn: De Crop Circle 3-bands red edge sensor, de Crop Scan 16-bands multispectraalsensor, de Pasture Reader grashoogtemeter, de C-Dax grashoogtemeter en de Jenquip plaatgrashoogtemeter. Deze sensoren worden in de praktijk al gebruikt, waardoor er gebruikservaring aanwezig is wat het gebruik van de sensoren ten goede zal komen. Daarbij moeten de sensoren in de praktijk kunnen worden ingezet in het te ontwikkelen Synchroflexmodel.

3.1 Biomassa sensor

Sensoren welke op basis van gewasreflectie kunnen bepalen wat de biomassa van het gewas zou moeten zijn, zijn inmiddels een veel gebruikt middel. Aan de hand van de bepaalde biomassa wordt berekend wat de daarbij behorende stikstofopname moete zijn. Een kunstmeststrooier kan vervolgens worden aangestuurd om het resterende stikstofgehalte aan te vullen op basis van de berekende strooihoeveelheid.

Eén van deze biomassa sensoren is de Crop Circle. De Crop Circle geeft de NDVI- en NDRE-waarde van het gras weer. NDRE staat voor 'Normalized Difference red-edge Vegetation Index'. Hiermee worden waarden gemeten binnen het rood spectrum. Bij de Crop Circle is het rood verdeeld in drie spectrums, te weten: R730nm, R670nm (rood) en R780nm (near-infra-red, NIR). NDVI (Nasa, 2000) is de afkorting voor de Engelse benaming van 'Normalized Difference Vegetation Index'. Met deze meting kan worden bepaald in hoeverre er zich groen oppervlak in bijvoorbeeld het land bevindt en wat de dichtheid hiervan is. Om dit te kunnen bepalen wordt er gebruik gemaakt van verschillende golflengtes. Zichtbaar licht bevindt zich in een bepaalde range van golflengte en zo ook bijvoorbeeld infrarood licht.

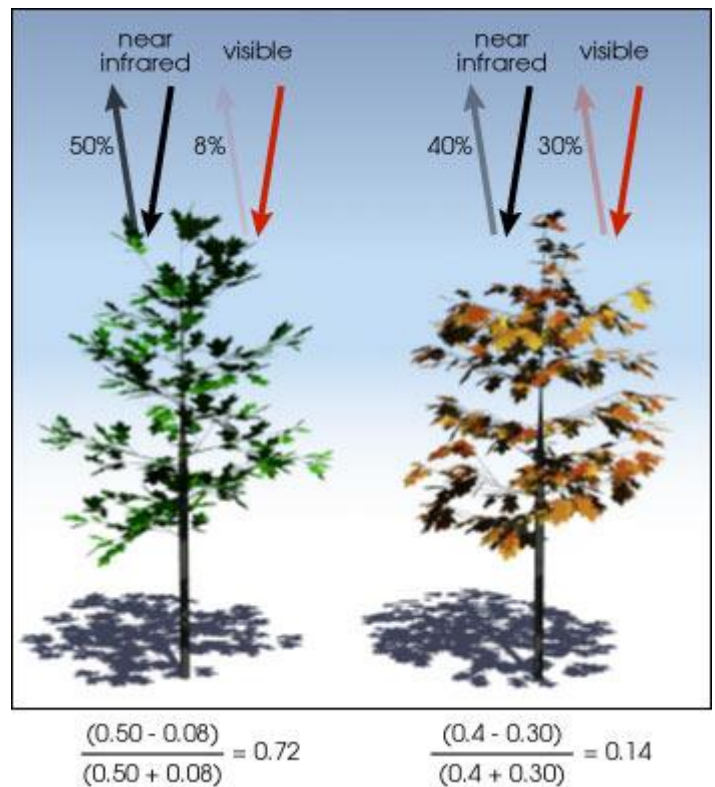
Deze golflengtes worden weergegeven in het zogeheten zichtbare spectrum:



Figuur 1 Lichtspectrum (OBHW, 2013)

Aan de hand van dit spectrum kunnen, in geval van de NDVI bepaling, zowel het zichtbare en infrarood licht worden onderscheiden. Een groene plant zal praktisch geen groen licht weerkaatsen, omdat deze plant al het groene licht absorbeert. Infrarood wordt in dat geval in grotere mate weerkaatst. Wanneer de groene kleuring van een plant afneemt, zal de hoeveelheid groene weerkaatsing toenemen en het infrarood licht minder weerkaatsten. Aan de hand van deze verschillen kan de biomassa van een plant worden bepaald met bijvoorbeeld de Greenseeker.

Door het percentage weerkaatste visuele licht te verminderen met het percentage van het weerkaatste infrarood licht en dit vervolgens te delen op een optelsom van het percentage visuele licht en infraroodlicht, wordt de NDVI berekend met een getal van 0 tot 1. Hoe hoger het getal, des te meer bladgroen wordt gemeten, wat vervolgens weer een indicatie geeft voor de hoeveelheid biomassa dat op dat moment aanwezig is onder de sensor. De sensor is geschikt voor het meten van vroeg gewasstadium (en de NDRE voor een later gewasstadium) (Leader, 2016). Ondanks het feit dat de NDVI en de NDRE waarde op elkaar lijken, is het goed om te vermelden dat deze twee waarden niet complementair aan elkaar zijn.



Figuur 2 Hoe wordt NDVI berekend (Herring & Weier)

3.1.1 Crop Circle red edge 3-bands spectraal sensor

De Crop Circle is een relatief simpel te gebruiken sensor welke (afhankelijk van de meethoogte) ongeveer een meter breed het gewas onder de sensor bekijkt. De sensor berekent de NDVI- en NDRE-waarde aan de hand van een ingebouwd algoritme. Dit algoritme is afhankelijk van de gemeten waarde van R730nm, R780nm, R670nm en het bladgroen. De NDVI-waarde geeft een indicatie van de aanwezige biomassa door het bladgroen te verrekenen met de gemeten rode uitstraling van de plant. Momenteel wordt deze methode gebruikt om te bepalen hoeveel kunstmest er bijvoorbeeld op verschillende plaatsen in het land moet worden gestrooid.

3.2 Inhoud van een plant

Om stikstof gehalten te kunnen meten wordt momenteel in de laboratoria gebruik gemaakt van NIR apparatuur. Hierbij wordt er met een golflengte van 800nm tot 2500nm naar het gewas gekeken. (Koerhuis, 2016). Naast het gebruik van NIR sensoren in laboratoria, wordt de techniek ook steeds meer ontwikkeld voor gebruik op bijvoorbeeld mesttanks en mestvrachtwagens/-transport.

Een ander voorbeeld is de toepassing van NIR techniek in opraapwagens. Het bepalen van eiwit- en drogestof gehalte in de pijp van een hakselaar is inmiddels al meerdere jaren mogelijk. Alle producenten van hakselaars kunnen een machine leveren met NIR sensor. Ook zijn de meesten producenten bezig met het ontwikkelen van software welke de gemeten waarden direct om kan

zetten in bruikbare data, of hebben deze software al ontwikkeld. Denk hierbij aan 'HarvestLab' van John Deere. De mogelijkheid om stikstof en eiwitgehalten in een opraapwagen te kunnen meten is langer naar gezocht, maar inmiddels zijn de bedrijven Pöttinger en Schuitemaker zover dat zij stikstofgehalten kunnen bepalen in de opraapwagens. Dit geeft aan dat NIR techniek een ontwikkeling doormaakt voor de toepassing ervan binnen de landbouw op basis van real-time metingen.

Bovenstaande methoden meten het stikstofgehalte van een product nadat het is geoogst. Echter, het bepalen van stikstofgehalten in een plant dat zich op stam bevindt, wordt nog niet gedaan. Er zijn NIR sensoren welke momenteel moeten worden voorzien van ijklijnen om goed te kunnen gaan functioneren in het veld.

Sensoren die nu mogelijk een uitkomst zouden kunnen bieden, zijn sensoren welke met zogeheten Red Edge golflengtes werken. Dit zijn de golflengtes van het rode spectrum tot de Near Infra Red (NIR). Volgens een studie uit 2007 (Mutanga & Skidmore, 2007) zijn de golflengtes van 713nm tot 725nm significant gecorreleerd met de gemeten stikstofconcentratie in de plant. Dit is afkomstig van de sterke aanwezigheid van chlorofyl in deze golflengtes. Chlorofyl laat daarmee een sterke verhouding zien met het stikstofgehalte in de plant. Met een dergelijk meting kan blijkbaar worden aangetoond wat het percentage aanwezige stikstof is in de plant. Als daarbij de totale biomassa kan worden aangetoond doormiddel van een sensor, zou het mogelijk moeten zijn om uit te komen op een totale stikstofvoorraad in het gras. Eveneens zou de Crop Circle hiervoor in te zetten zijn. De Crop Circle heeft de drie banden met een golflengte van 730nm, 780nm en 670nm. Deze golflengten zijn hoger en lager dan de aangewezen golflengten voor stikstofbepaling uit het onderzoek van Mutanga & Skidmore. Voor een benadering zou het echter wellicht een uitkomst kunnen bieden. De Crop Scan multispectraal sensor heeft qua golflengte een groter bereik en geeft wellicht een beter inzicht dan de Crop Circle.

3.3.1 Crop Scan 16-band multispectral sensor

De Crop Scan sensor is bevestigd aan een lange steel. De sensor meet in de vorm van een cirkel. De diameter van deze gemeten cirkel is de helft van de hoogte boven het gewas. Dat wil zeggen dat er bij een hoogte van één meter boven het gewas een cirkel gemeten wordt met een diameter van een halve meter. Het maken van een scan duurt zo ongeveer twee tot vier seconden. De sensor meet aan de bovenkant de lichtintensiteit die de zon uitstraalt. Aan de onderkant meet deze sensor de reflectie van het gewas. Door het verschil van beide meetwaarden met behulp van een rekenregel om te rekenen kan dit vertaald worden naar bruikbare meetgegevens. (Cropscan, Cropscan, 2013). Crop Scan is een merknaam voor radiospectrometers. Het is een sensor die lichtreflectie meet bij verschillende golflengtes. Welke golflengtes gemeten worden, hangt af van de filters die voor de camera-lens geplaatst worden. Als er wordt gekozen filters te gebruiken die golflengtes van groen, rood en near-infrarood radiogolven/licht meten, kan er van hieruit een vegetatie indices als NDVI, WdVI en NDRE worden berekend. De Crop Scan wordt handmatig bediend. Houd de camera ca. 1,5 m boven de grond en maak opnames. Het beste is om per object ca. 8 metingen te doen (Kempenaar, 2016).

3.3 Pasture Reader ultrasone grashoogtemeter

Net als de C-Dax is de Pasture Reader ook een in Australië ontwikkelde grashoogtemeter. De sensor werkt met geluidsgolven. Met een algoritme voor het terugkeren van de uitgestuurde geluidsgolven wordt bepaald wat hoeveel drogestof op het perceel aanwezig is en wat de dichtheid van het gras is.

(Kansen, 2015). Door de geluidsgolven uit te sturen en deze weer op te vangen, wordt bepaald hoe hoog het gras zou moeten staan en wat de dichtheid van het gras is. De sensor meet van boven naar beneden.

Piet Jan Thibaudier: 'Optimaliseren levert tot 5 cent per kilo melk op'

Dankzij een automatische grashoogtemeter, de 'pasture reader', voert Piet Jan Thibaudier uit Lemmer dagelijks hetzelfde gras bij het stalvoeren. 'Zo zijn de productie en het ureum constanter.' De melkveehouder ziet meer voordelen in automatisering op het land voor de toekomst. 'Het zou mooi zijn om de data ook mee te nemen in de KringloopWijzer. We kunnen efficiënter bemesten en meer graslandproductie halen.'

Thibaudier heeft de pasture reader op zijn frontmaaier gemonteerd en na één jaar proefdraaien en finetunen weet hij inmiddels precies hoeveel gras hij drie maal per dag uit het weiland haalt en aan zijn koeien in de stal voert. 'Eerder bepaalde ik de optimale grashoogte met een streepje op mijn laars, met de pasture reader kom ik erachter of er tien procent meer of minder op het perceel stond.'

Het automatisch grashoogte meten is veel betrouwbaarder, noemt Thibaudier. 'Het apparaat scant elke drie centimeter en ook nog eens een groot gedeelte van het veld. De melkproductie en het ureum zijn nu veel constanter.' Maaien om te stalvoeren doet hij bij een grasgewas tussen de 2000 en 2500 kilogram droge stof per hectare. 'Het liefst richting 2500 kilo droge stof. Dan houden we de koe gezonder en benutten we de grasgroei beter.'

Naast informatie over het grasaanbod in een perceel ziet de melkveehouder in de toekomst nog meer mogelijkheden met de data. 'Het geeft ook een goed inzicht in de productiviteit van het bedrijf en dat zou je eigenlijk moeten kunnen meenemen in de KringloopWijzer.' Ook efficiënter bemesten en verhogen van de grasopbrengst horen tot de mogelijkheden, geeft hij aan. 'De bemesting van een perceel is aan te passen als je weet wat erafkomt. Met de pasture reader weet je wat de verschillen tussen en binnen percelen zijn.'



De verschillen tussen en binnen percelen worden met de 'pasture reader' goed zichtbaar. De data bieden handvatten voor het verbeteren van de productiviteit van het grasland

Ondanks de muizenschade in 2014 haalde het bedrijf met 140 melkkoeien zo'n 10,5 ton droge stof per hectare. 'We hebben ook een aantal percelen die 16 ton droge stof per hectare opleverden', aldus de ondernemer.

Hij ziet variatie in grasopbrengst tussen de verschillende percelen tot wel vijftig procent. 'Net als de akkerbouwers wil je daarom meer op maat bemesten: wat er aan nutriënten afkomt, breng je ook weer aan bemesting terug. Stukken die niet zo productief zijn, bemest je minder, anders is het niet efficiënt.'

De data stimuleren de melkveehouder om percelen productiever te maken. 'Ligt het aan de pH, is de grond droogtegevoelig of is er sprake van verdichting?', formuleert hij de vragen die hij ook wil oplossen. 'Met een meer akkerbouwmatige benadering is er nog veel geld te verdienen', schat Thibaudier in. 'Bij de koeien praat je over één tot twee cent per kilo melk bij optimaliseren, ik denk dat we op het land gemiddeld nog wel vier tot vijf cent per kilo melk kunnen winnen.'

video-impressie www.veeteelt.nl

Kader 1 Melkveehouder Piet Jan Thibaudier gebruikt de Pasture Reader dagelijks in zijn bedrijfsvoering (Booij, 2015)

In een artikel van AgriKnowHow wordt genoemd dat het meten van grasland biomassa kan bijdragen aan de verhoging van melkproductie tot wel 10%. Dergelijke biomassa metingen worden ook wel kwantitatieve metingen genoemd. Ook wordt er ter afsluiting in het artikel genoemd dat er gewerkt gaan worden aan een combinatie van sensoren. Daarbij zullen kwantitatieve en kwalitatieve sensoren met elkaar worden gekoppeld. Het gaat daarbij om sensoren die grashoogte/biomassa kunnen meten (kwantitatief) en sensoren die doormiddel van NIR techniek ook de inhoud van de plant kunnen bepalen (kwalitatief) (Leonard).

3.1.4 C-Dax grashoogtemeter

De C-Dax is een klein karretje dat zichzelf op de grond laat zakken en vervolgens over de grond wordt voortgetrokken. Doormiddel van een lichtgevende wand en een tegenoverstaande wand die deze lichtbron kan ontvangen, kan worden bepaald hoe hoog het gras staat. Het licht wordt in tussenliggende ruimtes van 20mm uitgezonden. Wanneer het licht niet van de ene naar de andere kant kan worden overgebracht, betekent dit dat er zich een obstakel, gras, tussen bevindt. Er kunnen tot 200 metingen per seconde worden verricht bij een rijsnelheid van 20 km/u. Doormiddel van een algoritme wordt berekend hoeveel kilogram drogestof het gras per hectare zou moeten bevatten. De C-Dax is ontwikkeld en getest in Nieuw Zeeland. De kalibratie van de C-Dax is een punt van aandacht. De groei van gras in Nieuw Zeeland zal anders zijn dan de groei in West-Europa. Maar omdat de C-Dax uiteindelijk bedoeld is voor het maken van een snelle en accurate schatting van de biomassa van het weidegras (King, 2010), zal de C-Dax ook enigszins zijn werking moeten kunnen laten zien op Nederlandse bodem. Wel blijkt uit onderzoek dat de vergelijking tussen een plaat hoogtemeter en de C-Dax een groot verschil in uitkomst is te zien wanneer de sensoren in verschillende seizoenen/maanden van het jaar worden toegepast (King, 2010). Daaruit kan worden opgemaakt dat een continue ijking van de sensoren van belang is voor een nauwkeurige(re) meting. Als extra valt te benoemen dat de C-Dax in 2011 de prijs “Innovators Award” heeft gewonnen in de categorie agriculture and environmental (Rural News, 2011).

3.1.5 Jenquip plaatgrashoogtemeter

Met de Jenquip grashoogtemeter kan worden vastgesteld hoeveel drogestof er aanwezig zou moeten zijn. Aan de hand van een algoritme wordt berekend hoeveel drogestof het gras zou moeten bevatten op basis van de grashoogte. Ook hierbij zal het om een indicatie van de drogestof gaan. Er wordt immers geen drogestof gemeten, maar berekend.

3.4 Combineren

Uit een studie uit 2016 (Schaefer & Lamp, 2016) blijkt dat het combineren van verschillende sensoren kan leiden tot een nauwkeurigere bepaling van wat wordt gemeten. In de genoemde studie zijn de gegevens van NDVI bepaling en LiDAR samengevoegd, om te achterhalen of het mogelijk is om met beide sensoren een nauwkeurigere bepaling te krijgen van de aanwezige biomassa. Uit de studie blijkt dat er een significante verbetering was in de schatting van de aanwezige biomassa. Daarbij is ook aangetoond dat er bij het gebruik van gecombineerde sensoren de complexe relaties tussen gewasmonitoring en de daadwerkelijke uitkomst kan worden verbeterd.

Om te kunnen bepalen in hoeverre de sensoren de waarde aangeven welke overeenkomt met de werkelijkheid, dient er een referentie op te worden gezet waarmee de gemeten waarden kunnen worden vergeleken. Deze referentie komt voort uit handmatige metingen in het proefveld. Bijlage 1 geeft een aantal uitgewerkte methoden om deze referentie op te zetten.

Materiaal & Methode

In het plan van aanpak is gekozen voor een uitvoering van de metingen in het veld en de analyse van de gegevens. Het meten van de daadwerkelijke grasopbrengsten en bijbehorende stikstofinhoud is door het NMI bepaald, de uitgekozen en onderzochte sensoren zijn toegepast zoals grotendeels ook in het plan van aanpak omschreven staat.

4.1 Materiaal

Het uiteindelijk gebruikte materiaal is vrijwel hetzelfde gebleven zoals is omschreven in het plan van aanpak. Enkel één van de sensoren, de C-Dax grashoogtemeter, is gedurende het onderzoek uitgevallen. Om een volledig beeld van de beoogde methodologie te krijgen is in bijlage 11 het hoofdstuk Materiaal en Methode uit het Plan van Aanpak toegevoegd.

Tijdens de proef zijn de volgende sensoren ingezet:

- Jenquip EC10 Grashoogtemeter (plaatmeter)
- Pasture Reader grashoogtemeter
- Crop Circle 3-bands spectraalcamera
- Crop Scan 16-bands spectraalcamera

Overig materiaal:

- Agria gemotoriseerde maaibalk
- Weegschaal + driepoot
- Verzamelzakken voor het gras
- Grashark
- Notitiemateriaal (tablet of pen en papier)
- Invulformat voor de meetresultaten (zie bijlage 2)
- Markeringspaaltjes voor het uitzetten van plotten / grasstroken
- Grasmonsterverzamelaar
- Monsterzakken voor (Eurofins) analyse
- Watervaste stift voor opschrift monsterzakken
- Meetlint
- Fotocamera met panoramafunctie
- Bindmateriaal om de camera op de Crop Circle te monteren

4.2 Methode

De beoogde methode en de uitvoering ervan in het veld is enigszins anders uitgevallen. Het principe van de uitvoering komt overeen met de omschreven methode in het plan van aanpak (PvA).

4.2.1 Invulformat

Alle los verzamelde gegevens tijdens de metingen in de percelen werden direct genoteerd op een daarvoor samengesteld invulformat. De eerste metingen is

hiervoor een hardcopy format gebruikt. Later is dit format in Excel uitgewerkt en konden de gegevens worden ingevuld op een tablet. Later is dit invulformat vervangen door een tablet met daarop hetzelfde invulformat in Excel. Zie [bijlage 2](#) voor het invulformat voor de tablet. De tablet gaf als voordeel dat het niet wegwaait met wind en de data is direct digitaal verwerkt. De levert tijdswinst op zodat de overige data makkelijker op dezelfde dag of zo snel mogelijk kan worden verwerkt. De data werd na een korte controle van de gegevens rechtstreeks vanaf de tablet geüpload naar Dropbox middels een internetbundel (3G-4G netwerk) om ervoor te zorgen dat de gegevens vanaf meerdere apparaten toegankelijk zou zijn. Naast het ingevulde format zijn ook zoveel mogelijk andere digitale bestanden direct of zo snel mogelijk geüpload naar Dropbox om verlies van de gegevens te voorkomen.

4.2.1 Daadwerkelijke grasopbrengsten meten

Voor het bepalen van de daadwerkelijke grasopbrengsten is gebruik gemaakt van een methode welke volledig (in het Engels) staat omschreven in [bijlage 1](#). In deze proef wordt gebruik gemaakt van de eerst genoemde methode: '2.2.1.1 Cutting above ground level' (Lantinga, Neuteboom, & Meijs, 2004). Kort omschreven is er gekozen voor het uitmaaïen van stroken van een beoogde zes meter lengte per strook. In totaal zijn bij elke meting zes stroken per beweidingsgroep uitgemaaid. In de proef is de gehele proefperiode gebruik gemaakt van twee groepen van 24 koeien waarbij groep één gedurende 9 á 10 uur per dag is beweïd en de tweede groep vijf uur beweïding heeft gehad. De maaibalk welke voor het uitmaaïen van de stroken is gebruikt is na een aantal weken afgesteld op een maaïhoogte welke ongeveer overeenkomt met de hoogte waarop een koe het gras afgraast. Dit komt neer op ongeveer 5 centimeter boven maaiveld. Door het afgemaaid gras vervolgens per strook te verzamelen in een plastic tuinzakken en te wegen aan een driepoot met digitale weegschaal, kon per strook worden bepaald wat het gewicht van het gras was. Tijdens het wegen van de zakken werden ook de resultaten direct ingevuld in het format. Door in de analysemonsters onder andere het drogestofpercentage en de stikstofinhoud te bepalen, kon achteraf al deels worden bepaald wat de daadwerkelijk drogestof opname en stikstofopname is geweest door de koeien. Om de totale drogestof opname te bepalen is er achteraf een berekening uitgevoerd voor het bepalen van de bijgroei van het gras. De tekortkoming van het in- en uitmaaïen van de percelen is het feit dat er tussendoor ook gras bijgroeit. Dit bijgegroeide gras zal worden opgevreten door het vee. In de berekening wordt rekening gehouden met de gestoorde (het vee liep buiten) en ongestoorde (het vee stond op stal) groei. Elementen als regen en zonuren zijn ook meegenomen in de berekening.

4.2.2 Sensoren

Tijdens de metingen in het grasland zijn zeven sensoren ingezet welke betrekking hebben op het project. Vier van deze sensoren zijn meegenomen in mijn eigen onderzoek, welke in dit rapport worden uitgewerkt.

Voor het toepassen van de sensoren in de percelen is uiteindelijk een ietwat andere opstelling gebruikt. Daarbij is het principe van de metingen dat is omschreven in het plan van aanpak wel hetzelfde gebleven. In eerste instantie was het de bedoeling om alle sensoren op één voertuig te monteren en tegelijkertijd door het perceel te rijden tijdens een meting. Vanwege het ontbreken van een tijdig beschikbaar voertuig is dit later tijdens de onderzoeksperiode toegepast. In het begin van de metingen zijn alle sensoren in ieder geval toegepast op de handmatig uitgemaaid grasstroken. De reden hiervoor was dat de grasstroken als validatie gelden voor de sensoren. Door bij elke

uitgemaaide strook ook in ieder geval voorafgaand aan het maaien van de strook het gras te meten, kon later worden bepaald of er een relatie is tussen de gemaaide grasstrook en de waarden die worden weergegeven door de sensoren. In het geval dat er extra tijd beschikbaar was is er vaak voor gekozen om de sensoren die de mogelijkheid hebben om een continu-meting te doen, ook het gehele perceel te laten scannen in een matrixvorm (zie bijlage 11 PvA, par. 7.1.2, figuur 4).

De Crop Circle is ingezet boven de uitgemaaide stroken voorafgaand aan het uitmaaien van de stroken. Tijdens de eerste metingen is er ook voor gekozen om de Crop Circle na het uitmaaien en wegen van de grasstroken de grasstrook nogmaals te laten scannen. Al snel kon worden opgemaakt uit de gegevens dat het scannen na afloop van het uitmaaien geen extra meerwaarde heeft voor het bepalen van de stikstofinhoud van het voor de koe beschikbare gras. De metingen met de Crop Circle zijn daarom na het uitmaaien van de grasstroken niet meer bewust voor het onderzoek toegepast. Tijdens de metingen is de Crop Circle na verloop van tijd uit gerust met een camera. Deze camera is bovenop de Crop Circle gemonteerd. Dit kan in het geval van de Crop Circle bovenop de sensor, omdat de sensor geen gebruik maakt van een 'licht inval sensor', welke normaal bovenop de sensor zullen worden geplaatst in het geval deze wel aanwezig is in de sensor. Er is gebruik gemaakt van een smartphone met panoramafunctie. Om de foto's te maken hoeft niet per se een smartphone te worden gebruikt. Hierdoor kon de grasstrook van ongeveer zes meter meestal volledig worden gefotografeerd. Deze foto kon later tijdens het analyseren van de gegevens onder de grafiek van de data worden geplaatst, waardoor de data ook kon worden vergeleken met een visueel beeld van het gescande oppervlak. Omdat de camera een bredere kijkhoek heeft in de looprichting dan de Crop Circle, is de fotocamera op gevoel later geactiveerd dan de Crop Circle. Aan het einde van de meting van de grasstrook is vervolgens de camera weer eerder uitgeschakeld dan de Crop Circle. Ook is een aantal keer geprobeerd de fotocamera de paaltjes die de grasstrook markeren, te laten opnemen in de foto. Deze markering kon later worden gebruikt bij het bepalen van het daadwerkelijk gescande oppervlak op de foto onder de datagrafiek.

De Crop Scan 16-bands multispectraal heeft net als de Crop Circle bij elke keer uitmaaien voorafgaand aan het uitmaaien de meting verricht boven het gras. De Crop Scan wordt zes keer op verschillende plekken verdeeld over de grasstrook boven het gras geplaatst op een hoogte van ongeveer 1,5 meter. Omdat de sensor meer tijd in beslag neemt vanwege het niet continu kunnen meten, heeft de Crop Scan geen algemene metingen in het perceel verricht. De verzamelde data wordt vervolgens in een computerprogramma verwerkt tot bruikbare gegevens voor de analyse van de data.

Om de grasopbrengsten in de percelen meten sensoren te bepalen is gebruik gemaakt van de Jenquip plaatgrashoogtemeter, de Pasture Reader sonar grashoogtemeter en de C-Dax lichtdoorlaatbaarheid grashoogtemeter.

De Jenquip EC10 grashoogtemeter is telkens voorafgaand aan het maaien van de grasstrook ingezet om de grashoogte te meten en vervolgens ook na het maaien en wegen van het gras om te bepalen hoeveel gras is blijven staan. Voorafgaand aan het maaien is zes keer per strook met de grashoogtemeter geprikt in de grasstrook en na het maaien is de grashoogtemeter plaat-aan-plaat in de grasstrook geprikt. Dit plaat-aan-plaat meten zorgt ervoor dat elke oneffenheid wordt meegenomen, waardoor nauwkeuriger kan worden bepaald hoeveel gras er daadwerkelijk is blijven staan. Voorafgaand aan het maaien is het niet nodig plaat-aan-plaat te meten vanwege een egalere

grasoppervlak. Door vervolgens de meetwaarde van voor het maaien en van na het maaien met elkaar te cumuleren zou inzichtelijk moeten worden hoeveel gras er daadwerkelijk is afgemaaid. In de praktijk zal dit worden gebruikt om te bepalen hoeveel gras de koeien totaal hebben opgenomen. Daarnaast zijn in elk perceel per groep koeien twee keer dertig metingen verricht voorafgaand aan het beweiden en één keer dertig metingen voorafgaand aan het uitmaaieren na de beweidingsperiode. Deze metingen zijn door het hele perceel verspreid genomen om te bepalen of de grashoogtemeter een gelijke waarde geeft bij een grote gemiddelde meetronde en het gemiddelde van de zes apart uitgemaaide grasstroken. In hoofdstuk 4 'Resultaten' wordt uitgewerkt of deze meting en berekening daadwerkelijk een correlatie teweeg brengt met de daadwerkelijke opname van gras. De verrichte metingen worden weergegeven op de display van de Jenquip EC10 als een gemiddelde. Deze waarde is aan het einde van elke grasstrook ingevuld in het format.

De Pasture Reader is praktisch gezien hetzelfde ingezet als de Crop Circle, Crop Scan en de Jenquip grashoogtemeter. De reden voor eenzelfde inzet is het kunnen vergelijken en combineren van de verzamelde gegevens op dezelfde plaats en tijd in een perceel. De Pasture Reader is minimaal ingezet op alle uitgemaaide grasstroken. Daarnaast is er bij het beschikbaar hebben van extra tijd een extra aantal stroken gescand over de gehele breedte van het perceel per beweide groep koeien. Om een extra gemiddelde te verkrijgen is er ook meermalig in een matrixvorm een ronde door het perceel gelopen met de Pasture Reader (in combinatie met de Crop Circle). Aan het einde van de metingen zijn de gemiddelde waarden op de display van de Pasture Reader uit te lezen. Hiervan is een foto gemaakt, zodat deze konden worden ingevoerd in de computer en om ervoor te zorgen dat de verzamelde data op twee plekken is opgeslagen voor het geval iets fout gaat met de opslag van de Pasture Reader.

De C-Dax is enigszins anders ingezet dan dat er met de Pasture Reader en Crop Circle is gelopen. Aangezien de C-Dax een getrokken voertuig is en voorafgaand aan het uitmaaieren van de grasstroken het gras moet scannen ontstaat er veel schade aan het gras dat moet worden gemaaid. Om deze reden is ervoor gekozen om de C-Dax naast de uit te maaien grasstrook te laten scannen. Daardoor wordt er geen te maaien oppervlak plat gereden of beschadigd. Wel is voorafgaand aan het scannen of het naastgelegen gras representatief oogt in vergelijking met de uit te maaien grasstrook. Aan het begin van de te scannen strook werd de C-Dax middels de draadloze console naar beneden gelaten. Op het moment dat er werd begonnen met rijden, begon ook de C-Dax te meten. Aan het einde van de grasstrook werd de C-Dax weer geheven om de meting te stoppen.

Het later beschikbaar zijn van een zelf gebouwd frame van de Pasture Reader heeft het uiteindelijk mogelijk gemaakt om de Crop Circle, Pasture Reader en Jenquip grashoogtemeter tegelijkertijd op een simpele manier te gebruiken in het perceel. Door de sensoren op exact hetzelfde moment en dezelfde plaats te laten meten, wordt de onderlinge vergelijking van de sensoren nauwkeuriger, omdat weersinvloeden, tijd en locatie aan elkaar gelijk zijn. Deze variabelen welke variatie in de eigenlijke resultaten kunnen geven worden dan uitgesloten.

Het is gepland om een drone in te zetten tijdens de proefperiode. Het doel van de drone is het opsporen van urineplekken in de beweide percelen doormiddel van een visuele camera of een NIR-camera. De drone zal pas gaan vliegen nadat er een groep koeien gedurende het beweiden visueel is gevolgd middels een waarneming. Deze waarneming houdt in dat er met minimaal twee personen gedurende de beweidingsduur zal worden bijgehouden waar de koeien urineren en defeceren (mest

laten vallen). De urineplekken en mest zullen worden gemarkeerd met stokken. De waarneming zal plaatsvinden op de dag van inscharen van het perceel. Hierdoor kan de oppervlakte klein worden gehouden. De koeien zijn op deze kleine oppervlakte beter te volgen en het plaatsen van de markeren zal daardoor niet teveel loopafstand (en looptijd) in beslag nemen. Na de waarneming zal het desbetreffende deel van het perceel niet langer beweide worden om te voorkomen dat er extra urine of mest op het perceel terecht komt dat niet kan worden gemarkeerd. Het vliegen met de drone zal vervolgens minimaal 4 tot maximaal 10 dagen na de waarneming plaatsvinden. De minimale vier dagen zijn nodig om de stikstof in de urine op te laten nemen door het gras, waardoor de urineplekken als het goed is zichtbaar worden. De maximale tien dagen worden aangehouden om te voorkomen dat de overige grasgroei de zichtbaarheid van de urineplekken wegvaagt. Door de aangebrachte markeringen in het perceel op de dronebeelden op te zoeken, moeten kunnen worden uitgemaakt of daar ook daadwerkelijk een urineplek of mest op te vinden / detecteren is.

4.2.3 Uitgevoerde analyses

Gedurende het onderzoek zijn de verzamelde gegevens geordend en gerangschikt op de computer. Dit houdt in dat de datasets van de Crop Circle zijn verwerkt in een Excel format waarin alle gemeten plotten apart zijn gezet, de gemiddelden van de plotten zijn verwerkt, de losse getallen zijn omgezet in een visueel af te lezen grafiek en de gemaakte panoramafoto's onder elke grafiek zijn geplaatst. Het voordeel van het direct rangschikken van deze data is ten eerste dat er aan het einde van de meetperioden niet in één keer heel veel data doorlopen hoeft te worden. Ten tweede heb je aan het einde van de dag van het meten de volgorde van meten en bedoeling van het meten nog in het geheugen beschikbaar. Eventuele fouten in het handmatig ingevulde invulformat zijn dan te onderscheppen en te verbeteren tijdens het rangschikken van de bestanden op de computer. Dit geeft zekerheid op het moment dat alle data met elkaar wordt vergeleken aan het einde van de meetperioden.

Hetzelfde geldt voor de Jenquip grashoogtemeter. De gegevens werden tijdens de metingen ingevoerde en na afloop van de metingen gecontroleerd op eventuele zichtbare fouten. Het prettige aan het direct invullen van de gegevens in het perceel, is dat de vervolgverwerking van de gegevens sneller en makkelijker verloopt.

Omdat bij het gebruik van de Pasture Reader dezelfde loopvolgorde is aangehouden bij het scannen van de grasstroken en verdere metingen, konden de gegevens van de Pasture Reader doormiddel van de volgorde van de Crop Circle worden gekoppeld aan de juiste strook en/of locatie. Een daarbij komend voordeel van de Pasture Reader is dat er een ingebouwde GPS antenne is ingebouwd, zodat ook op basis van coördinaten kan worden achterhaald waar de meting heeft plaatsgevonden.

De gegevens van de Crop Scan zijn verwerkt en omgezet in een speciaal daarvoor bedoeld programma door het NMI. Met deze data kon vervolgens worden geanalyseerd en kon worden gekeken naar correlerende data. Om de data te verkrijgen hebben zich een aantal problemen voorgedaan bij het uitlezen van de Crop Scan. Dit heeft te maken gehad met verouderde software en verkeerde systeeminstellingen in de Crop Scan. Uiteindelijk zijn de data aangeleverd in een CSV bestand. Er zijn data beschikbaar gekomen tot en met periode acht. Met de meetgegevens van de aparte golflengten zijn onderlinge vergelijkingen gemaakt en er is geprobeerd verbanden te leggen tussen het ruw eiwit en de uitkomsten van de formules welke kunnen worden uitgerekend door waarden van de Crop Scan op te nemen in de formules. Met onderlinge vergelijkingen wordt bedoeld

dat de meetgegevens per golflengte op elkaar zijn gedeeld waarna deze uitkomsten ook gelijkgesteld zijn aan de ruw eiwit gehalten.

Gezien het feit dat de gebruiksinformatie omtrent de C-Dax niet direct voldoende is geweest, heeft de inzet van de C-Dax niet mogen resulteren in een goede praktijktest. Meer uitleg en bevindingen over de resultaten van de C-Dax en gebruikservaringen ermee staan uitgewerkt in paragraaf 5.3 Resultaten. Voor wat betreft de analyse van de gegevens van de C-Dax heeft dit niet plaatsgevonden. De gegevens zijn niet representatief.

Vrij direct na het einde van de metingen in de percelen is een overzicht gemaakt met daarin alle gegevens van de daadwerkelijke grasopname (vers gras gewicht), de Jenquip grashoogtemeter, de Crop Circle, de Pasture Reader, droge stof percentage en ruw eiwitgehalte. Dit bestand moet ervoor zorgen dat iedereen die gebruik gaat maken van de gegevens ook daadwerkelijk gebruik maakt van gecontroleerde en dezelfde gegevens.

De analyses van de daadwerkelijke grasinhoud zijn in opdracht van het NMI getest door Eurofins. De analyse resultaten van de grasmonsters zijn voor dit onderzoek onderdeel gebruikt als validatiewaarden van de ingezette sensoren.

Het analyseren van de data uit de sensoren is door de student uitgevoerd in Microsoft Excel. De voornaamste zoekopdracht lag in het zoeken van correlaties (R^2) tussen verschillende waarden van de sensoren en de geanalyseerde monsters (validatiewaarden). Het R^2 geeft een getal tussen 0 en 1. 0 Geeft geen relatie weer tussen de vergeleken waarden, terwijl 1 een 1 op 1 relatie weergeeft tussen de vergeleken waarden. Over het algemeen wordt er vanuit gegaan dat een R^2 van 0,8 en hoger een significante relatie tussen twee getallen weergeeft. Het zoeken naar deze correlaties is voornamelijk gedaan op basis van 'trial and error'. Door te proberen bepaalde combinaties te vinden in de data welke een correlatie met elkaar hebben, kon dieper in de getallen worden gedoken. Uiteindelijk is er daarmee toegewerkt naar een steeds hogere R^2 . De resultaten zijn verwerkt in hoofdstuk 5 Resultaten

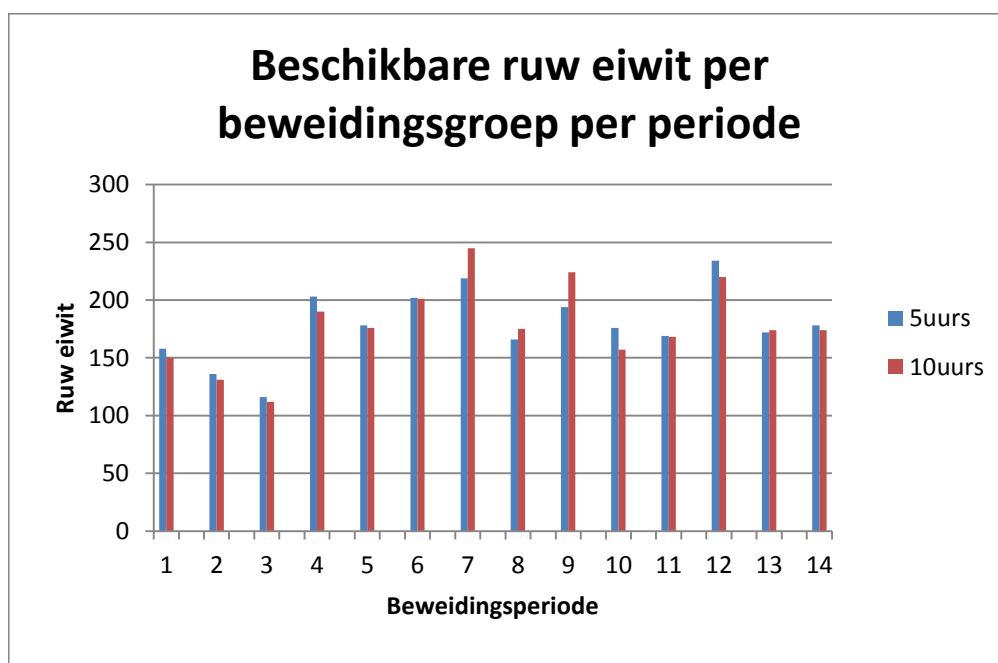
Resultaten

De resultaten die zijn voorgekomen uit het bekijken en correleren van de data, zijn in dit hoofdstuk uitgewerkt. Er is op voorhand gezocht naar een combinatie van de gegevens die het mogelijk zou moeten maken om weer te geven hoeveel kilogram stikstof aanwezig is in het weidegras. In het onderzoek zijn de verhoudingen nog niet omgezet in voor de praktijk bruikbare waarden. Er zijn enkel verhoudingen gevonden en toegelicht welke om zouden kunnen worden gezet naar bruikbare waarden.

Allereest is uitgewerkt hoe de daadwerkelijke stikstofopname is bepaald tijdens het onderzoek. Als tweede is uitgewerkt of de grasopbrengst sensoren kunnen bepalen hoeveel gras er op het moment van meten in het perceel stond. Daarna wordt uitgelegd hoe het is ervaren om met de sensoren te werken. Als laatste zal worden aangegeven of er met de sensoren kan worden bepaald hoeveel kilo gras de koeien daadwerkelijk hebben opgenomen.

5.1 Bepaling daadwerkelijke en gemeten N-hoeveelheid

Voor het bepalen van de ruw eiwit gehalten met een sensor zijn twee sensoren ingezet. Te weten: de Crop Circle en Crop Scan. De sensoren worden in deze paragraaf afzonderlijk bekeken. In de uitleg en verklaringen zal worden verwezen naar perceelnummers. Een overzicht van de percelen bij De Schothorst is te vinden in [bijlage 10](#). Onderstaande vergelijking 1 geeft een overzicht weer van de beschikbare ruw eiwit gehalten per perceel dat door elke groep koeien is beweid.



Vergelijking 1 Uiteenzetting van de beschikbare ruw eiwit gehalten voorafgaand aan de beweidingen

5.1.1 Crop Circle

Bij het zoeken naar correlaties tussen de waarden van de Crop Circle en de ruw eiwit uitslagen van de grasanalyses zijn interessante uitkomsten naar voren

gekomen. Onderstaande tabel 1 bevat een kleine samenvatting van correlaties tussen de Crop Circle en de ruw eiwit gehalten in de grasmonsters.

Tabel 1 Tabeloverzicht van de correlatie tussen Crop Circle-waarden en ruw eiwit gehalten op basis van alle gemiddelden van de metingen met de Crop Circle per grasstrook bij inmaaien van de percelen

Correlaties per plot Crop Circle tov. Ruw eiwit gehalten

Perceel	Grassoort	Perioden	R730	R780	R670	NDRE	NDVI
8	E	perioden 1, 2, 3	0,31	0,28	0,00	0,34	0,01
		Significantie	0%	0%	93%	0%	59%
13	C	perioden 6, 12, 13, 14	0,36	0,35	0,11	0,36	0,16
		Significantie	0%	0%	2%	0%	1%
13	C	perioden 12, 13, 14	0,73	0,74	0,58	0,74	0,63
		Significantie	0%	0%	0%	0%	0%
9	F	perioden 4, 5	0,71	0,70	0,80	0,71	0,79
		Significantie	0%	0%	0%	0%	0%
9	F	perioden 4, 5, 9	0,47	0,47	0,10	0,47	0,19
		Significantie	0%	0%	8%	0%	2%
5, 6	B	perioden 7, 8	0,27	0,24	0,33	0,26	0,33
		Significantie	1%	1%	0%	1%	0%
5, 6, 8, 9, 10, 13	B, B, E, F, C	perioden 1 tm 10	0,00	0,00	0,40	0,00	0,31
		Significantie	63%	56%	0%	61%	0%
5, 6, 8, 9, 10, 13	B, B, E, F, C	alle perioden 1 tm 14	0,06	0,05	0,35	0,06	0,32
		Significantie	0%	1%	0%	0%	0%

In de bovenstaande tabel 1 wordt zichtbaar dat de correlaties die worden gevonden met de Crop Circle in bepaalde gevallen het onderzoeken waard zijn. De waarden zijn vergeleken op basis van alle gemiddelde metingen van de Crop Circle per uitgemaaid grasstrook. Dit zijn in totaal 150 waarden. Opvallend zijn de correlaties die tijdens bepaalde tijd verlopen worden behaald. Een correlatie over alle meetperioden gezien is er niet. Wordt gekeken naar de correlatie tijdens de perioden 4 en 5 en 12 tot en met 14 dan kan worden gesteld dat er aanzienlijke resultaten zichtbaar worden. De perioden 4, 5 en 9 kunnen eventueel ook naast elkaar worden beoordeeld als zijnde gerelateerd, al is dit niet overtuigend. Voor de perioden 7 en 8 is ook een correlatie berekend, omdat de percelen waarin deze metingen zijn verricht beide dezelfde grasmengsels bevatten. Voor deze twee metingen is bij de Crop Circle geen correlatie gevonden. De reden voor het wel of niet goed correleren in bepaalde perioden wordt gezocht in een combinatie van factoren. Ten eerste hebben de metingen tijdens periode 12 tot en met 14 en 4, 5 en 9 in hetzelfde perceel plaatsgevonden. Tijdens de beweidingen van periode 12 tot en met 14 is in eenzelfde perceel achter elkaar doorgeweid. Tijdens de beweidingen van periode 4 en 5 en periode 1, 2 en 3 geldt dit ook. Daarbij is er in periode 9 in hetzelfde perceel als tijdens periode 4 en 5 geweid. Voor de perioden 1, 2 en 3 geldt echter ook dat er achter elkaar is door geweid in één perceel, maar daarbij is geen overtuigende correlatie te zien tussen waarden van de Crop Circle en de ruw eiwit gehalten. Ten tweede zijn de verschillende percelen niet allemaal met dezelfde grasmengsels ingezaaid. Ten derde is er met verschillende weertypes gewerkt tijdens de metingen. Dit varieert van zonnig tot regenachtig en bewolkt. Daarnaast zijn de graszoden in alle percelen niet even dichtbegroeid, waardoor de bodem van bovenaf soms (goed) zichtbaar is.

Kijkend naar de betrouwbaarheid van de uitkomsten op basis van de uitgerekende significantie komen wederom de perioden 12 tot en met 14 en 4, 5 weer naar voren. De significantie is bij deze vergelijkingen dusdanig goed dat deze nagenoeg op 0 kunnen worden gesteld. Bij de verdere boven getoonde vergelijkingen daalt ten eerste de correlatie al dusdanig dat er niet langer een aantoonende waarde uit zal komen. Daarbij worden ook hogere significanties aangegeven, wat inhoudt dat de uitkomst van de correlatie mogelijk op toeval berust, waardoor uitkomsten niet kunnen worden onderbouwd.

Wanneer de waarden van de Crop Circle worden gemiddeld tot een gemiddelde waarde per beweidsperiode kunnen nog hogere correlaties worden gehaald. Onderstaande tabel 2 bevat net als tabel 1 de uitkomsten van de vergelijking tussen waarden van de Crop Circle ten opzichte van de ruw eiwit gehalten, maar dit keer met de gemiddelden van de Crop Circle per periode per beweide groep koeien. Het gaat hierbij om twee waarden die per periode zijn meegenomen in de vergelijking.

Tabel 2 Correlaties en bijbehorende significantie voor de vergelijking tussen gemiddelde waarden per periode van de Crop Circle tov. ruw eiwit waarden per periode

Correlaties gemiddelde waarden Crop Circle per periode tov. ruw eiwit per periode						
Perceel	Perioden	R730	R780	R670	NDRE	NDVI
8	Perioden 1, 2, 3	0,73	0,94	0,00	0,80	0,02
	Significantie	3%	0%	91%	2%	80%
5,6,8,9,10,13	Perioden 1 t/m 14	0,04	0,03	0,35	0,03	0,32
	Significantie	34%	40%	0%	36%	0%
9	Perioden 4, 5	0,93	0,91	0,91	0,92	0,92
	Significantie	4%	5%	5%	4%	4%
9	Perioden 4, 5, 9	0,35	0,36	0,09	0,35	0,13
	Significantie	22%	21%	57%	21%	49%
13	Perioden 6, 12, 13, 14	0,79	0,79	0,21	0,79	0,31
	Significantie	0%	0%	26%	0%	15%
13	Perioden 12, 13, 14	0,92	0,91	0,80	0,92	0,84
	Significantie	0%	0%	2%	0%	1%

Kijkend naar de waarden in tabel 2 kan worden aangetoond dat het middelen van gemeten waarden zorgt voor een hogere correlatie. De vergelijking van de percelen 4, 5 en 9 valt nu volledig in diskrediet vanwege de hoge significantie. Bij een significantie van hoger dan 5% kan statistisch gezien niet langer worden gesproken van een betrouwbare correlatie. De correlatie voor de perioden 4 en 5 is aanzienlijk verhoogd, maar de verhoogde significantie geeft aan dat de vergelijking enigszins minder betrouwbaar is geworden. Statistisch gezien kan de uitkomst nog steeds betrouwbaar worden genoemd. Voor de vergelijking van de perioden 12, 13 en 14 kan echter nog steeds worden gezegd dat de uitkomst zeer betrouwbaar is en verhoudingsgewijs grote overeenkomsten laat zien tussen de waarden van de Crop Circle en de ruw eiwit gehalten in het gras. Met een maximaal behaalde correlatie van 0,93 kan daarmee worden gesteld dat de waarden van de Crop Circle voor 93% een betrouwbare weergave kan geven van de gemiddelde ruw eiwit toestand in een perceel. Een kolomweergave van de door de Crop Circle gemeten waarden ten opzichte van de gemeten ruw eiwit gehalten is uitgewerkt in bijlage 7. In hoofdstuk 6 zal een conclusie worden getrokken van bovenstaande gegevens. De daadwerkelijke toepassingsmogelijkheid van de 93% ligt iets genuanceerder dan dat de waarde op het eerste moment doet vermoeden. De nadruk voor de uitkomst van de Crop Circle ligt dan ook op het woord: 'kan' een betrouwbaar beeld geven.

Wanneer de meetwaarden van de aparte golflengten (730nm, 780nm en 670nm) op elkaar worden gedeeld, worden eveneens hoge correlaties behaald. Wanneer er een deling wordt gemaakt met de waarden van 730nm en 780nm wordt de hoogste correlatie behaald. Wederom in de vergelijkingen met de periode 12 tot en met 14 en 4, 5 wordt in beide gevallen een correlatie gevonden van ruim

Tabel 3 Correlaties en bijbehorende significantie voor de vergelijking tussen op elkaar gedeelde Crop Circle waarden gemiddelden per periode tov. ruw eiwit gehalten per periode

Correlaties deling Crop Circle waarden gemiddelden per periode tov. ruw eiwit per periode

Perceel	Perioden	780/730	670/730	730/780	670/780	730/670	780/670
5,6,8,9,10,13	Perioden 1 t/m 14	0,07	0,39	0,08	0,35	0,46	0,40
	Significantie	20%	0%	17%	0%	0%	0%
13	perioden 6, 12, 13, 14	0,49	0,13	0,52	0,25	0,06	0,11
	Significantie	5%	39%	4%	21%	56%	41%
13	perioden 12, 13, 14	0,91	0,77	0,92	0,85	0,73	0,79
	Significantie	0%	2%	0%	1%	3%	2%
9	perioden 4, 5	0,91	0,91	0,92	0,92	0,89	0,89
	Significantie	4%	5%	4%	4%	6%	6%
8	periode 1, 2, 3	0,91	0,03	0,91	0,09	0,02	0,07
	Significantie	0%	76%	0%	56%	77%	61%
9	perioden 4, 5, 9	0,65	0,24	0,65	0,39	0,27	0,43
	Significantie	5%	33%	5%	19%	29%	16%

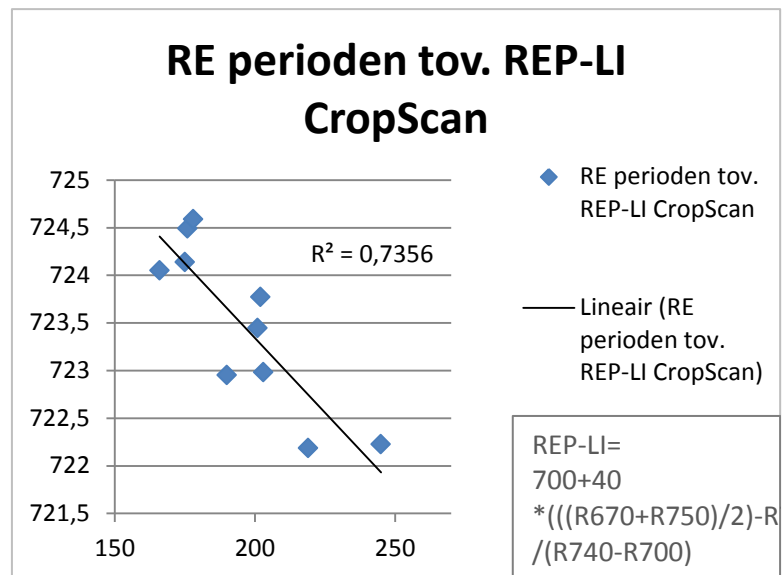
0,92 gevonden. Hierbij wordt gerekend met de gemiddelden per periode per beweid perceel. Bij deze correlatie hoort een significantie van respectievelijk nabij 0 en 3,8%. Allebei de correlaties zijn daarmee statistisch gezien geldig, al is de uitkomst op basis van slechts zes waarden. De gemiddelde zes waarden zijn echter wel berekend uit totaal 150 achterliggende waarden. Voor een deling van de golflengten 780nm en 730nm worden voor de perioden 1, 2 en 3 correlaties gevonden van 0,91. Onderstaande tabel X bevat de uitkomsten van de hiervoor genoemde delingen. De tabel geeft geen nieuwe inzichten.

5.1.2 Crop Scan

Met de Crop Scan zijn minder metingen verricht dan met de Crop Circle. Daarbij geeft de Crop Scan na periode 8 geen betrouwbare waarden meer weer of deze zijn niet meer beschikbaar vanwege softwarematige problemen. De resultaten die wel beschikbaar zijn voor analyse geven ook veelbelovende correlaties weer.

Allereerst kunnen er met de waarden van de Crop Scan meerdere formules worden ingevuld welke zijn bedoeld als gewasindex. Een overzicht van deze formules en de uitkomsten ervan zijn te vinden in [bijlage 8](#). De formules waarmee wordt gewerkt hebben meetwaarden nodig van golflengten welke door de Crop Scan worden geleverd. De Crop Circle bijvoorbeeld kan een aantal formules ook voorzien van waarden, maar niet zoals de Crop Scan. De Crop Scan levert namelijk 16 banden aan, terwijl de Crop Circle er slechts 3 aanlevert. Kijkend naar de ingevulde formules en de uitkomsten ervan, springt de REP-LI (Red Edge Position: Lineair Interpolation method) eruit voor de perioden 4 tot en met 8. Met een correlatie van 0,7356 is er een relatie tussen de waarden en het ruw eiwit aangetoond. Opvallend is dat de waarden waar de correlatie op is gebaseerd de gemiddelden betreft van alle perioden. Daar waar het niet mogelijk is om met de Crop Circle een correlerende uitkomst te verkrijgen over de waarden van alle meetperiodes, kan de Crop Scan, zo lijkt het, wel waarden

aanleveren welke iets zeggen over de stikstof toestand van het gras. De REP-LI formule werkt met waarden van de golflengten 670nm, 700nm 740nm en 750nm. Helaas zijn er na periode 8 geen relevante data meer beschikbaar van de Crop Scan, waardoor de vergelijkingen niet kunnen worden toegepast op de perioden 12, 13 en 14. In vergelijking 2 staan de uitkomsten van de REP-LI formule afgezet tegen de ruw eiwit gehalten in het gras. In de vergelijking wordt ook zichtbaar waar de correlatie van 0,7356 vandaan komt. De vergelijking



Vergelijking 2 Uitkomsten van de REP-LI formule afgezet tegen de ruw eiwit gehalten

loopt in een lijn naar beneden, maar de onderlinge afwijkingen zijn wel degelijk aanwezig. Met een significantie van 0,0015 is de uitkomst volgens de statistiek geldig. Maar, wordt vervolgens geschoven met het aantal waarden dat wordt meegenomen in de vergelijking, dan verspringen de uitkomsten van de correlaties voor alle berekeningen naar hele andere uitkomsten. De REP-LI geeft bij het toevoegen van periode drie aan de formule nog slechts een correlatie van 0,6. De formule zegt in dat geval niet overtuigend meer iets over de ruw eiwit gehalten in het gras. Ondanks dat de uitkomst van de REP-LI statistisch gezien betrouwbaar was te noemen, kan uit het 'spelen' met de waarden worden opgemaakt dat er geen constant hoge correlatie valt te behalen als willekeurige waarden worden meegenomen in de berekeningen. Met willekeurige waarden wordt bedoeld dat er verder geen rekening wordt gehouden met weersinvloeden, percelen of andere factoren die aan elkaar gelijk gesteld kunnen worden tussen de metingen.

Als, net als bij de Crop Circle, waarden van de Crop Scan met elkaar worden vergeleken die wel de aan elkaar gelijk te stellen factoren bevatten, worden wel consequent hoge(re) correlaties gevonden. Omdat vanaf periode negen geen waarden van de Crop Scan meer beschikbaar zijn kunnen de perioden 6, 9, 12, 13 en 14 niet voor de Crop Scan worden geanalyseerd zoals dat voor de Crop Circle is gedaan. Deze perioden hadden namelijk de factor 'perceel' als hetzelfde gemeen. Voor de Crop Scan kan wel afzonderlijk naar de perioden 4 en 5 worden gekeken vanwege het meten in hetzelfde perceel. Bij het uitvoeren van deze vergelijking wordt bij de REP-LI vergelijking een correlatie van 0,8 gevonden met een bijbehorende significantie van 11%, waardoor de betrouwbaarheid statistisch gezien te laag is. Voor de perioden 7 en 8 kan een vergelijking worden gemaakt vanwege het zelfde grasmengsel in twee verschillende percelen. Bij het invullen van de beschikbare formules voor deze perioden worden er meerdere uitkomsten gevormd van 0,8 en hoger. De REP-LI blijft in dit geval steken bij een correlatie van 0,89. De uitkomst voor de formule van DCNI komt uit op een overtuigende 0,94 correlatie. De significantie bedraagt respectievelijk 5,5% en 2,8%, wat aangeeft dat de uitkomst van de REP-LI eigenlijk niet betrouwbaar genoeg is en dat de DCNI wel een betrouwbaar beeld van de ruw eiwit gehalten kan geven.

Als vervolgens wordt gekeken naar de deling van de uitkomsten van worden hogere correlaties gehaald dan met de formules. Met een correlatie van 0,842 als maximaal behaalde en 0,3058 als laagst behaalde correlatie, kan worden gesteld dat ook de deling van waarden van de Crop Scan wel iets zeggen over de ruw eiwit gehalten in het gras. Deze waarden komen voort uit een correlatieberekening met 10 waarden. Voor de correlatie van 0,842 is de uitkomst van de golflengten 1000nm gedeeld door 950nm. De laagste correlatie is een deling van 940nm door 1650nm. Deze waarden zijn de gemiddelden van in totaal 60 achterliggende waarden. De significantie loopt voor beide uitkomsten uiteen. De hoogste correlatie heeft een significantie van 0,018% en de laagste een significantie van 9,7%. De uitkomsten van de hoogste correlatie is daarmee aangetoond geldig, terwijl de uitkomst van de laagste correlatie in twijfel kan worden gebracht. Een significantie hoger dan 5% wordt statistisch gezien als niet betrouwbaar beoordeelt. Een overzicht van de bovengenoemde correlaties is te vinden in [bijlage 8](#). Hierin worden alle maximale uitkomsten van de delingen weergegeven. In het geval van de delingen geldt niet dat er, net als bij de vergelijkingen met de Crop Circle, een betere correlatie voort komt uit vergelijkingen voor de perioden 4 en 5. In tegendeel, de correlaties dalen naarmate er minder waarden aan de correlatieberekening worden toegevoegd. Ofwel, de Crop Scan krijgt als gemiddelde van de perioden een beter overzicht over alle perioden dan dat de Crop Circle daartoe in staat is. Echter, de Crop Circle krijgt hoge correlaties uit metingen nadat er een ijking heeft plaats gevonden. Helaas kan dit niet volledig worden bevestigd aangezien deze bewerking enkel refereert naar de vergelijking tussen Crop Scan en ruw eiwit in de perioden 4 en 5. De perioden 12, 13 en 14 kunnen niet met de Crop Scan worden geanalyseerd. Er kan daarom niet worden uitgesloten dat de Crop Scan ook een hogere correlatie dan de Crop Circle haalt in de laatste drie meetperioden.

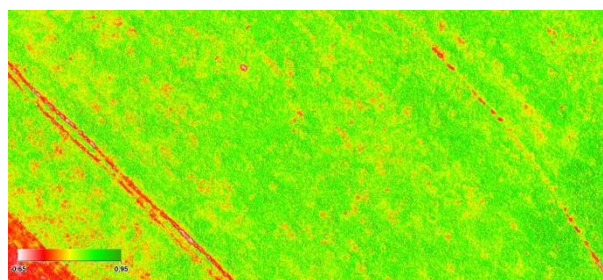
5.1.3 Urineplekken spotten met dronebeelden

Tijdens de beweidingen is er twee keer met een drone over de beweidde percelen gevlogen. 1 Van deze vluchten heeft daadwerkelijk beelden opgeleverd die nader konden worden bekeken. Aangezien de inzet van de drone ter verkenning werd ingezet, hebben de beelden geen prioriteit gehad voor het onderzoek. Desondanks is er wel tijd ingestoken en daarom worden de mogelijkheden en resultaten wel uitgewerkt. Voor een vervolgproef kunnen deze mogelijkheden en vermoedens wellicht verder worden uitgewerkt en/of toegepast.

De onderstaande twee dronebeelden geven een totaalbeeld van de percelen waar overheen is gevlogen met de drone. Figuur 1 is een visueel totaal beeld van de percelen en figuur 2 ontstaat uit hetzelfde beeld, maar kan met een berekening worden omgezet naar een zogeheten Green Leaf Index (GLI) van het gewas.



Figuur 3 Visueel dronebeeld ingezoomd perceel 9



Figuur 4 Green Leaf Index dronebeeld ingezoomd perceel 9

Voor een uitvergrootte versie van de afbeeldingen wordt verwezen naar [bijlage 9](#). In deze vergrootte afbeeldingen zijn cirkels geplaatst waarin zich mogelijk mest bevindt. In de bijlage zijn ook de

beelden van de NGRDI (Normalized Green Red Difference Index), Vari (Visible atmospherically resistant index) en TGI (Triangular Greenness Index) opgenomen. Op het visuele beeld zijn deze mestflatten te onderscheiden vanwege de bruin/witte kleur. Op de beelden van de GLI komen deze mestflatten naar voren als witte of fel rood geconcentreerde punten. Het nadeel van deze beelden is dat er verschillende soorten plekken in het perceel dezelfde kleur uitstralen. Zo is bijvoorbeeld een loopspoor dat door het vee is gemaakt tijdens het weiden achterin een perceel qua kleur niet te onderscheiden van een mestflat. Het menselijk brein kan hierin onderscheid maken vanwege onze kennis over het perceel en het kunnen linken van vormen aan gebeurtenissen. Een computerprogramma dat dergelijk onderscheid moet gaan maken zal dus slim moeten worden gemaakt met deze achterliggende kennis dat wordt gekoppeld aan kleurwaarden die overeenkomen met deze kennis. Een mestflat heeft bijvoorbeeld een klein bepaald oppervlak en heeft vaak extra gras/biomassa rondom. Dit kan een ingeving zijn voor een berekening voor het automatisch zoeken van mestflatten.

Tot zover de mestflatten, want de werkelijke essentie heeft betrekking op het vinden van urineplekken in het perceel. Dit lijkt een lastigere procedure, omdat het perspectief van bovenaf een andere kijk geeft op het gras. Dit kan komen door de daarbij aanwezige urinevlekken, mestflatten, niet egaal afgevreten gras, schaduwplekken die ontstaan naast niet afgevreten bossen gras, rijsporen van een trekker, loopsporen van het vee, contrast in graskleur en eventuele overlap van foto's welke zijn genomen door de drone die zorgen voor een kleine vertekening in het beeld. Omdat de weergaven van de GLI beelden worden gevormd vanuit het visuele beeld, worden de hiervoor genoemde aspecten ook doorberekend in de GLI beelden. Dit lijkt zoals genoemd te werken om de mestflatten te kunnen onderscheiden van het gras en andere storingen op het oppervlak. Maar omdat de kleur van donker groen gras boven de urineplekken, slecht afgevreten plekken gras en schaduwvorming op elkaar kunnen lijken, is er niet zomaar een onderscheid te maken tussen de urineplekken en overig gras. Daarnaast zijn de gemaakte beelden niet op het moment genomen zoals bedoeld. Voorafgaand aan het vliegen is een visuele waarneming met een aantal personen in het perceel gedaan, terwijl de koppel proefkoeien aan het weiden was. De plekken waar de koeien urineerden en mest lieten vallen zijn toen gemarkeerd. Een vier tot tien dagen later zou er vervolgens met de drone worden gevlogen om te kijken of er urineplekken en/of mestflatten zichtbaar zouden zijn op de dronebeelden. Echter heeft de drone wegens omstandigheden niet binnen een periode van drie weken kunnen vliegen, waardoor het gras in het gebied van de waarnemingen al weer dusdanig was aangegroeid waardoor de urineplekken niet meer overduidelijk zichtbaar waren. Daarbij kwam dat de drone de beelden niet heeft opgeslagen. Een week later is opnieuw gevlogen over een willekeurig deel van de percelen van De Schothorst. Deze beelden zijn hierboven uitgewerkt. Wel zijn er op de beelden binnen de pas voor het vliegen beweidde percelen mogelijke urineplekken te zien. Echter zijn dit geen percelen waar een waarneming is uitgevoerd, waardoor deze vermoedens niet kunnen worden bevestigd. Om een dergelijke proef opnieuw uit te voeren kan rekening worden gehouden met de aanbevelingen uit hoofdstuk 7 Aanbevelingen vervolgonderzoek. In een rapport (Roten, et al., 2016) over het vinden van urineplekken in beweidde percelen wordt uitgelegd dat er met een LiDAR camera over beweidde percelen is gevlogen. In het onderzoek is gezocht naar de urineplekken op basis van grashoogte verschillen in het perceel. Doormiddel van een berekening voor de oppervlakte van de gevonden plekken is geprobeerd te bepalen of er urineplekken konden worden gevonden. De praktische inzet van deze dronevlucht was

niet bewezen, maar de resultaten geven wel aan dat nader onderzoek voor het vliegen met LiDAR wel de moeite waard is. LiDAR staat voor 'Light Detection and Ranging'.

5.1.4 Camerabeelden in de weide en de stal

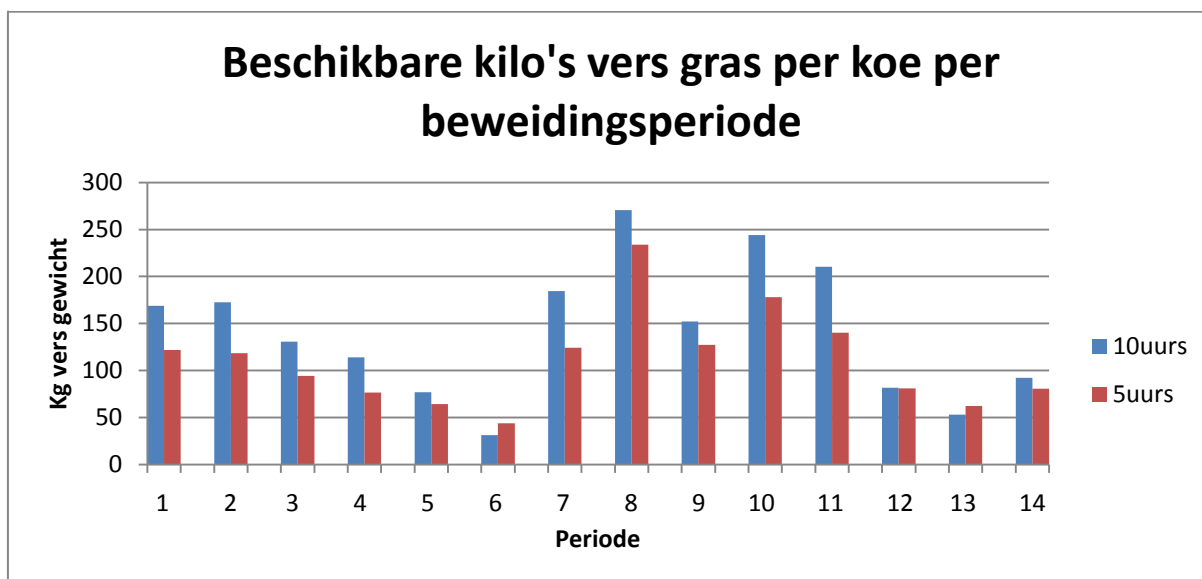
Gedurende de metingen is er een aantal dagen geprobeerd met een camera op een hoge paal aan de zijkant van het land vast te leggen hoe vaak en waar werd geürineerd en gedefecerd. Meerdere malen zijn verkeerde instellingen aan de camera meegegeven waardoor de opnamen niet bruikbaar waren. De opname die wel is gelukt, heeft beelden laten zien welke beperkt bruikbaar zouden kunnen zijn. Het idee van de inzet van een camera is, om het aantal keer dat er is geürineerd te kunnen registreren. Ten eerste heeft een camera aan de zijkant van het perceel maar een relatief klein overzicht. Zowel in de breedte als de diepte van het perceel kan beperkt op een goede manier worden gevolgd wat er gebeurt in het land. Om een volledig beeld te krijgen van de gebeurtenissen binnen het perceel zullen meerdere camera's moeten worden ingezet. Of dit een realistisch te realiseren opstelling is, is een tweede. Om de plaats en/of het aantal keer dat er wordt geürineerd en gedefecerd te registreren zal een algoritme moeten worden ontwikkeld dat de mogelijkheid biedt om onderscheid te kunnen maken tussen urine en mest. Een voorbeeld kan worden genomen aan de monitoringsapparatuur waarbij bijvoorbeeld de ogen van een persoon achter de computer worden gevolgd om te achterhalen welk gebied op het computerscherm de aandacht van de persoon trekt. De software achter deze detectie is dusdanig opgebouwd dat de ogen in het gezicht door de software wordt gevonden en vervolgens kunnen worden gevolgd. Wellicht dat het in de toekomst mogelijk is/wordt om een koe in het perceel te volgen en te detecteren wanneer er wordt geürineerd. In dit verslag zal niet verder in worden gegaan op dit onderwerp, vanwege het gebrek aan resultaten en resultaatverwachtingen.

5.2 Bepaling daadwerkelijke en gemeten grashoeveelheid

In hoofdstuk 3 is uitgelegd welke methode is toegepast om de daadwerkelijke grasopname te bepalen. Deze paragraaf zal uitwerken in hoeverre de ingezette sensoren dezelfde waarden en/of verhoudingen in grashoeveelheid weergeven. Hierbij is met name ingezet op de validatie van de sensoren.

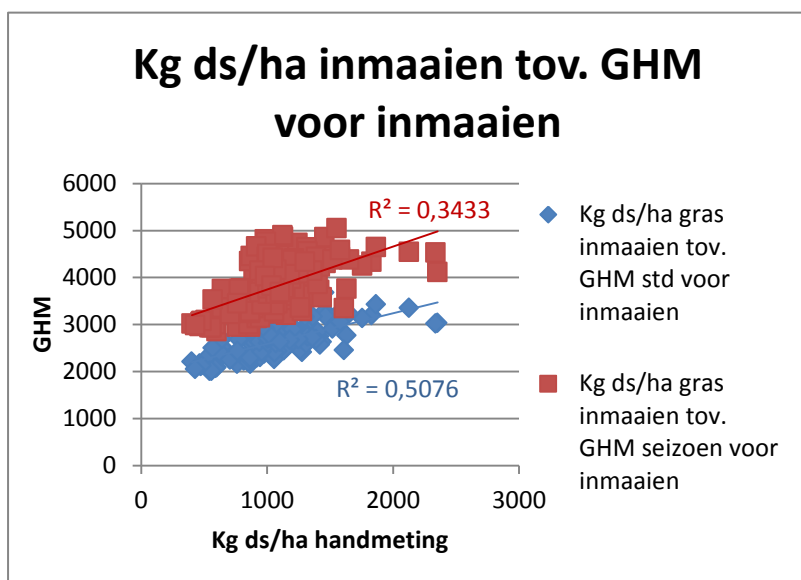
Onderstaande tabel 4 geeft een inzicht in de grashoeveelheid voorafgaand aan het beweiden per groep per beweidsperiode. Per beweide groep is dit een gemiddelde van het aantal uitgemaaide grasstroken. De getoonde waarden zijn een som van de gemeten opbrengst op uitgemaaide grasstrook verrekend tot opbrengst per hectare. De opbrengst per hectare geeft een eerlijker beeld van de opbrengst per strook, omdat de lengte van de uitgemaaide grasstroken per strook verschilt waardoor het gemaaide oppervlak niet altijd hetzelfde is. Een weergave van de beschikbare kilo's vers gras per koe per beweidsperiode kan worden bekeken in tabel 4. Omdat tijdens de meetperioden niet altijd de lengten van de beweide percelen zijn opgemeten, zijn de beweide oppervlakten in sommige gevallen bij benadering genoteerd. De daadwerkelijke beschikbare kilo's gras kunnen daarom afwijken. Tabellen met een overzicht van de beschikbare kilo's droge stof-, opgenomen kilo's vers gras- en opgenomen kilo's droge stof per koe per beweidsperiode zijn terug te vinden in bijlage 3.

Tabel 4 Geeft weer hoeveel kilo vers gras een koe per beweidsperiode van 3 of 4 dagen op heeft kunnen nemen



5.2.1 Jenquip EC10 grashoogtemeter

Om een eerste vergelijking te maken met één van de sensoren en de gewichten van de vers gras metingen, wordt de Jenquip EC10 grashoogtemeter uitgewerkt. Onderstaande vergelijking 3 geeft van alle betrouwbare verrichte metingen de correlatie weer tussen het gemiddelde van de gewogen kilogrammen drogestof vers gewicht van het gras dat voorafgaand aan de beweiding beschikbaar was en het gemiddelde van de met de grashoogtemeter (GHM) gemeten grasstroken.



De vergelijking laat zien dat ruim 50% van alle betrouwbare hoogtemetingen (126 stuks) kunnen worden verklaard aan de hand van een lineaire vergelijking. Met een significantie van nagenoeg 0% kan toeval van de uitkomst worden uitgesloten. De Jenquip EC10 grashoogtemeter kan dus voor een indicatie van de aanwezige kg ds/ha worden gebruikt, maar een betrouwbaar correct beeld zal nooit worden verkregen.

Vergelijking 3 Kg ds/ha handmeting tov. Kg ds/ha grashoogtemeter

Daarnaast is in de 2^e (rode) vergelijking te zien hoe de kilogrammen drogestof per hectare zich verhouden ten opzichte van de grashoogtemetingen waarbij de bijbehorende formule is toegepast. Deze formule is toe te passen op de hoogtemetingen die worden verricht met de Jenquip EC10. Per maand / seizoen geldt een andere formule, welke een betere schatting moet geven van de op dat moment geldende omstandigheden voor het gras. Echter laat de vergelijking zien dat de correlatie

met 25% daalt na het toepassen van de formule. Op de 1^e (blauwe) vergelijking is geen variërende formule toegepast op de hoogtemetingen, behalve de standaardformule. Bij het toepassen van de formules op andere vergelijkingen werd ook duidelijk dat deze formules geen betere correlatie laten zien. Voor een overzicht van de toegepaste formules kunt u [bijlage 5](#) bekijken.

Tussen de gewogen kilogrammen vers gewicht en de waarden van de grashoogtemeter vóór het maaien wordt als hoogste een correlatie van 0,4668 gevonden ([bijlage 4 vergelijking 8](#)). Tussen het gemiddelde van de grashoogtemetingen per grasstrook (6 metingen per strook) per periode en de ronde door het gehele perceel (G30) wordt gevonden dat er wel degelijk een verhouding is tussen de twee meetmethodes (op basis van 21 gemiddelden en totaal 120 achterliggende waarden). Echter is deze verhouding lager dan verwacht. Met een lineaire correlatie van slechts 0,649 is een aanwezige verhouding aangetoond, maar de onderlinge verschillen moeten dus in acht worden genomen. De grashoogtemeter is daarmee een goede indicatie voor de hoeveelheid gras in een perceel, maar een eenduidig correcte hoeveelheid kan de grashoogtemeter niet weergeven.

Bovenstaand zijn de vergelijkingen gebaseerd op het gebruik van alle beschikbare waarden. In de tabel 5 staat een aantal correlaties weergegeven voor verschillende perioden waarbij in hetzelfde perceel is gemeten. De uitkomsten hiervan liggen soms hoger dan wanneer gebruik wordt gemaakt van alle losse waarden per gemeten grasstrook.

Tabel 5 Correlaties met bijbehorende significantie kilogrammen drogestof per hectare tov. grashoogtemeter (GHM) waarden

Correlaties Grashoogtemeter (GHM) alle waarden tov. KG ds/ha

Perceel	Grassoort		GHM voor maaien	Cumulatief GHM inmaai
5, 6, 9, 10, 13	B, F, G, C	perioden 4 tm 14	0,51	0,39
		Significantie	0%	0%
9	F	periode 4, 5	0,23	0,02
		Significantie	11%	12%
9	F	periode 4, 5, 9	0,43	0,02
		Significantie	10%	21%
13	C	periode 12, 13, 14	0,77	0,06
		Significantie	0%	0%
13	C	periode 6, 12, 13, 14	0,82	0,00
		Significantie	0%	0%
5, 6	B	perioden 7, 8	0,52	0,55
		Significantie	0%	0%
		maximale R2	0,82	0,55

Voor de periode 6, 12,13 en 14 wordt in de vergelijking tussen de gewogen kilogrammen drogestof per hectare ten opzichte van de grashoogtemetingen voorafgaand aan het maaien de hoogste correlatie gevonden met een significantie van nabij 0. Statistisch gezien kan deze uitkomst daarom voor waar worden aangenomen. De variatie in uitkomsten voor de grashoogtes voorafgaand aan het maaien zijn groot. De vergelijkingen met de cumulatieve grashoogten hebben dusdanig lage correlaties of hoge significanties dat deze als onbruikbaar kunnen worden gezien. Bij de cumulatieve grashoogte wordt uit gegaan van de gemeten hoogte voorafgaand aan het maaien van de grasstrook minus de gemeten grashoogte na het maaien, waardoor de lengte van het gemaaid gras overblijft. De verwachting is dat de cumulatieve grashoogte een betere correlatie zal geven dan de grashoogte

voorafgaand aan het maaien, omdat de cumulatieve grashoogte overeenkomt met de daadwerkelijke graslengte van het gemaaid gras. Het tegendeel blijkt waar te zijn. De verwachting dat het daarom moeilijk zal worden om de daadwerkelijke grasopname te kunnen bepalen neemt daarmee ook af. Overige tabellen met correlaties van de grashoogtemeter tussen de kilogrammen vers gewicht en kilogrammen drogestof met alle waarden en gemiddelden per periode zijn te vinden in [bijlage 4.1](#).

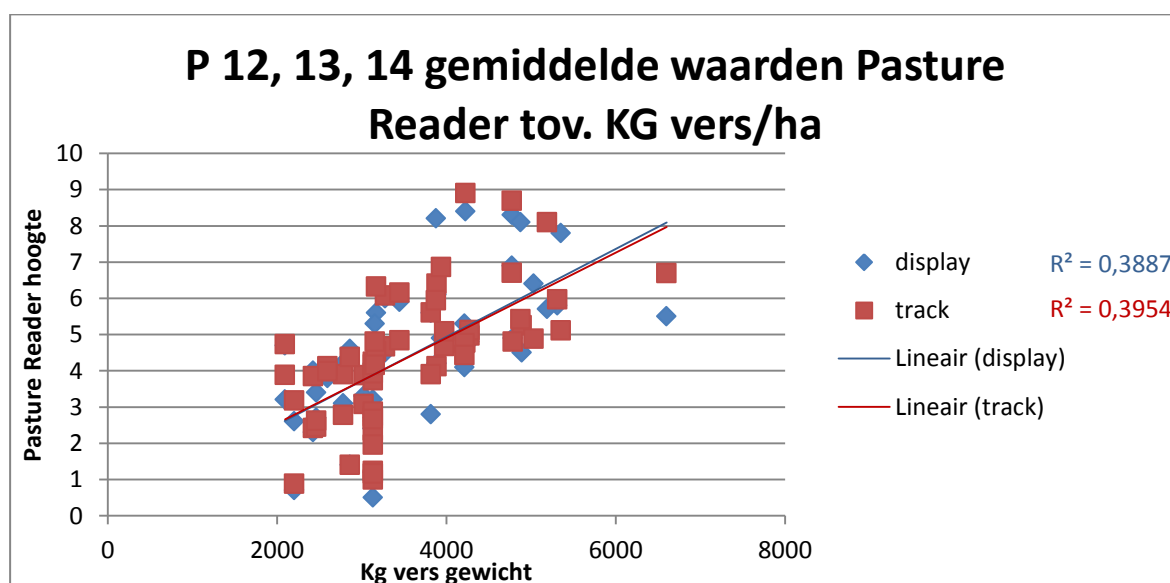
Al met al kan worden gesteld dat de Jenquip EC10 grashoogtemeter een goede indicator is voor het bepalen van de aanwezige kilogrammen drogestof in een perceel. Echter mag er niet vanuit worden gegaan dat de grashoogtemeter de daadwerkelijk aanwezige kilogrammen drogestof weergeeft. Boerenverstand is nog steeds nodig om de schatting te kunnen bevestigen.

5.2.2 Pasture Reader

De Pasture Reader is vanaf periode 12 ingezet in de proef. Hierdoor zijn minder gegevens verzameld met deze sensor. Wel zijn er metingen in veelvoud gedaan.

Voordat de data worden gelezen is het goed om te weten dat de Pasture Reader twee te interpreteren waarden toont. Allereerst heeft de Pasture Reader een display waarop alle gemiddelden van de metingen zijn af te lezen. Deze waarden worden voornamelijk 'display' genoemd in de vergelijkingen. In de uitdraailijst waarin alle parameters worden opgenomen zoals de GPS nauwkeurigheid, foutmetingen en berekeningswaarden wordt ook de grashoogte weergegeven. Bij het gebruiken van deze waarden wordt de benaming 'track' of uitdraai(lijt) gebruikt.

In de onderstaande vergelijking zijn in de laatste drie perioden van de display weergave en de laatste drie perioden van de uitdraailijst afgezet tegen de kilogrammen vers gewicht per grasstrook. In de vergelijkingen worden 72 waarden tegen elkaar afgezet. Deze waarden zijn gemeten op zowel de uitgemaaide grasstrook zelf en metingen die zijn verricht over de gehele breedte van het beweide perceel ter hoogte van de uitgemaaide grasstroken.



Vergelijking 4 Vergelijking tussen de waarden van de Pasture Reader uit de perioden 12, 13 en 14 ten opzichte van de gewogen vers gewichten per grasstrook

Bovenstaande vergelijking X toont dat de vergelijkingen een relatief lage correlatie geven. De onderlinge verschillen tussen de twee vergelijkingen zijn klein, wat aantoont dat de waarden op de

display en de waarden uit de uitdraailijst zeker met elkaar van doen hebben, maar dat de gemiddelde waarde op de display niet een één-op-één gemiddelde is van de waarden uit de uitdraailijst. De lage correlatie wordt gevonden wanneer alle apart gemeten waarden in een vergelijking worden geplaatst. Echter, wanneer de gemiddelden van deze waarden worden genomen per beweidsperiode verandert de correlatie van relatief laag in een correlatie van maximaal bijna 83% met een significantie van 1,16%. Statistisch gezien is deze correlatie daarmee geldig, maar door het gebruik van slechts zes waarden om tot deze correlatie te komen kan deze hoge correlatie wellicht is twijfel worden getrokken. Daar bovenop wordt zelfs een correlatie van 93,5% behaald met een significantie van 3,3% op basis van slechts vier gemiddelden. Volgens de statistiek wederom geldig, maar praktisch gezien ook in twijfel te brengen.

Voor de vergelijking tussen de kilogrammen vers gewicht en de waarden van de Pasture Reader uit de uitdraailijst (track) zijn ook waarden van de Pasture Reader beschikbaar voor periode 11. Om een eerlijke vergelijking te krijgen tussen de display-waarden en track-waarden is ervoor gekozen om de vergelijking in de grafiek te beperken tot de perioden 12, 13 en 14. Wanneer periode 11 wel in de vergelijking wordt meegenomen, wordt de correlatie van die vergelijking verhoogd tot 49,66% met een des te lagere significantie. De correlatie in de vergelijking tussen de gemiddelden per beweidsperiode en het vers gras gewicht wordt in dat geval lager. Met een correlatie van 72,13% voor de vergelijking met de kilogrammen vers gewicht en 74% met de kilogrammen drogestof is dit niet laag te noemen. Echter, wanneer deze trend bij bijvoorbeeld 10 perioden wordt doorgezet is de uitkomst waarschijnlijk niet langer relevant, omdat meer waarden ervoor zullen zorgen dat de correlatie daalt.

In bijlage 6 is de vergelijkingen te vinden waarbij een overtuigende correlatie wordt gevonden. De losse meetwaarden waarmee in de vergelijkingen is gewerkt worden per beweidsperiode met elkaar vergeleken. De correlatie komt minimaal uit op 69,3%. Maximaal wordt dan een correlatie van maar liefst 82,99% gehaald. Ofwel, de afzonderlijke metingen van een grasstrook kunnen qua correlatie zeer variëren, maar wanneer deze variatie wordt uitgefilterd door een gemiddelde te nemen per periode, kan de Pasture Reader met een overtuigende correlatie de grashoeveelheid aantonen in een perceel. Deze overtuigende correlatie geldt in dit geval voor de waarde dat op de display van de Pasture Reader wordt weergegeven. Het verschil tussen de kilogrammen vers gewicht en kilogrammen drogestof geven daarbij een minimaal verschil in correlatie.

Na afloop van de meetperioden waarbij de koeien buiten liepen, zijn er ook metingen met de Pasture Reader verricht. De referentie voor de meetwaarden is hierbij gemeten doormiddel van een uitmaaivlak van exact 0,25 vierkante meter. Echter zijn de gevonden correlaties in deze methode dusdanig laag gebleken, dat de resultaten hiervan buiten beschouwing zijn gelaten.

5.3 Ervaring met de sensoren

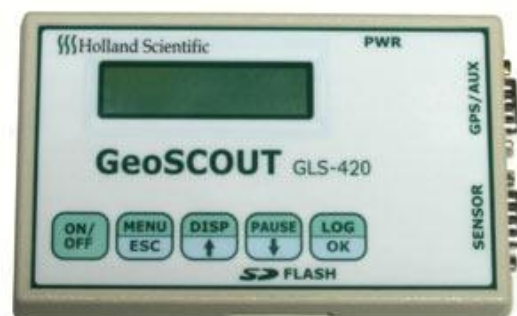
De sensoren geven in het algemeen een gebruiksvriendelijke indruk. Het verschil in gebruik ontstaat vooral bij de mogelijkheid om al dan niet een continumeting te verrichten. Voor de praktijk zal het betekenen dat de Pasture Reader en de Crop Circle op een rijdend voertuig zoals een trekker of quad kunnen worden gemonteerd. De grashoogtemeter en Crop Scan zijn bedoeld voor handmatig gebruik. Het is daarmee van belang af te wegen of de sensor in grote percelen gaat worden ingesteld of dat er op een kleine huiskavel wordt gewerkt. Een voordeel van de continumetingen is dat er een nauwkeurigere meting kan worden uitgevoerd, omdat er letterlijk meerdere metingen worden

verricht. Het doet vermoeden dat de continu metingen zullen kunnen worden ingezet voor gegevens die daadwerkelijk in een model kunnen worden opgenomen voor de totaal berekening van de 'stikstofbalans' op een bedrijf.

Specifiek, de Jenquip EC10 grashoogtemeter is vanaf de eerste meting ingezet. Na een tijdje gebruiken is al snel duidelijk hoe de grashoogtemeter werkt. Met een simpele display en een aantal drukknoppen is de grashoogtemeter makkelijk in de bediening. Het aflezen gaat makkelijk vanwege grote cijfers. De duidelijk hoorbare pieptonen van de grashoogtemeter maken het mogelijk de metingen te verrichten zonder dat de display in de gaten gehouden hoeft te worden. Het uitlezen van de Jenquip is doormiddel van een computerprogramma snel en eenvoudig. De metingen kunnen in een kolom worden weergegeven in de software of worden bekeken en verwerkt in een CSV bestand.

De Pasture Reader werkt zeer gebruiksvriendelijk en duidelijk. Het touchscreen display reageert goed op de aanrakingen en geeft verschillende mogelijkheden om informatie af te lezen. Dit houdt in dat de metingen met gemiddelden kan worden gevolgd of de metingen worden direct in een grafiek weergegeven. Voor bedrijfsmatig gebruik zal de display vanuit de bestuurderspositie te bedienen zijn en bevindt de sensor zich voorop het voertuig of het werktuig dat zich voor het voertuig bevindt. In veel gevallen zal dit voertuig een trekker of een quad betreffen. De sensor heeft geen storingen gegeven. De parameters voor het berekenen van de kilogrammen gras of de positie van de sensor ten opzichte van de ondergrond e.d. kunnen worden ingesteld. Hierdoor is de sensor precies in te stellen voor de specifieke taak dat moet worden uitgevoerd.

Tijdens het werken met de Crop Circle (3 bands multispectraalsensor) is het voordeel van een continu metende sensor direct merkbaar. Er kan vlot door het perceel worden (in dit geval) gelopen om de metingen te verrichten. Op de display van de logger⁵ is tijdens het meten af te lezen welke NDVI waarde wordt gemeten. Daarnaast wordt weergegeven aan welke plot wordt gewerkt. De Crop Circle heeft namelijk de mogelijkheid meerdere bestanden aan te maken waarop meerdere aaneengesloten metingen kunnen worden geschreven. Met een 'aaneengesloten meting' wordt de registratie bedoeld vanaf het activeren van het loggen⁶ tot het stoppen van het loggen. De metingen



Figuur 5 Logger van de Crop Circle

worden opgeslagen op een SD kaart. Deze SD kaart kan met de computer worden uitgewisseld om bestanden over te zetten of in te zien. De Crop Circle heeft niet de mogelijkheid de meetgegevens direct vanuit de logger in te zien. De meetgegevens worden opgeslagen in een CSV bestand waardoor praktisch gezien elk computerprogramma de data kan inladen. De LED verlichting dat maakt dat de Crop Circle een actieve sensor kan worden genoemd zorgt niet voor een dusdanige lichtopbrengst dat dit het zonlicht overtreft. Over de doeltreffendheid van deze actieve verlichting kan dus worden getwijfel. En omdat de gebruikte versie van de Crop Circle (ACS-430) niet werkt met een lichtsensoren die de meetgegevens kan corrigeren op

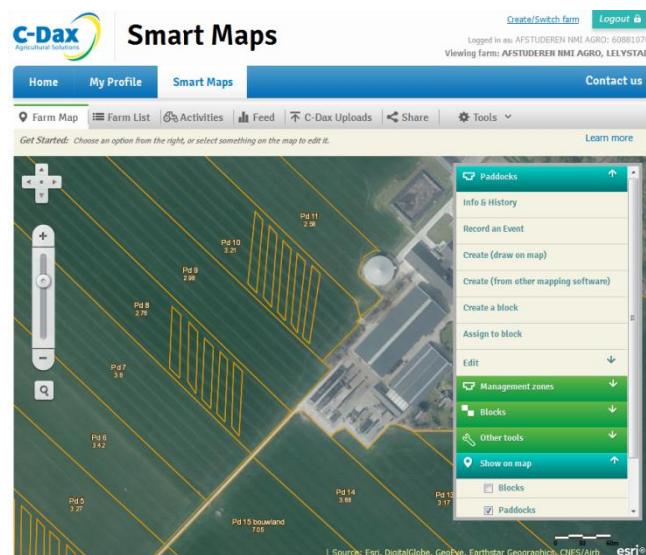
⁵ Verwerkingsapparaat dat ervoor zorgt de meetgegevens worden opgeslagen

⁶ Opslaan van gegevens

de lichtintensiteit/-instraling op het gewas, kan niet worden gezegd in hoeverre de lichtintensiteit de meetresultaten beïnvloed.

De Crop Scan beschikt over 16 banden waarvan de golflengten worden gemeten. Dit voordeel ten opzichte van de Crop Circle heeft echter wel een nadeel voor het gebruik. De Crop Scan is ten eerste een verouderd systeem en ten tweede heeft de Crop Scan een aantal seconden nodig om een meting te verrichten. Tijdens het verrichten van deze meting moet de sensor stil boven het gras worden gehangen. Wel worden er tijdens het verrichten van de meting 18 metingen verricht op dezelfde plek. Eventuele schommelingen in de resultaten vanwege omliggende factoren kunnen daarmee worden uitgefilterd, waardoor de meting op die ene plek wel betrouwbaarder wordt. Wanneer een gemiddelde nodig is voor de bepaling van de gemiddelde ruw eiwit gehalten in een perceel betekent dit dat er of heel veel metingen achter elkaar moeten worden verricht in één perceel wat als nadeel heeft dat het veel tijd in beslag neemt. Of er moet voor worden gekozen om met minder metingen een gemiddelde te bepalen van de ruw eiwit toestand waarbij dus wordt volstaan met minder verdeelde metingen.

Het inzetten van de C-Dax is anders verlopen dan vooraf was ingepland. Nadat er een mogelijkheid was gevonden om de C-Dax te trekken kon ook worden begonnen met het meten. De eerste metingen maakten al snel duidelijk dat er grotere oppervlakten met de C-Dax moeten worden gemaakt om het apparaat tot zijn recht te laten komen. Het meten van de korte grasstroken was niet praktisch om uit te voeren. Daarnaast werd al snel duidelijk dat er moest worden gewerkt met software om het werken met de C-Dax mogelijk te maken. Na enig proberen bleek dit een internetportal te zijn waarop een account



Figuur 6 Internetportal Smart Maps; www.myravensdown.co.nz

kan worden aangemaakt. De software maakt het mogelijk om percelen handmatig in te tekenen in een soort van Google Earth. De percelen worden op de bedieningsterminal van de C-Dax herkend. Elke meting dat wordt verricht, wordt aan de hand van de GPS ontvanger in de bedieningsterminal toegewezen aan de ingetekende percelen. De gemiddelde grasstatus en groeicurven worden daarmee uitgerekend per ingetekend perceel. Een losse Excel sheet is niet te verkrijgen. Het programma is daarmee al ingericht voor praktisch dynamisch gebruik. De gemeten data kunnen via een internet verbinding worden geüpload naar de internetportal en vervolgens worden ingezien via Smart Maps. De portal biedt de mogelijkheid om feed-wedges toe te passen waarbij eigen instellingen en voorkeuren kunnen worden ingevoerd. Op basis van deze instellingen wordt een advies gegeven voor onder andere het in- en uitscharen voor beweiding. Het werken met de C-Dax opzicht is makkelijk. De bediening loopt via een touchscreen windows computer/tablet. Deze bedieningsterminal is via wifi verbonden met de C-Dax. De bedieningsterminal werkt op een accu en de C-Dax kan met een 12 Volt aansluiting worden aangesloten op de accu van het trekkende voertuig. De problematiek dat tijdens het meten in het veld is ondervonden wanneer er geen

percelen worden ingetekend, is dat de gegevens per perceel per upload worden opgeslagen. Het is dus niet mogelijk meerdere metingen uit te voeren in éénzelfde ingetekend perceel te verrichten, zonder dat de verzamelde data tussendoor middels een internetverbinding worden geüpload. En om deze internetverbinding tot stand te brengen, moet de verbinding met de C-Dax worden verbroken. De Windows tablet beschikt immers maar over één internetkaart. Het ontkoppelen en vervolgens opnieuw verbinding maken tussen de tablet en C-Dax ging niet altijd goed. Wel kan daarbij de opmerking worden geplaatst dat deze manier van werken niet de juiste was. De student heeft in dit geval te weinig vooronderzoek naar de werking van de C-Dax gedaan. In combinatie met een verkeerde interpretatie van de software en uiteindelijk het falen van de bedieningsterminal is het testen van de C-Dax niet goed uitgevoerd. De metingen van de C-Dax zijn daarmee ook niet relevant voor het onderzoek te noemen, waardoor de C-Dax uit de resultaten is gelaten.

Op het moment dat er met een drone wordt gevlogen over het perceel en het kan worden bewezen dat het werkt om urineplekken van bovenaf te spotten, dan zijn er zowel voor- als nadelen bij het inzetten van een drone. Een voordeel van een drone is dat het gewas kan worden beoordeeld zonder dat het gewas plat hoeft te worden gereden. Dit heeft met name voordelen in het geval van bepalen hoeveel stikstof er aanwezig is in het gras voorafgaand aan het beweiden. In deze proef is geprobeerd om met de beelden te bepalen hoeveel stikstof er tijdens het beweiden is geürineerd in het perceel. Bij het bepalen van het aantal urineplekken is het niet per se relevant of er wel of geen gewas plat wordt gereden, omdat het perceel dan al beweide is. Wel kan er met een drone snel een totaalbeeld worden verkregen van een oppervlak waarbij elke centimeter wordt meegenomen in de scan. Nadat er is gevlogen kunnen er meerdere algoritmes op de beelden worden toegepast, waardoor verschillende kaarten kunnen worden gevormd. Kanttekening daarbij is dat al die algoritmen worden toegepast op dat ene 'basisbeeld'. Met de algoritmen kunnen de opvallende plekken wel beter naar voren worden gehaald. De directe nadelen met het vliegen van een drone zijn dat er ten eerste rekening moet worden gehouden met de weersomstandigheden. Bij te veel wind, regen of mist kan niet worden gevlogen of zullen de beelden niet goed kunnen worden genomen. Daarnaast maak je met een drone deel uit van het vliegverkeer en dienen de vluchten op commerciële basis aan te worden gevraagd bij de luchtverkeersleiding als er vanaf 5 kilometer van een luchthaven wordt gevlogen. Pas na goedkeuren van de luchtverkeersleiding kan er vervolgens wel worden gevlogen. Daarnaast dient een minimale afstand van 150 meter van de 80 km/u (en sneller) wegen in acht te worden genomen. Deze beperkingen maken dat niet altijd over alle perceel delen kan worden gevlogen. Grondsensoren hebben geen last van dergelijke wet- en regelgeving, waardoor de praktisch (dagelijkse) toepassing beter haalbaar is. De bediening van een drone gaat bij professionele modellen veelal automatisch, waardoor het gebruik ervan makkelijk en toegankelijk is. Wel is er voor de bediening van een drone voor commerciële doeleinden een vlieglicentie verplicht wanneer bijvoorbeeld boven een bepaalde hoogte wordt gevlogen. Voor een overzicht van wet- en regelgeving voor het vliegen met een drone kijk op www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/drones

5.4 Kunnen sensoren bepalen hoeveel gras wordt opgenomen

Het grote verschil tussen het kunnen bepalen hoeveel gras er beschikbaar is in een perceel voorafgaand aan een beweiding en het bepalen van de totale grasopname door het vee tijdens de beweidsperiode van drie á vier dagen is het grasvolume. Voorafgaand aan een beweiding kan met de sensoren over een veelal dichte grasmatten worden gemeten. Na het beweiden van een perceel staan er alleen nog grasstoppels, plukken gras, zijn er mestflatten bijgekomen en zijn er platgetrapte stukken gras in het perceel te vinden. De variatie in het perceel is daarmee groot. Om met een

hoogtemeter in een beweide perceel metingen te kunnen verrichten moeten daarom representatieve plekken in het perceel worden uitgezocht in het geval van het uitmaaïen van de grasstroken. Hierin mochten geen mestflatten worden meegenomen, terwijl de grasplukken die zijn blijven staan vaak juist in of rondom de mestflatten zijn te vinden. Echter heeft dit alleen betrekking op de proefmetingen. In de praktijk zal niet worden uitgemaaid en kan met een grashoogtemeter in elk stuk van het perceel worden gemeten. De kanttekening voor het meten met een grashoogtemeter is wederom dat er selectief kan worden gemeten. Er moet een representatieve meting worden gedaan dat het gemiddelde van het gehele perceel weergeeft. Het beste is daarom blind een vast patroon door het perceel te lopen. Met blind wordt bedoeld dat er niet naar de ondergrond wordt gekeken om te voorkomen dat er selectief wordt gemeten met de hoogtemeter. De onderstaande tabellen 6 en 7 geven de correlaties weer tussen de totale grasopname aan de hand van de metingen met grashoogtemeter en een berekende bijgroei per beweidsperiode ten opzichte van de kilogrammen vers gewicht en de kilogrammen drogestof. De correlaties zijn gebaseerd op gemiddelde waarden per beweidsperiode per groep koeien. Tabel 6 bevat correlaties waarbij is gerekend met de lengte voorafgaand aan het inmaaïen minus de lengte van het gras voorafgaand aan het terugmaaïen plus de berekende bijgroei. In tabel 7 is gerekend met de som van de lengte van

Tabel 6 Correlaties grashoogtemeter tov. Kg vers en Kg drogestof zonder de meting na het maaïen

R2 kg vers	G6	G30
alle perioden	0,07	0,02
periode 4, 5	0,00	0,99
periode 4, 5, 9	0,01	0,23
periode 6, 12, 13, 14	0,33	0,24
periode 12, 13, 14	0,56	0,12
periode 7, 8	0,55	0,67
R2 kg ds		
alle perioden	0,47	0,29
periode 4, 5	0,25	0,54
periode 4, 5, 9	0,23	0,13
periode 6, 12, 13, 14	0,22	0,19
periode 12, 13, 14	0,50	0,03
periode 7, 8	0,77	0,58

Tabel 7 Correlaties grashoogtemeter tov. Kg vers en Kg drogestof voor som van voor en na maaïen voor zowel inmaaïen als terugmaaïen

R2 kg vers	G6	G30
alle perioden	0,18	0,02
periode 4, 5	0,52	0,99
periode 4, 5, 9	0,36	0,23
periode 6, 12, 13, 14	0,04	0,24
periode 12, 13, 14	0,64	0,12
periode 7, 8	0,58	0,67
R2 kg ds		
alle perioden	0,62	0,29
periode 4, 5	0,05	0,54
periode 4, 5, 9	0,04	0,13
periode 6, 12, 13, 14	0,01	0,19
periode 12, 13, 14	0,70	0,03
periode 7, 8	0,73	0,58

het gemaaid gras voorafgaand aan de beweiding minus de lengte van het gemaaid gras na afloop van de beweiding. Met deze som is het beschikbare gras voorafgaand aan de beweiding en de weiderest berekend. Daar is de achteraf berekende bijgroei bij opgeteld. Dit geeft de totale grasopname in de beweidsperiode. De waarden van het inmaaïen en terugmaaïen zijn gemiddelden van de uitgemaaid grasstroken per beweide groep koeien per beweidsperiode. De reden voor deze twee berekeningen komt voort uit de bevindingen met de resultaten van de grashoogtemeter. Uit de vergelijkingen blijkt dat de metingen voorafgaand aan het maaïen van het gras de meest representatieve waarden geven voor het gewogen gewicht van het gemaaid gras. De verschillen die ontstaan tussen de waarden voorafgaand aan het beweiden en het cumulatief van de grashoogte voorafgaand aan het maaïen minus de grashoogte na het maaïen worden daarmee weergegeven in tabel 7.

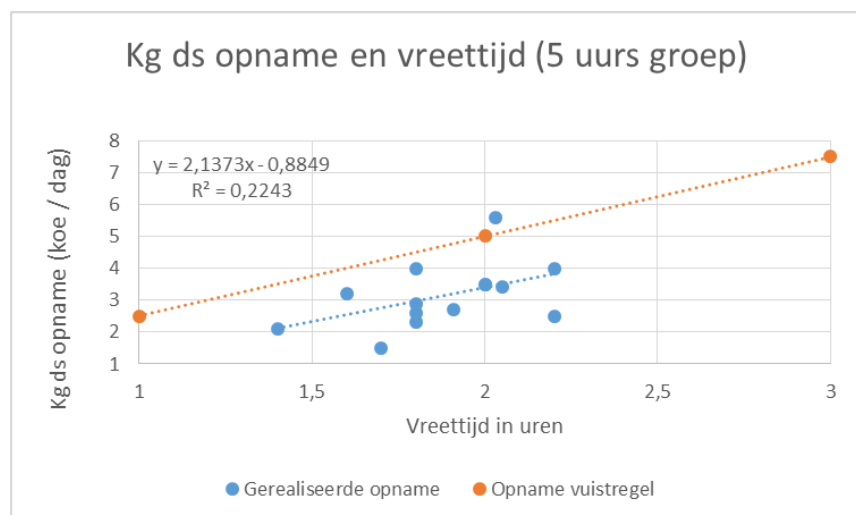
Uit deze bovenstaande correlaties blijkt dat het bepalen van de totale grasopname geen eenduidig beeld geeft. Het is daarom voor nu niet mogelijk om te zeggen of, in dit geval, er met de grashoogtemeter kan worden bepaald hoeveel gras er in een beweidingsperiode in totaal is opgenomen. Met name de toestand van het gras (nat, droog, lang, enz.) is een variabele die het moeilijk maken om met één algoritme de grasopbrengsten te berekenen.

Voor de inzet van de Pasture Reader als sensor om de totale grasopname van het vee te kunnen bepalen kan niet worden vastgesteld met de meetresultaten uit deze proef. De Pasture is vooral ingezet voorafgaand aan het maaien van de grasstroken. Tijdens het terugmaaien is de Pasture Reader een minimaal aantal keren ingezet. De correlatie die wordt gevonden wanneer de meetresultaten van de beschikbare gegevens van de Pasture Reader worden afgezet tegen het gewogen vers gewicht en bijbehorende kilogrammen drogestof zijn boven de 0,9. Dit is op basis van slechts 4 gemiddelde waarden. Om deze mogelijkheid met de Pasture Reader uit te sluiten voor een goede werking van het meten van de totale grasopname zal een vervolg moeten worden gegeven aan de proef.

5.4.1 Relatie tussen koe sensor en grasopname (extern onderzoek)

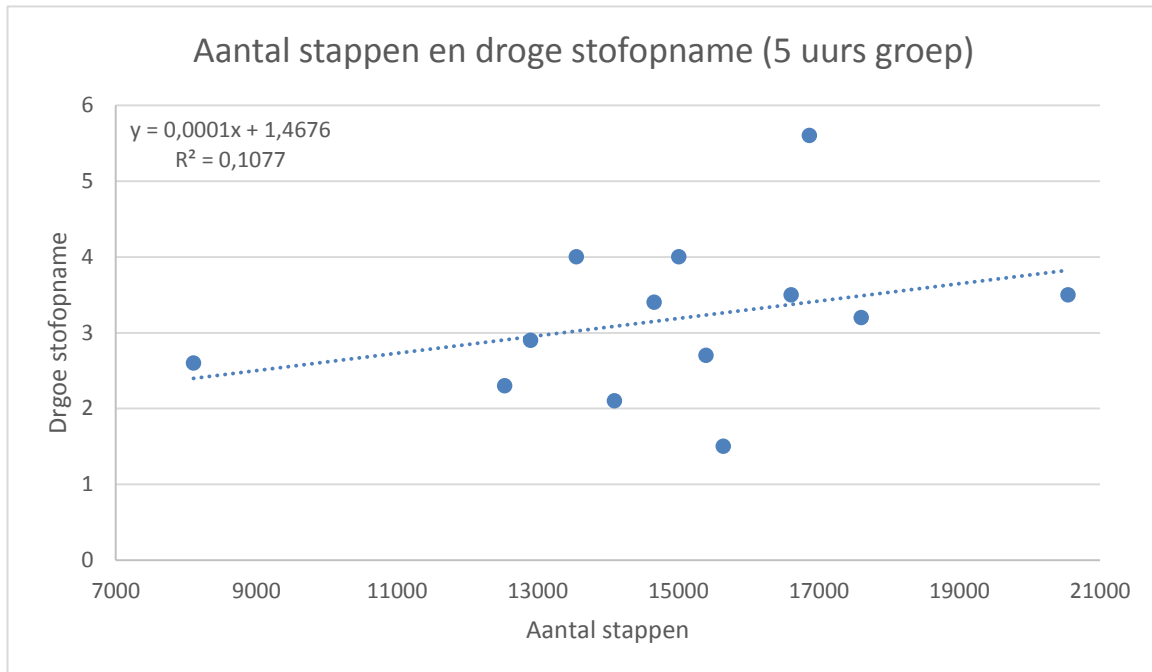
Een medestudent die ook in het project een onderzoek heeft uitgevoerd, heeft zich onder andere gericht op de relatie tussen vreettijd van een koe en de grasopname en de relatie tussen de stappenteller en de grasopname (Lugtenberg, 2017). Een korte samenvatting van de uitkomsten van het onderzoek zijn opgenomen in deze paragraaf.

Uit het onderzoek blijkt dat de vreettijd en drogestof opname voor een groep koeien niet gelijk aan elkaar zijn. Daar waar veel variatie is te zien in de drogestof opname, is de vreettijd vrij vlak per meetperiode. Factoren als smakelijkheid van het gras, weersomstandigheden, kwaliteit van het gras en inschaarhoogte zorgen voor de variatie in drogestof opname. Wel kan duidelijk worden opgemaakt dat naarmate de vreettijd stijgt, de drogestof opname ook stijgt. De correlatie bij de 5 uren groep (22%) liggen lichtelijk hoger dan bij de 10 uren groep (19%). De spreiding bij de 10 uren groep is groter. Onderstaande vergelijking 5 laat het verschil zien tussen de verwachte drogestof opname aan de hand van een vuistregel en de gerealiseerde drogestof opname van de 5 uren groep.



Vergelijking 5 Kilogram drogestof opname tov. vreettijd (5 uren groep)

In het onderzoek is ook gekeken naar het aantal gezette stappen van de koeien in een meetperiode in vergelijking met de drogestof opname in deze periode. De correlatie in deze vergelijkingen is ver te zoeken. Zowel bij de 5 uren (10%) als de 10 uren groep (0,1%) wordt geen correlatie behaald. Onderstaande vergelijking 6 geeft de spreiding weer tussen het aantal stappen dat gemiddeld door de groep koeien is gezet ten opzichte van de drogestof opname.



Vergelijking 6 Aantal stappen tov. drogestof opname voor de 5 uren groep

Voor verder informatie uit dit rapport wordt verwezen naar het rapport zelf verwezen: 'Validatie van sensoren die weidegrasopname, liggedrag en urinelozingen voorspellen'.

De conclusie die uit bovenstaande gegevens kan worden getrokken is dat met de bovenstaande sensoren niet nauwkeurig genoeg een voorspelling van de grasopname kan worden gedaan.

Discussie en conclusie

Ondanks dat er veelbelovende resultaten uit de gegevensanalyse zijn voortgekomen zijn er des te meer discussiepunten naar voren gekomen. De nadruk kan daarom op 'veelbelovende' resultaten worden gelegd. In hoofdstuk 5 zullen onduidelijkheden naar voren worden gebracht en bediscussieerd. De discussiepunten meegewogen zal een conclusie worden getrokken uit het onderzoek.

Allereerst wederom de Jenquip EC10 grashoogtemeter. Het gemak waarmee deze plaatgrashoogtemeter kan worden ingezet in het perceel is ook direct de valkuil. Omdat de enige parameter die als variabele wordt ingegeven bij het berekenen van de kilogrammen drogestof in het perceel de grashoogte is, is het moeilijk om een goede benadering te maken van de daadwerkelijk aanwezige kilogrammen drogestof. Om een precieze benadering van de kilogrammen drogestof te kunnen verkrijgen dat kan worden ingevoerd in een model zijn meer variabelen benodigd. Factoren als het drogestof percentage, de stevigheid en dichtheid van het gras wegen hard mee bij de uiteindelijke uitkomst dat door de grashoogtemeter wordt weergegeven. De stevigheid van het gras zal vanwege het ontwerp van de grashoogtemeter al worden meegenomen in de grashoogtemeting. Het gras wordt namelijk met een bepaalde tegendruk in de grashoogtemeter door de plaat 'ingedrukt'. Bij stevig gras betekend dit vaak een hogere grasopbrengst en dus zal de grashoogtemeter in dat geval ook hoger uitslaan. In combinatie met de dichtheid van het gras kan de tegendruk van het gras tegen de plaat ook al worden gecorrigeerd. Het soort gras zal hierbij een rol spelen. De meegeleverde formules maken het mogelijk om de weergave van de grashoogtemeter per seizoen of maand te corrigeren. Echter is geen groeiseizoen helemaal hetzelfde en dus zullen dergelijke formules nooit een exacte correctie geven voor het moment van meten. Kortom lijkt een plaatgrashoogtemeter goed geschikt om een indicatie van de grasstatus te geven. Het inzetten van een grashoogtemeter in een model waarmee de voerstrategie voor een groot gedeelte zal worden bepaald is echter niet een realistische gedachte.

Het inzetten van een ultrasone hoogtemeter zoals de Pasture Reader heeft als voordeel dat er een continue meting kan worden gedaan. Het gemiddelde beeld van de grashoogte in het perceel wordt daardoor betrouwbaarder. In de literatuur vertelt een rapport dat de variatie in correlatie bij het gebruik van een ultrasone sensor tussen verschillende soorten gras en de mengsels daarvan verschillen. De gevonden correlaties in het Synchroflex onderzoek komen overeen met de gevonden resultaten van het rapport ([Fricke, Richter, & Wachendorm, 2011](#)). Een ander rapport geeft daarbij aan dat het nuttig is een vegetatie index te gebruiken om de limieten van de ultrasone sensoren te overbruggen ([Fricke & Wachendorf, 2013](#)). De combinatie van ultrasone grashoogtemeting en NDSI (Normalised difference spectral indices) zorgt voor een vermindering van de variatie in de uitkomsten en verhoogt de betrouwbaarheid van de waarden. Ook bij de inzet van de Pasture Reader zullen factoren als grassoort drogestof percentage en stevigheid

van het gras een rol spelen bij de juistheid van de berekende waarden voor grasopbrengst. Ondanks het voordeel dat de Pasture Reader de dichtheid van het gras kan meten zijn de genoemde factoren een belangrijke input om per meting als extra aan de uitkomst toe te voegen. Daar waar de Pasture Reader van boven de dichtheid van het gras kan bepalen, zal de Jenquip EC10 gebruik maken van de weerstand van het gras om de dichtheid mee te nemen. Wellicht dat een combinatie van beide meettechnieken een uitkomst kan bieden. Daarbij kan het voordeel van de Pasture Reader worden toegepast dat het een continu-meting betreft en de dichtheid van bovenaf bepaald. De plaatmeter kan in dat geval de stevigheid van het gras bevestigen.

De conclusie uit dit onderzoek voor de grasopbrengst sensoren is tot nu toe dat er met de gemiddelde waarden van de proefmetingen resultaten worden geboekt die nader onderzoek waard zijn. Een enkele langdurige meting in het hele perceel zal, kijkend naar de hoge correlaties bij de gemiddelden per perceel, een goede maatstaaf voor de daadwerkelijke grasopbrengst moeten zijn. Door een langdurige (veel metingen achtereenvolgens op hetzelfde perceel) meting te doen worden de variaties in het perceel weggedrukt. Omdat er in percelen veelal over de hele breedte wordt beweid, is deze gemiddelde waarde per perceel voldoende. Afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee in het op te zetten Synchroflexmodel gaat worden gewerkt, zullen de sensoren wel of niet in een deel van de data- input kunnen voorzien. Om de grashoogtemeters nu in het algemeen te gebruiken is het 'boerenverstand' nodig om de factoren die meewegen in de bepaling van de grasstatus in de beoordeling mee te kunnen nemen.

Voor de spectraal sensoren zijn meer discussiepunten te bedenken. 1) In het geval van de gebruikte sensoren spreken we van 'reflectie' sensoren. Hiermee wordt bedoeld dat de sensor lichtgolven kan opvangen dat door de planten wordt gereflecteerd. Deze reflectie is uiteraard afhankelijk van, in deze proef, de grassoort. Daarnaast is de kracht van de lichtbron van invloed op de resultaten. Het is voor te stellen dat een sensor met een eigen lichtbron (LED licht) bij lange na niet de lichtintensiteit opwekt als wanneer de zon hoog aan de hemel brand. Omdat tijdens de metingen overdag is gemeten, is de zon dus de leverancier van het ingestraalde licht. Daarbij is dat niet elke dag dezelfde hoeveelheid zonlicht wordt ingestraald en sommige dagen is er gemeten met bewolking. In de data analyse zijn deze factoren buiten de analyse gelaten, maar de mogelijkheid bestaat dat de meetresultaten op basis van deze invloeden al een foutmarge meekrijgen. Het voordeel van Crop Scan voor dit probleem is dat de Crop Scan beschikt over een lichtinvalsensor. Deze sensor meet de hoeveelheid lichtinval en corrigeert de meetwaarden hiermee. Het verschil dat bijvoorbeeld tussen de aangeleverde NDVI-waarde van de Crop Scan en Crop Circle wordt gevonden kan daarom te maken hebben met deze lichtcorrectie. 2) De twee gebruikte N-sensoren zijn altijd boven het gras gepositioneerd. Vanuit dat perspectief kan veel meer grond / bodem tussen het gras door worden gezien als de zode niet dichtgegroeid is. Aangezien er in de bodem ook stikstof opgeslagen is, bestaat er het vermoeden dat een zichtbare ondergrond anders dan het gras invloed heeft op de uitkomst van de meting. Een NDRE index (standaard in de Crop Circle) is er voor ontwikkeld om de invloed van deze bodem uit te filteren, waardoor de NDRE-waarde een betere correlatie moet geven dan de NDVI. Dit wordt niet teruggevonden in de onderzoeksresultaten. Het verschil tussen de twee indexen is dat de NDVI voornamelijk de hoeveelheid biomassa weergeeft en de NDRE is ervoor ontwikkeld de actuele gezondheid (hoeveelheid chlorofyl), oftewel het groeipotentieel van het gewas weer te geven (AgLeader, 2016). 4) De gevonden verschillen per meetperiode kan worden gelinkt aan de meetverschillen per perceel. Daaruit volgt dat er per grassoort hoge correlaties kunnen worden behaald als gemiddelden per meetperiode. Door redenerend komt het erop neer dat de N-sensoren

een zo goed als correcte waarde kunnen gegeven dat overeenkomt met de werkelijke stikstofinhoud van het gras, zolang de sensor geijkt kan worden. Met ijken wordt bedoeld dat de waarden van de sensoren van tevoren per grassoort gelijk moeten worden gesteld aan een grasanalyse resultaat. Met andere woorden: het gebruik van de sensor als bepaling voor de stikstofinhoud van het gras kan worden toegepast nadat er eerst een grasanalyse is uitgevoerd. Of één ijking aan het begin van het seizoen volstaat, zal uit een volgend onderzoek moeten blijken. In het geval dat dit wel zou volstaan, kunnen de gebruikte N-sensoren, afgezien van alle andere factoren, worden ingezet om de stikstof van het gras te bepalen. 5) In de literatuur is te vinden dat de inzet van sensoren in een beweide perceel vele uitersten kent vanwege de beweiding. De manier waarop sensoren vaak worden getest en eventueel geijkt, vinden plaats in homogene percelen (Safari, Fricke, & Wachendorf, 2016). In het betreffende rapport wordt aangegeven dat de inzet van een combinatie van reflectie en ultrasone sensoren een oplossing kunnen bieden bij het acceptabel schatten van de hoeveelheid en inhoud van het gras. Hierbij wordt wederom de meerwaarde van een combinatie van sensoren benoemd. Daaruit kan worden opgemaakt dat de wetenschap en fabrikanten er tot op heden nog niet in zijn geslaagd een sensor te ontwikkelen waarmee meerdere factoren in één keer mee kunnen worden genomen. Waarschijnlijk simpelweg omdat de kennis voor het maken van een passend algoritme nog niet toereikend is.

Last minute is er in de gegevensverwerking ook gekeken naar de bemesting van de percelen die gebruikt zijn tijdens de meetperioden. Een kleine samenvattende tabel 8 wordt hieronder weergegeven. De tabel geeft de beschikbare kilogrammen stikstof per perceel weer op het moment van de meting en een cumulatief van kilogrammen stikstof op moment van meten. De resultaten van deze analyse zijn niet meegenomen in de argumentatie in hoofdstuk 4 omdat de gegevens te laat zijn opgevraagd.

Tabel 8 Beschikbare kilogrammen stikstof (N) per perceel op basis van bemestingsagenda

Perceel	Meetperiode	Beschikbaar tijdens beweiding	Cumulatief doorlopend tot aan beweiding
8	1, 2, 3	16	114
9	4, 5	16	114
13	6	208	321
6	7	110	572
5	8	119	714
9	9	95	434
10	10	95	234
3	11	120	865
13	12, 13, 14	63	373

De conclusie voor de N-sensoren is dat ook bij deze sensoren veel mogelijkheden liggen. De vooral betrouwbare werking blijkt echter nog niet bewezen. De variaties in metingen zijn aanwezig, hoewel de gemiddelde uitkomsten van de sensoren een aardig beeld van de werkelijkheid kunnen geven. De vele factoren die meespelen bij het gras kunnen momenteel nog niet in een sensor of model worden verwerkt, omdat de kennis en kunde over deze factoren nog niet toereikend is. Momenteel zijn de sensoren in het algemeen vooral in staat om variaties in een perceel weer te geven. De harde waarden die aan deze variatie kan worden gekoppeld betreft een vertaalslag die wellicht in de komende jaren kan worden gemaakt.

Aanbevelingen vervolgonderzoek

Bij het uitvoeren van een vervolg onderzoek kan rekening worden gehouden met leerpunten die uit dit onderzoek zijn voortgekomen. De relevante punten zijn in dit hoofdstuk uitgewerkt.

In dit onderzoek is er geprobeerd de sensoren gelijk te stellen aan de gemaaide grasstroken. Hierdoor kon een 1 op 1 vergelijking worden gemaakt tussen de daadwerkelijke grasopbrengst en -inhoud en de waarden die door de sensoren werden weergegeven. Uiteindelijk is in de gegevensanalyse gewerkt met gemiddelden per periode, omdat hierdoor de correlatie aanzienlijk omhoog ging vanwege het uitfilteren van de variatie die per grasstrook werd aangetroffen. Om de sensoren te kunnen valideren kan beter gebruik worden gemaakt van de percelen die worden gemaaid. In het geval van maaien kan de gehele grasopbrengst van een perceel worden afgezet tegen een meting van de sensoren dat ook over het gehele perceel heeft plaatsgevonden. Oftewel, er moet met een ander oog naar de sensoren worden gekeken. De sensoren geven data weer van een momentopname en heeft in beginsel niets met beweiding te maken. Wel kunnen de sensoren mogelijk worden ingezet voor het in kaart brengen van een te beweiden perceel op basis van verschillende sensorwaarden. Ook zou gebruik kunnen worden gemaakt van langere grasstroken die uitgemaaid worden. Deze langere stroken gaan echter wel ten koste van het beschikbare gras voor de beweiding. In de kern gaat het erom dat de sensoren betere data zullen verschaffen als er langer achtereenvolgens wordt gemeten.

Bij het meten van de N-sensoren dient er rekening te worden gehouden met de stand van de zon om schaduwplekken op het meetvlak te voorkomen. Ga altijd met het gezicht naar de zon / licht staan.

Zorg dat er voorafgaand aan de meting (en tijdens het meten gedurende een langere periode) dat alle gegevens van de locatie beschikbaar komen. Denk hierbij aan bemesting van de percelen, rare plekken in het perceel, verschil in grassoorten e.d. Wellicht dat dergelijke factoren kunnen verklaren waarom een bepaalde uitkomst zich heeft voorgedaan.

Voor een goede gegevensverwerking is codering van de gemeten waarden zeer belangrijk. Gezien het aantal verzamelde gegevens van deze proef is de dataverwerking naderhand niet mogelijk als er niet bekend is waar welke meting heeft plaatsgevonden. Verschillende metingen moeten aan elkaar worden gelinkt. Het beschikbaar hebben van een invulformat is handig en voorkomt fouten. De manier van invullen dient daarbij voorafgaand aan het uitvoeren van de proeven te worden besproken. Dit kan inhouden nummeringen, afkortingen en volgorde van het verrichten van metingen. Door een logica in notering af te spreken kunnen eventueel gemaakte fouten achteraf worden gecorrigeerd op basis van deze afspraken. Zorg ervoor dat meetresultaten direct tijdens de metingen worden genoteerd en niet achteraf. Het direct noteren van resultaten kost extra tijd, maar

voorkomt verwarring en vergissingen. Eventuele bijzonderheden tijdens de metingen zijn handig om te registreren. Ten tijde van het uitvoeren kunnen gebeurtenissen niet van belang lijken te zijn voor de resultatenverwerking, maar wanneer achteraf blijkt dat er informatie tekort is, kan dit niet weer worden herleid. Het noteren van de bijvoorbeeld weeromstandigheden (denk aan een wolk die tijdens de meting de lichtinval verandert), aanpassingen aan apparatuur inclusief tijd en datum kunnen daarom het noteren waard zijn. Maak foto's of leg de tijd en locatie vast doormiddel van de smartphone. Bij het invullen van de gegevens op een tablet of smartphone, zorg er dan voor dat er een mobiel netwerk beschikbaar is om de gegevens tussendoor op te kunnen slaan in een cloudopslag (Dropbox).

Let er bij het terugmaaien op dat als er twee keer over dezelfde strook wordt gemaaid voor een beter maairesultaat dat een extra aantal centimeters in de breedte zijn snel meegenomen. Daardoor kan het totaal gemaaide oppervlak groter wordt. Dit extra oppervlak is deze proef niet meegerekend.

Bij het inzetten van de drone kan rekening worden gehouden met een aantal punten:

- Zorg voor een goede registratie van wanneer de koeien waar hebben gelopen zodat, als er meerdere percelen worden gevlogen, later kan worden terug geredeneerd welke opvallende plekken te maken hebben met beweiding en welke een andere oorzaak moeten hebben;
- Zorg voor helder weer, liefst zonder bewolking;
- Probeer de beelden zeer snel te laten verwerken zodat binnen een dag naar de beelden kan worden gekeken. Hierdoor wordt het mogelijk om na aanleiding van de beelden in het land zelf te kunnen gaan kijken wat er werkelijk in het land staat. Hierdoor kunnen de beelden als het ware met een menselijke visuele blik worden bekeken en vergeleken;
- Zorg ervoor dat er binnen 4 tot 10 dagen na het beweiden wordt gevlogen;
- Laat de koeien weiden op een perceel dat nog niet eerder is beweide om invloed van andere beweidingen voor de grasgroei te voorkomen

Bibliografie

- AgLeader. (2016). *Korte uitleg OptRx sensoren 2016*. Opgeroepen op 10 3, 2016, van Homburg Holland: <http://www.homburg-holland.com/userfiles/Ag%20Leader/Korte%20uitleg%20OptRx%20sensoren%202016.pdf>
- Agriholland. (2015). *Ammoniak en veehouderij*. Opgeroepen op 09 12, 2016, van Agriholland: <http://www.agriholland.nl/dossiers/ammoniak/home.html>
- Booij, A. (2015, mei 2). Hightech Gras en Maisteelt. *Veeteelt*, pp. 42-47.
- Causus. (sd). *De betekenis van ureum en creatinine*. Opgeroepen op 09 12, 2016, van Causus: <http://www.causus.be/uitleg-over/urologie/de-betekenis-van-ureum-en-creatinine/>
- Fricke, T., & Wachendorf, M. (2013). *Combining ultrasonic sward height and spectral signatures to assess the biomass of legume–grass swards* (Vol. 99). Witzenhuisen, Duitsland: Computers and electronics in agriculture.
- Fricke, T., Richter, F., & Wachendorf, M. (2011). *Assessment of forage mass from grassland swards by height measurement using an ultrasonic sensor* (Vol. 79). Computers and electronics in agriculture.
- Herring, D., & Weier, J. *Measuring Vegetation (NDVI & EVI): Feature Articles*. Earth observatory NASA.
- Kansen, K. &. (2015, september 28). *Sensoren op de grasmaaier lezen hoeveelheid gras*. Opgeroepen op augustus 31, 2016, van Verantwoorde veehouderij: <http://www.verantwoordeveehouderij.nl/show/Sensoren-op-grasmaaier-lezen-hoeveelheid-gras-.htm>
- King, W. M. (2010). Pasture mass estimation by the C-DAX Pasture meter: Regional calibrations for New Zealand. *4th Australasian Dairy Science Symposium*, 233-238.
- Koerhuis, R. (2016, april 6). *NIR-techniek praktijkrijp*. Opgeroepen op augustus 31, 2016, van Boerderij.nl: <http://www.boerderij.nl/Akkerbouw/Achtergrond/2016/4/NIR-techniek-praktijkrijp-2785002W/>
- Kooistra. (2011). *Eenheden voor gewasreflectie*. Opgeroepen op 01 15, 2017, van Groenkennisnet: <https://precisielandbouw.groenkennisnet.nl/display/EL/Eenheden+voor+gewasreflectie>
- Lantinga, E., Neuteboom, J., & Meijs, J. (2004). *Herbage intake handbook*. 23-30.
- Leader, A. (2016, 07 16). *Korte uitleg OptRx gewassensor*. Opgeroepen op 09 23, 2016, van Homburg Holland: <http://www.homburg-holland.com/userfiles/Ag%20Leader/Korte%20uitleg%20OptRx%20sensoren%202016.pdf>
- Leonard, E. (sd). *Rapid pasture meter*. *AgriKnowHow*, p. 18.

- Lugtenberg, P. (2017). *Validatie van sensoren die weidegrasopname, liggedrag en urinelozingen voorspellen*. Van Hall Larenstein, Leeuwarden.
- Mutanga, O., & Skidmore, A. K. (2007). *Red edge shift and biochemical content in grass canopies*. Elsevier.
- Nasa. (2000, 08 30). *Measuring vegetation (NDVI & EVI)*. Opgeroepen op 09 23, 2016, van Earth Observatory:
http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php
- NMI-agro. (sd). *Missie*. Opgeroepen op 09 8, 2016, van www.nmi-agro.nl
- OBHW. *Licht en projectie*. Schoolwerk.
- Roten, R., Fourie, J., Owens, J., Trethewey, J., Ekanayake, D., Werner, A., et al. (2016). *Urine patch detection using LiDAR technology to improve nitrogen use* (2017 ed., Vol. Computers and Electronics in Agriculture). Lincoln: Lincoln Agritech Ltd.
- Rural News, G. (2011). Pasture meter wins innovation prize. *Rural News*, 1.
- Safari, H., Fricke, T., & Wachendorf, M. (2016). *Determination of fibre and protein content in heterogeneous pastures using field spectroscopy and ultrasonic sward height* (Vol. 123). Computers and Electronics in Agriculture.
- Schaefer, M. T., & Lamp, D. W. (2016). *Combination of Plant NDVI and LiDAR*. MDPI.
- Schothorst, F. R. (sd). *Home*. Opgeroepen op 09 8, 2016, van www.schothorst.nl
- Wikipedia. (2014, 11 17). *Stikstofkringloop*. Opgeroepen op 09 12, 2016, van Wikipedia:
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Stikstofkringloop>
- Wikipedia. (2016, 03 16). *Ureum*. Opgeroepen op 09 12, 2016, van Wikipedia:
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Ureum>

Bijlage 1 Methoden voor het uitmaaien als referentie

Voor het goed kunnen bepalen van de grasopbrengst van een perceel zijn verschillende methodieken te bedenken en uit te voeren. Onderstaande paragrafen uit het 'Herbage intake handbook' geven een duidelijke omschrijving van bewezen methoden om grasopbrengsten handmatig te kunnen meten doormiddel van uitmaaien.

Herbage intake handbook 07-06-2004 17:52 Pagina 25

SWARD METHODS

25

2.2.1.1 Cutting above ground level **Motor scythes** usually cut at a minimum height of about 4 cm and can vary in fingerbar width from 60 to 220 cm. They have a reciprocating knife which is actuated by a central rocker arm and can cut a swath with clearly defined edges without damaging the crop. Allen auto scythes and Agria motor scythes are often used for estimating intake in grazing experiments. Their value is largely limited to cattle-grazed swards. With the Agria the cutting height can be increased up to about 15 cm by using skids (Frame, 1993), but at increasing heights the mowing results can be disappointing due to a decreasing resistance of the herbage against cutting.

After cutting, the material has to be raked and put into containers, e.g. plastic bags. The length of the strips can be measured with a tape. The labour requirement per paddock, plot or field depends on the size, number and distribution of the sample units used. In experiments of Meijs (1981), 10 strips, 60 cm wide and 12 m long were cut per paddock (0.3 ha) with an Agria motor scythe at the start of each grazing period. The total field labour requirement when 10 strips were cut was approximately 1.5 man-hours (cutting 0.5, raking + collecting 0.75, measuring cut area 0.25 man-hours). Less time is needed to collect the smaller residues of post-grazing strips, but this is counterbalanced by the time required for removing faeces from the sampling area to be cut.

Advantages of a cutting height of 4 cm are:

- comparability of herbage mass with that of herbage cut for conservation;
- minimal soil contamination;
- minimal damage to the sward.

Disadvantages of motor scythes include the possibility of introducing bias due to:

- failure to sample below grazing height (especially at high levels of grazing intensity with beef cattle or sheep);
- flattening of herbage to below cutting height due to trampling, lying down of animals, faeces contamination and cutting or raking action;
- difference in cutting height between start and finish of grazing.

Several experiments have been reported indicating bias due to a), and some information concerning b) and c) was reported by Meijs (1981). In his studies the height of the stubble of the post-grazing strips was 0.43 cm longer than that of the pre-grazing strips, thus indicating the occurrence of bias b) and/or c). The stubble mass after cutting pre- and post-grazing strips with a motor scythe was compared by cutting the same strips again with a lawnmower (cutting width 50 cm, cutting height 3.1 or 3.5 cm, depending on type of machine). The stubble mass of the post-grazing strips cut by the lawnmower was on average 155 kg ha⁻¹ of organic matter higher than that of the pre-grazing strips. When it is assumed that this difference could be attributed

completely to the longer stubble height of the post-grazing strips after cutting with the motor scythe, then this corresponds with a sward density of $360 \text{ kg OM ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. This is unrealistically high for rotationally-grazed paddocks where perennial ryegrass is the dominant species. Observations during the experiments revealed that especially under dry conditions at the end of grazing the lawn mower sucks up considerable amounts of organic material from below cutting height (Lantinga, unpublished). Therefore, lawnmowers are no longer used in herbage intake research in the Netherlands since the early 1980s. Moreover, in the experiments of Meijs (1981) no collection box was installed behind the fingerbar, thus increasing the risk that not all of the cut material was collected by raking. Especially in short vegetations, e.g. at the end of a grazing period, collection boxes are indispensable. Approximately similar cutting heights before and after grazing can be achieved when the knife of the motor mower is always as sharp as possible and the fingerbar is pushed to the ground during the mowing operation.

A **metallic frame with pins** can be used in case where no motor scythe is available or grazing occurs below the minimum cutting height of the motor scythe (Figure 2.1). This frame was developed at Wageningen Agricultural University in the 1960s by the second author and the cutting area is $50 \times 50 \text{ cm}$ or smaller. The frame has one side with a loose pin. This side can be moved easily in the stubble of the sward when a small strip of grass is cut beforehand in front of the area to be harvested. The frame is closed

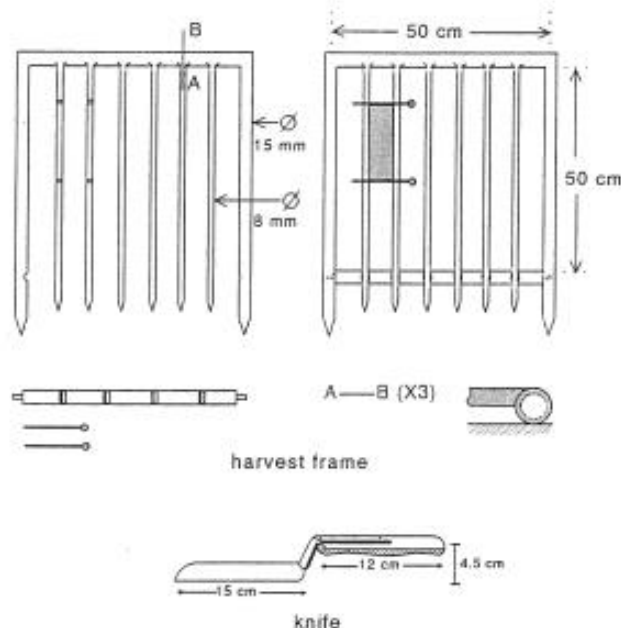


Figure 2.1. The metallic harvesting frame with attached and loose pins together with the spinach knife for cutting the grass.

before harvesting by attaching the loose pin. The herbage is cut with a spinach knife just above the metal pins. The cutting area can be made smaller by using extra (smaller) loose pins. It takes about one hour to harvest 10 samples of 50 * 50 cm.

The advantages of this metallic frame are:

- a. the harvested area is very precise through the use of attached pins at the bottom of the sward;
- b. it facilitates a reproducible cutting height of about 3 cm under all conditions;
- c. plant material pressed down to the ground by trampling etc. can be teased upwards easily before cutting;
- d. no soil contamination;
- e. subsampling is not necessary for dry matter determination;
- f. dry matter yields can be easily correlated with sward height measurements using plate meters with a diameter of 50 cm.

A disadvantage is that it is difficult to cut and collect herbage in intensively-grazed swards.

From observations in different types of pastures it appears that the yield coefficient of variation was on average in the order of 20% in case of cutting areas of 50 * 50 cm. Assuming a mean herbage mass of 2500 kg DM ha⁻¹, then this indicates a standard deviation of 500 kg DM ha⁻¹. In order to detect differences ($P < 0.05$) of 10%, it would then be necessary to harvest about 35 plots per paddock [$LSD = 2.05 * \sqrt{2} * (500/\sqrt{n})$]. This large number (n) of plots to be harvested makes it worthwhile to combine the cuttings with height measurements in a double sampling technique (Section 2.2.2).

2.2.1.2 Cutting close to ground level. The simplest cutting devices are hand-operated tools such as shears, scissors and knives. These require a high labour input but have the advantage that height of cutting can be accurately controlled especially when rough or trampled areas are to be harvested. However, individuals can vary in the height they consider representative of ground level. Therefore it is advisable that pre- and post grazing strips are sampled by the same operator.

To reduce labour requirements, hand-held power-driven tools such as hedge trimmers and sheep-shearing heads are commonly used. Hedge-trimmers have the following disadvantages:

- a. they do not cut at ground level and are not generally equipped with collecting trays;
- b. post-grazing samples may be cut to a lower level than pre-grazing ones (Alder and Minson, 1963);
- c. they require frequent overhaul and replacement of cutter-bar assemblies.

The **sheep-shearing head** is less difficult to maintain in good cutting order and is capable of cutting closer to ground level than the hedge trimmer. Reliable results can be obtained with an electrically operated sheep-shearing head (Walters and Evans, 1979). Within each paddock six pre- and six post grazing strips, each measuring approximately 7.6 cm wide and 25 m long, are cut as close to ground level as possible

taking care to avoid undue soil contamination. Taking six sample strips per paddock (0.05 ha) requires approximately 1 man-hour. For ten strips (e.g. on an area of 0.3 ha comparable with the paddocks used with the cutting equipment as described in Section 2.2.1.1) the labour requirement is about 1.7 man-hours.

Advantages of the sheep-shearing head are:

- a. no herbage can be grazed below the cutting level;
- b. a reproducible cutting height before and after grazing can be achieved.

General disadvantages are:

- a. comparison with estimates of herbage mass harvested at different times during the season by a machine cutting for conservation is difficult, and may preclude the possibility of calculating whole season yields;
- b. high level of soil contamination and dead material;
- c. damage to the sward.

Under certain conditions the following difficulties have been encountered when using the sheep-shearing head:

- a. on uneven ground some root growth may be cut and included in the sample, and under these conditions samples cut with cordless grass shears may be preferable to the sheep-shearing head (Matches, 1963);
- b. the amount of dead organic material included in the sample may vary depending on weather conditions;
- c. losses can occur in recovering post-grazed samples from swards showing a prostrate habit of growth;
- d. a considerable and varying amount of herbage is harvested from the sward layer where no consumption occurs (the biomass below a sward height of 4 cm may vary between 2000 and 3500 kg DM ha⁻¹ in grazed paddocks);
- e. overestimation of the factor for calculating herbage accumulation during grazing (see Section 2.3).

To avoid problems due to differential soil contamination all herbage mass data should be expressed on an organic matter basis.

2.2.1.3 Comparison between cutting methods A comparison and summary of the important aspects of the three cutting equipment categories is shown in Table 2.1. All three techniques are one-step cutting systems.

2.2.2 Double sampling method (concomitant measures)

Concomitant measures are often used in pasture sampling to reduce labour requirement or to improve precision (Back *et al.*, 1969; O'Sullivan *et al.*, 1987). The general principle is to make the indirect observations (e.g. sward height) on a substantial number of sites within the plot and to make the direct measurements on some of them (correlative observations). The regression of the direct on the indirect

SWARD METHODS

29

Table 2.1. Comparison of three cutting techniques. References: Motor scythe (Meijs, 1981; Lantinga, unpublished), Sheep-shearing head (Walters and Evans, 1979), Metallic frame with pins (Neuteboom, unpublished). + is positive aspect, - is negative aspect.

Cutting equipment	Motor scythe	Sheep-shearing head	Metallic frame
Cutting height (cm)	±4	±0	±3
Cutting width (m)	0.60	0.08	0.50
Cutting length (m)	12	25	0.50
Cutting area per plot (m ²)	7.2	2.0	0.25
Man hours per 10 samples	1.5	1.7	1.0
Avoiding grazing below cutting height	-	+	±
Achieving comparable stubble pre/post-grazing	±	+	+
Low soil contamination	+	-	+
Little damage to the sward	+	-	+
Calculating accumulation factor (2.3)	+	-	+

measurements is determined and in case of a linear relationship the mean paddock yield is read off at the mean of the indirect measurements.

The various non-destructive techniques for the indirect observations have been reviewed by Brown (1954), 't Mannetje (1978, 2000) and Frame (1993), and may be classified as follows:

- height measurements and weighted-disc methods (plate meters);
- electronic capacitance probes;
- visual estimates;
- point quadrats.

When using these techniques it is recommended that for each sampling set calibrations are made to minimise bias. Visual estimates and point quadrats can not be regarded as critical research methods for estimating intake, due mainly to their liability to bias. At best they can provide a rough guide to grazing intake where pastures are relatively homogeneous and conditions are uniform, and where large differences are expected in herbage mass between the start and end of grazing. Many versions of simple weighted-disc instruments have been developed. The disc, normally consisting of a light aluminum, plastic or tempex plate, fits over a rod held in a vertical position with its base at ground level. It may be allowed to settle to a constant position on the sward (falling-plate meter) or alternatively the rod may be pushed down to the ground and the disc is supported above ground level by the sward (rising-plate meter). According to Carlier *et al.* (1989) the level of precision that can be obtained with the rising-plate meter and the capacitance probe is about the same, despite improvements established with the capacitance probe in New Zealand (Vickery *et al.*, 1980). In a comparative evaluation of a rising-plate meter and a capacitance meter, Michell (1982)

HERBAGE INTAKE HANDBOOK

and Michell and Large (1983) found that the plate meter was marginally more accurate than the capacitance meter.

The value of the double sampling technique will be illustrated with data from a very heterogeneous extensively-grazed pasture with a diverse botanical composition. The harvesting equipment was the metal frame with pins described in Section 2.2.1.1. and harvested area per plot was 0.25 m² (0.5 * 0.5 m). With a group of students, 40 plots were harvested and the dry matter yield was correlated with height measurements taken with a falling-plate meter ($r=0.78$). The heterogeneity was reflected in a high yield coefficient of variation (46.5%). The average herbage mass in the 40 plots was 2790 kg DM ha⁻¹ with a standard deviation of 1298 kg DM ha⁻¹. This corresponds with a standard error of the mean of 205 kg DM ha⁻¹ ($1298/\sqrt{40}$). Using systematic sampling, 90 height measurements were done in the paddock. The average sward height (H) was 14.63 cm with a standard deviation of 3.92 cm. The precision of herbage mass estimation was analysed with the following formula (McIntyre, 1978):

$$S_y = \sqrt{\frac{S_{H,Y}^2}{N_c} + \frac{S_H^2 * b^2}{N_m}} \quad (2.1)$$

where:

S_y is the s.e. of an estimate of herbage mass

$S_{H,Y}^2$ is the residual variability of the calibration equation $[(1-0.78^2) * 1298^2]$

S_H^2 is the variability of measurement of H ($=3.92^2$)

b is the regression coefficient of the calibration equation ($=167$)

N_c is the number of calibration points in the regression ($=40$)

N_m is the number of meter readings taken ($=90$)

The s.e. of the estimate of herbage mass S_y could thus be calculated as 147 kg DM ha⁻¹, i.e. a reduction of about 30%. In other words, when the aim is to achieve an s.e. of about 200 kg DM ha⁻¹, this could have been obtained by taking 90 height measurements in the paddock and harvesting only 20 plots with concomitant height measurements instead of 40 cuttings. Such a number of height measurements can be easily done within half an hour in a paddock with an area of about 5 ha. It can also be calculated that with an infinitive number of height measurements N_m the s.e. will be lowered to 130 kg DM ha⁻¹.

[Terug naar tekst paragraaf 3.4](#)

[Terug naar tekst paragraaf 4.2.1](#)

Bijlage 2: Invulformat in- en uitscharen

[Dag, datum]	[Inmaaien/uitmaaien/tussentijdse meting]
Inscharen perceel [nr.]	
Uitscharen perceel [nr.]	

Plattegrond schets perceel

Grasstrook links-uurs

Schematische plattegrond perceel
o.a. CropCircle aangeven waar wat gemeten

Lengte van inscharings perceel

Grasstrook rechts-uurs

Schematische plattegrond perceel
o.a. CropCircle aangeven waar wat gemeten

Lengte van inscharings perceel

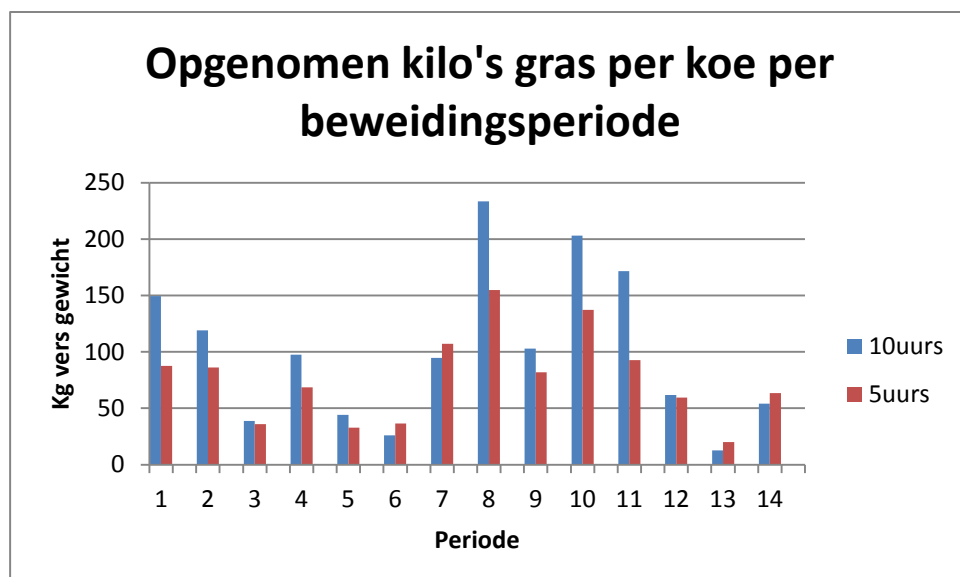
Figuur 7 Pagina 1 van het invulformat

[illegible]

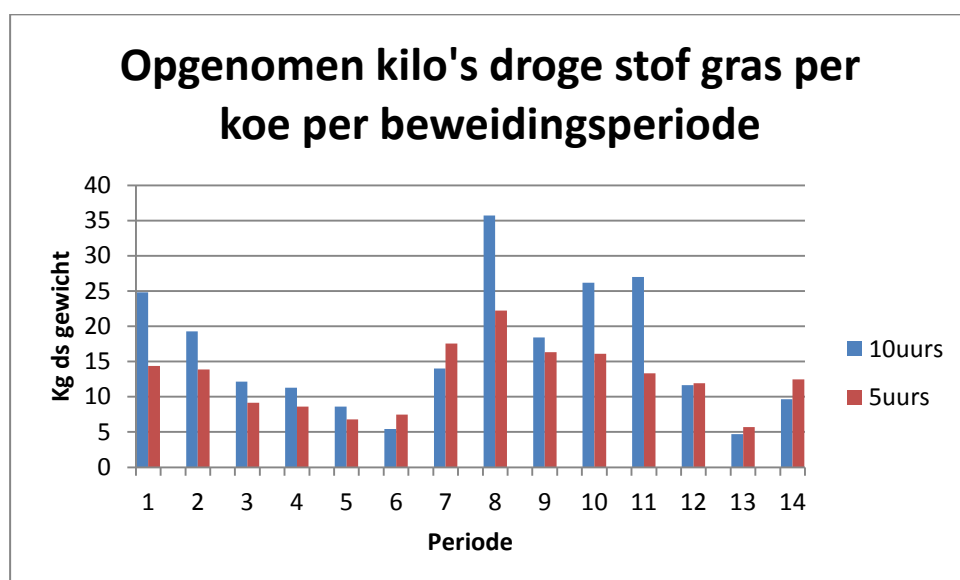
Figuur 8 Pagina 2 van het invulformat

Bijlage 3 Opgenomen gras per koe per beweidingsperiode

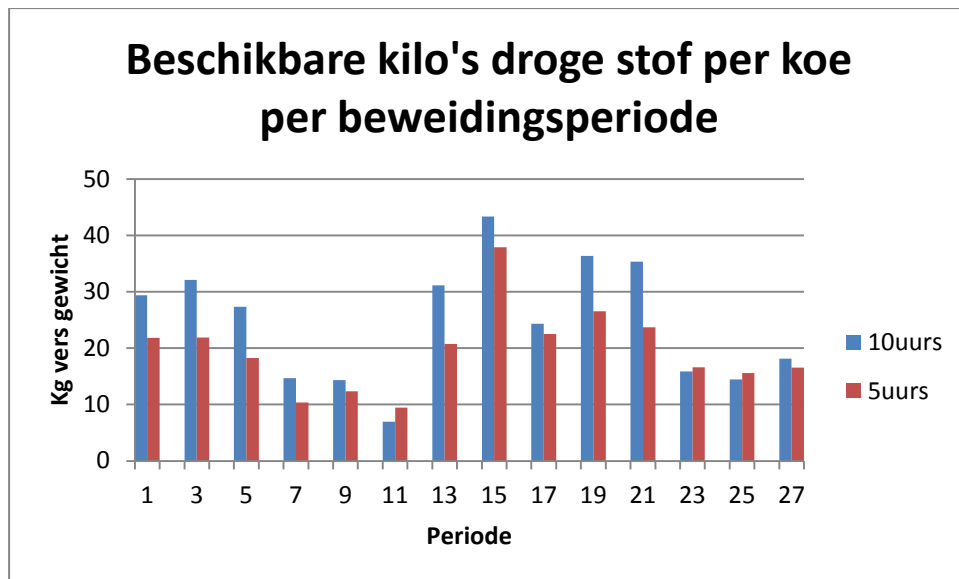
Bijlage 3 bevat tabellen met een overzicht van de opgenomen kilo's vers gras-, de opgenomen kilo's droge stof- en de beschikbare kilo's vers gras voorafgaand aan het weiden per koe per beweidingsperiode. Een weergave van de beschikbare kilo's vers gras per koe voorafgaand aan de beweiding is te vinden in tabel 1 in paragraaf 5.2 in hoofdstuk 5 Resultaten.



Vergelijking 7 Geeft weer hoeveel kilo gras elke koe gemiddeld per beweidingsperiode heeft opgenomen



Vergelijking 8 Geeft weer hoeveel kilogram drogestof elke koe gemiddeld per beweidingsperiode heeft opgenomen

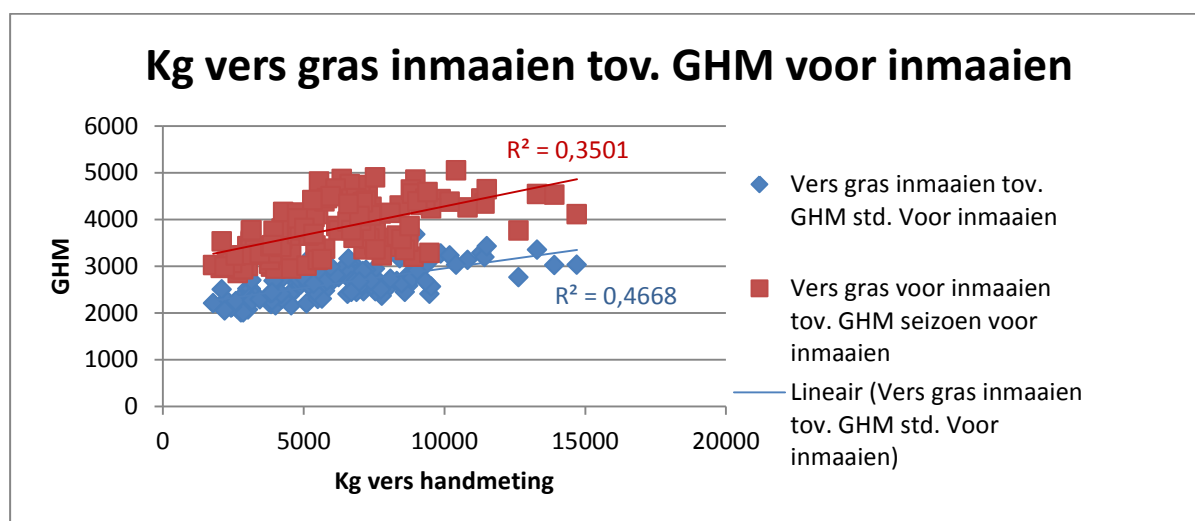


Vergelijking 9 Geeft weer hoeveel kilogram drogestof elke koe gemiddeld per beweidingsperiode beschikbaar heeft gehad

[Terug naar paragraaf 5.2](#)

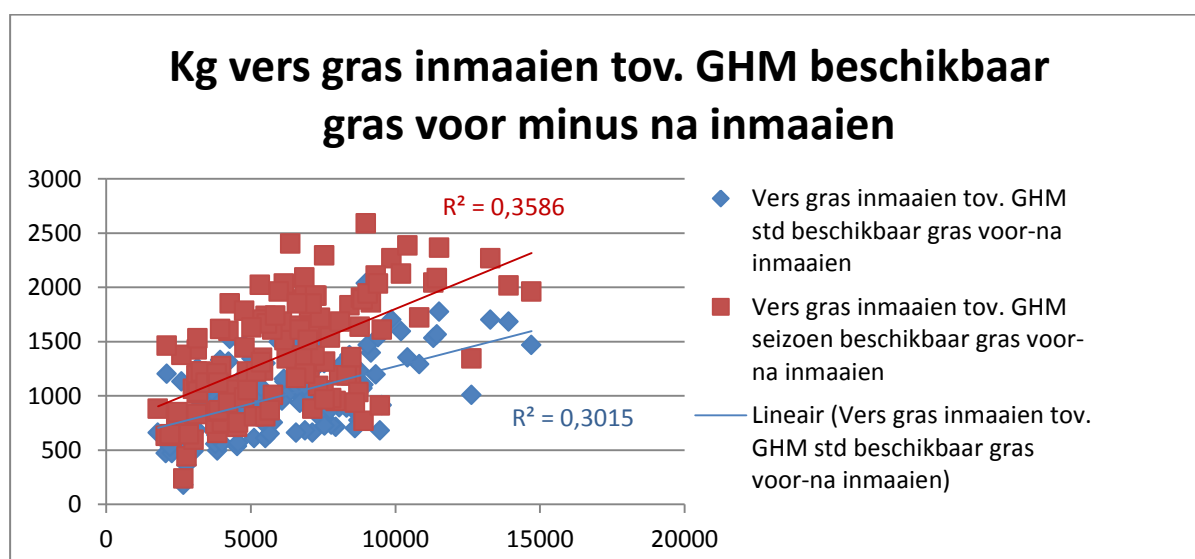
Bijlage 4: Gewogen kilogrammen vers gewicht + drogestof gewichten tov. Grashoogtemeter (GHM)

De vergelijkingen tussen de kilogrammen vers gewicht, drogestof opbrengsten en de waarden van de grashoogtemeter komen als volgt tot stand: de kilogrammen vers gewicht zijn bepaald aan de hand van het uitmaaien van grasstroken in het beweide perceel. De drogestof opbrengsten zijn een product van de gewogen vers gewichten vermenigvuldigd met de drogestof percentages. Het drogestof percentage is bepaald doormiddel van een grasanalyse van de uitgemaaide grasstroken. De grashoogtemeter heeft een eigen algoritme welke aan de hand van de variabele grashoogte het aantal kilogrammen drogestof per hectare weergeeft. Zie voor de methode van het bepalen van de vers gewichten ook hoofdstuk 3.2.1: [Daadwerkelijke grasopbrengsten meten](#)



Vergelijking 10 Vergelijking kilogram vers gras per hectare tov. grashoogtemeter berekende kg ds/ha voorafgaand aan inmaaien

Vergelijking 10 laat zien wat de verhouding is tussen de gewogen kilogrammen vers gewicht en de door de grashoogtemeter berekende kilogrammen drogestof.



Vergelijking 11 Kilogram vers gras voorafgaand aan inmaaien tov. grashoogtemeter meting voor inmaaien minus na inmaaien

Vergelijking 11 bevat een vergelijking waarin de gewogen kilogrammen vers gras bij inmaaien van het perceel worden vergeleken met de waarde van de grashoogtemeter. De grashoogtemeter waarde is een berekening van de grashoogte voorafgaand aan het maaien minus de grashoogte na het maaien van de grasstrook. De waarde die door de grashoogtemeter wordt weergegeven wordt door de grashoogtemeter berekend op basis van de gemeten grashoogte aan de hand van een lineair algoritme. De blauwe vergelijking bevat voor de grashoogtemeter eenzelfde formule voor het berekenen van alle waarden. De rode vergelijking bevat per maand waarin is gemeten een specifieke formule. Deze formules zijn te bekijken in [bijlage 5](#).

[Verder met paragraaf 5.2.1](#)

Bijlage 4.1 Tabellen met correlaties tussen de grashoogtemeter en kilogrammen vers gewicht en kilogrammen droge stof

Er is onderscheid gemaakt tussen het meerekenen van alle beschikbare waarden en de gemiddelde waarden per meetperiode per groep koeien.

Tabel 9 Correlaties en bijbehorende significanties alle waarden grashoogtemeter tov. kilogrammen vers gewicht per grasstrook

Correlaties Grashoogtemeter alle waarden tov. KG vers				
Perceel	Grassoort		GHM voor maaien	Cumulatief GHM inmaai
5, 6, 9, 10, 13	B, F, G, C	perioden 4 tm 14	0,47	0,30
		significantie	0%	0%
9	F	periode 4, 5	0,07	0,21
		significantie	28%	6%
9	F	periode 4, 5, 9	0,03	0,03
		significantie	36%	33%
13	C	periode 12, 13, 14	0,59	0,31
		significantie	0%	0%
13	C	periode 6, 12, 13, 14	0,51	0,29
		significantie	0%	0%
5, 6	B	perioden 7, 8	0,54	0,57
		significantie	0%	0%
		maximale R2	0,59	0,57

[Verder met paragraaf 5.2.1](#)

Tabel 10 Correlaties en bijbehorende significanties gemiddelde waarden per periode tov. kilogrammen vers gewicht

Correlatie grashoogtemeter gemiddelde waarden per periode

Perceel	Grassoort		GHM voor maaaien	Cumulatief GHM inmaai
5, 6, 9, 10, 13	B, F, G, C	perioden 4 tm 14	0,63	0,38
		significantie	0%	0%
9	F	periode 4, 5	0,00	0,19
		significantie	93%	56%
9	F	periode 4, 5, 9	0,00	0,00
		significantie	98%	96%
13	C	periode 12, 13, 14	0,84	0,64
		significantie	1%	6%
13	C	periode 6, 12, 13, 14	0,79	0,55
		significantie	0%	3%
5, 6	B	perioden 7, 8	0,79	0,86
		significantie	11%	7%
		maximale R2	0,84	0,86

Tabel 11 Correlaties en bijbehorende significantie gemiddelde waarden per periode tov. kilogrammen drogestof

Correlatie grashoogtemeter gemiddelde waarden per periode

Perceel	Grassoort		GHM voor maaaien	Cumulatief GHM inmaai
5, 6, 9, 10, 13	B, F, G, C	perioden 4 tm 14	0,74	0,53
		significantie	0%	0%
9	F	periode 4, 5	0,19	0,11
		significantie	56%	66%
9	F	periode 4, 5, 9	0,15	0,00
		significantie	45%	100%
13	C	periode 12, 13, 14	0,70	0,75
		significantie	4%	3%
13	C	periode 6, 12, 13, 14	0,69	0,62
		significantie	1%	2%
5, 6	B	perioden 7, 8	0,79	0,86
		significantie	11%	7%
		maximale R2	0,79	0,86

Bijlage 5: Toegepaste formules Jenquip EC10 grashoogtemeter

Months (Southern Hemisphere)	Rising Platemeter Equations Dairy Pastures
Winter (April/September)	Plate Meter Reading x 140 + 500 (Factory Default)
October	Plate Meter Reading x 115 + 850
November	Plate Meter Reading x 120 + 1000
December	Plate Meter Reading x 140 + 1200
January	Plate Meter Reading x 140 + 1200
February	Plate Meter Reading x 185 + 1200
March	Plate Meter Reading x 170 + 1100

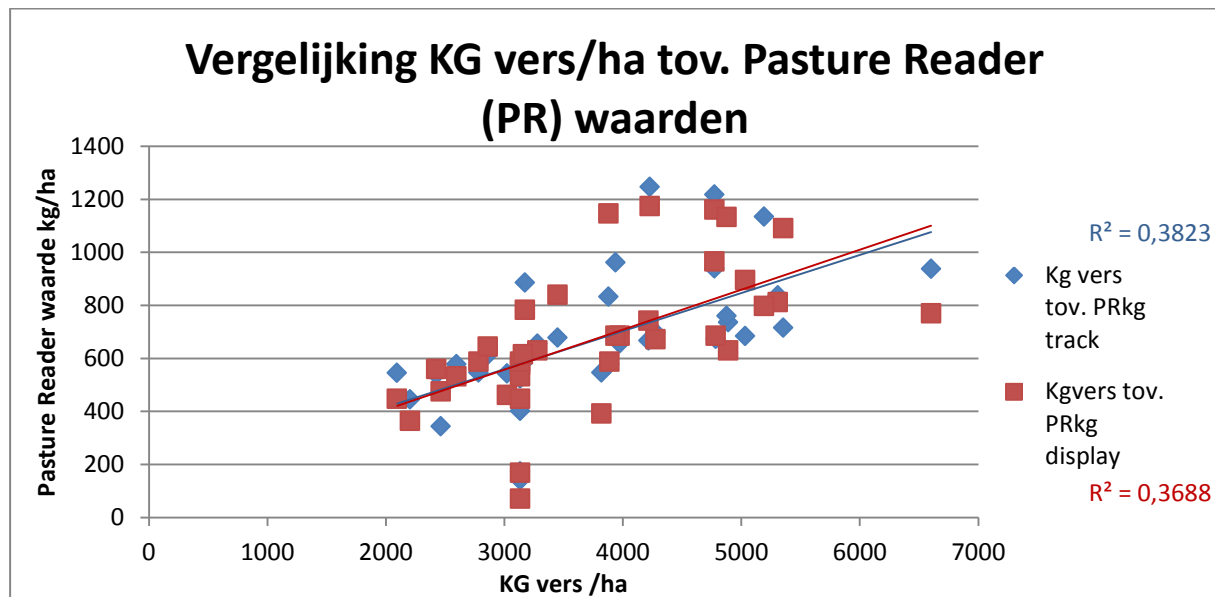
Months (Northern Hemisphere)	Rising Platemeter Equations Dairy Pastures
Winter (October/March)	Plate Meter Reading x 140 + 500 (Factory Default)
April	Plate Meter Reading x 115 + 850
May	Plate Meter Reading x 120 + 1000
June	Plate Meter Reading x 140 + 1200
July	Plate Meter Reading x 140 + 1200
August	Plate Meter Reading x 185 + 1200
September	Plate Meter Reading x 170 + 1100

[Verder met paragraaf 5.2.1](#)

Bijlage 6: Vergelijkingen Pasture Reader

De vergelijking waarbij alle waarden die tijdens het inmaaien van een perceel zijn verzameld worden afgezet tegen de kilogrammen vers gewicht worden lage correlaties gevonden.

Onderstaande vergelijking 10 bevat een vergelijking tussen het gewogen vers gewicht per hectare en de waarde dat op de display van de Pasture Reader werd weergegeven (rood) en een vergelijking tussen het vers gewicht ten opzichte van de gemiddelde waarde dat met de uitdraai van de Pasture Reader kan worden berekend (blauw). De waarden welke in de vergelijking zijn opgenomen zijn afkomstig uit de perioden 12, 13 en 14.



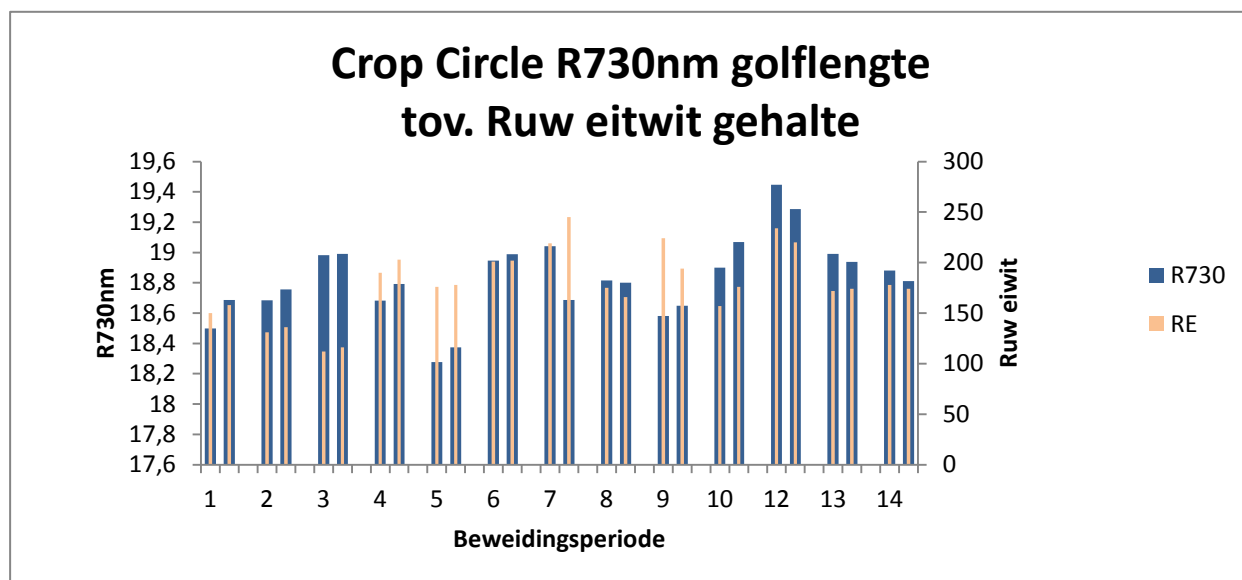
Vergelijking 12 Kilogrammen vers gras/ha ten opzichte van Pasture Reader waarden

In vergelijking 12 wordt ten eerste al zichtbaar dat de waarden van de Pasture Reader verschillen op de display en de uitdraai. Zoals bovenstaande vergelijking laat zien, lijkt het gemiddelde van de uitdraai beter aan te sluiten op de gewogen vers opbrengst. Op basis van slechts 36 meetwaarden kan toch nog worden gesteld dat er een correlatie te vinden is. Dit is op basis van alle op de grasstrook genomen metingen die door de Pasture Reader zijn verricht. De correctheid van de Pasture Reader is volgens de vergelijking ongeveer 37% met een significantie van nabij 0% voor het schatten van de aanwezige kilogrammen vers gras. Dezelfde vergelijking voor kg ds/ha komt met ruim 48% correlatie praktisch gezien uit op eenzelfde juistheid. Echter, wanneer van de losse meetwaarden waarmee in bovenstaande vergelijkingen is gewerkt de gemiddelden per beweidsperiode met elkaar worden vergeleken, komt de correlatie minimaal uit op 69,3%. Maximaal wordt dan een correlatie van maar liefst 82,99% gehaald. Ofwel, de afzonderlijke metingen van een grasstrook kunnen qua correlatie zeer variëren, maar wanneer deze variatie wordt uitgefilterd door een gemiddelde te nemen per periode, kan de Pasture Reader met een overtuigende correlatie de grashoeveelheid aantonen in een perceel. Deze overtuigende correlatie geldt in dit geval voor de waarde dat op de display van de Pasture Reader wordt weergegeven. Het verschil tussen de kilogrammen vers gewicht en kilogrammen drogestof geven daarbij een minimaal verschil in correlatie.

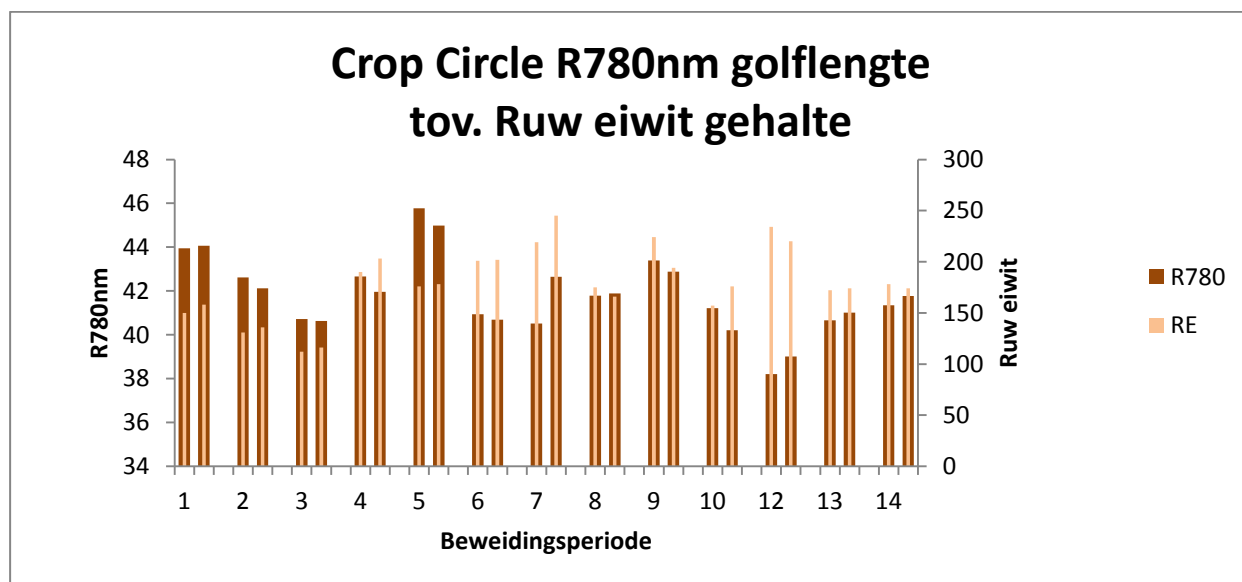
[Terug naar Pasture Reader](#)

Bijlage 7: Kolomweergave Crop Circle waarden in vergelijking met de ruw eiwit gehalten

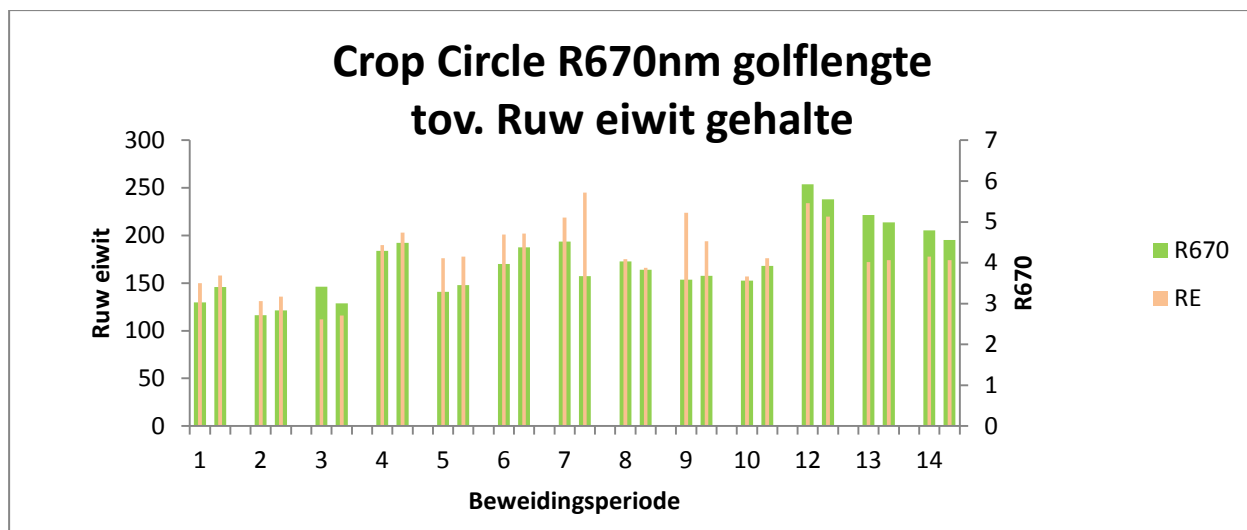
Onderstaande figuren zijn op basis van de gemiddelde waarden van de Crop Circle per periode per groep.



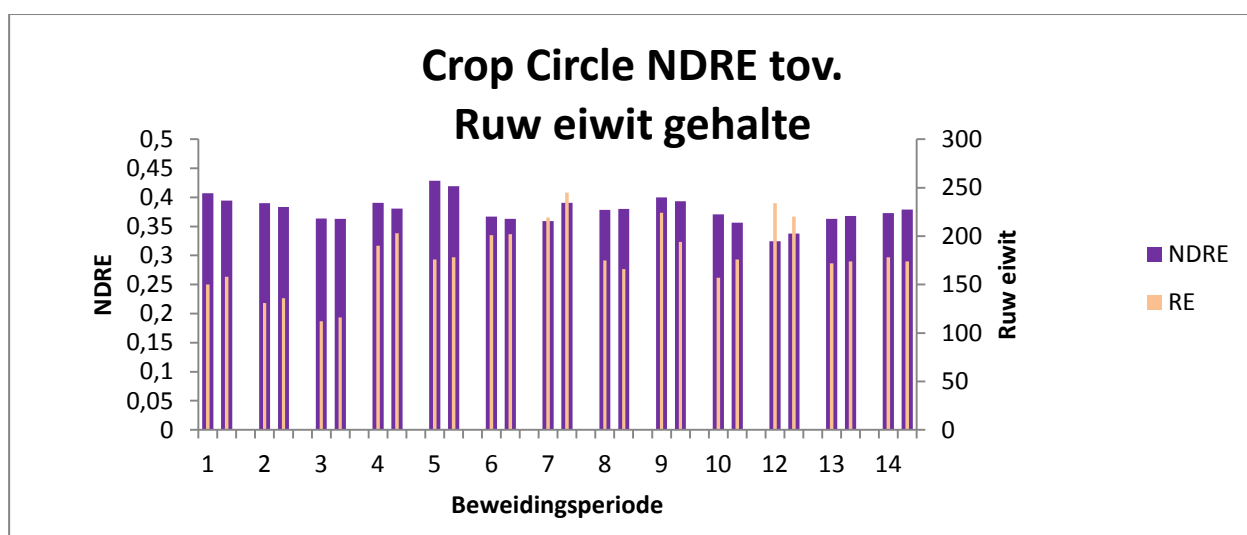
Vergelijking 13 Crop Circle waarden behorende bij de golflengte 730nm afgezet ten de ruw eiwit gehalten



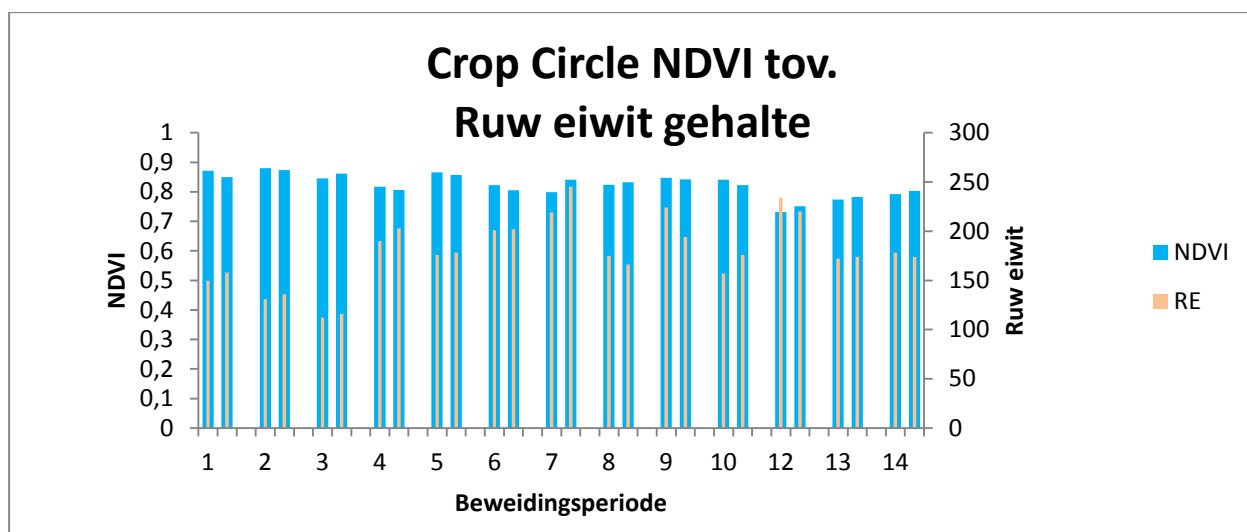
Vergelijking 14 Crop Circle waarden behorende bij de golflengte 780nm afgezet ten de ruw eiwit gehalten



Vergelijking 15 Crop Circle waarden behorende bij de golflengte 670nm afgezet ten de ruw eiwit gehalten



Vergelijking 16 Crop Circle waarden behorende bij de NDRE afgezet ten de ruw eiwit waarden



Vergelijking 17 Crop Circle waarden behorende bij de NDVI afgezet ten de ruw eiwit gehalten

[Verder met paragraaf 5.1.1](#)

Bijlage 8: Crop Scan formules, uitkomsten en vergelijkingen

Onderstaande tabel bevat de uitkomsten van de vergelijkingen tussen de gemeten waarden met de Crop Scan en de ruw eiwit gehalten in het gras.

Tabel 12 Overzicht van uitkomsten van ingevulde formule met waarden van de Crop Scan

Periode	WDVI	REP-LI	NDVI	RVI	TCARI	MCARI	DCNI	NDRE	OSAVI	SAVI	R720
4L	37,54	722,95	0,92	23,04	8,03	2,68	0,38	0,29	0,91	1,06	22,82
4R	42,25	722,98	0,93	26,00	8,73	2,91	0,36	0,29	0,92	1,07	25,07
5L	40,53	724,49	0,93	26,68	8,03	2,68	0,41	0,31	0,92	1,07	23,30
5R	42,48	724,59	0,93	28,22	8,49	2,83	0,37	0,31	0,92	1,08	23,98
6L	40,88	723,44	0,90	18,48	11,02	3,67	0,27	0,26	0,89	1,04	27,21
6R	45,11	723,77	0,91	21,87	11,23	3,74	0,27	0,27	0,90	1,06	28,43
7L	45,06	722,18	0,94	30,73	10,41	3,47	0,31	0,27	0,93	1,08	27,78
7R	43,52	722,22	0,93	27,89	9,98	3,33	0,32	0,27	0,92	1,08	27,09
8L	47,05	724,14	0,92	23,87	11,55	3,85	0,27	0,29	0,91	1,06	28,46
8R	46,23	724,05	0,92	23,99	11,25	3,75	0,28	0,29	0,91	1,06	27,89
R2	0,00	0,74	0,04	0,07	0,00	0,00	0,01	0,41	0,04	0,04	

Index	Naam	Formule
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{660} - R_{750}) / (R_{660} + R_{750})$
RVI	Ratio Vegetation Index	R_{660} / R_{750}
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index	$R_{660} - C \cdot R_{750}$ $C = 2$ (soil factor)
REP-LI	Red edge position: linear interpolation method	$700 + 40(R_{660} - R_{750}) / (R_{740} - R_{750})$ $R_{re} = (R_{670} + R_{780}) / 2$
MTCI	MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	$(R_{754} - R_{750}) / (R_{750} - R_{680})$
TCARI	Transformed chlorophyll absorption in reflectance index	$3((R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{650})(R_{700} / R_{670}))$

Index	Naam	Formule
TCARI/OSAVI	Combined Index: TCARI with Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	$TCARI / OSAVI$ $OSAVI = 1.16x(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$
MCARI	Modified Chlorophyll Absorption index	$[(R_{700} - R_{670}) - 0.2x(R_{700} - R_{650})x(R_{700} / R_{670})]$
DCNI	Double-peak canopy nitrogen index	$(R_{720} - R_{750}) / (R_{700} - R_{670}) / (R_{720} - R_{670} + 0.03)$
NDRE	Normalized Difference Red Edge Index	$(R_{750} - R_{720}) / (R_{780} + R_{720})$

Figuur 12 Overzicht van gebruikte formules voor tabel X (Kooistra, 2011)

Onderstaande tabel 13 bevat uitkomsten van de deling van de Crop Scan waarden. Door een waarde van een golflengte te delen op een andere waarde van een andere golflengte welke op hetzelfde moment is gemeten zijn onderstaande correlaties (R2) ontstaan. De bijbehorende significantie(Sign.) is onder de R2 weergegeven.

Tabel 13 Overzicht van correlaties die ontstaan vanuit een deling van de waarden van golflengten die door de Crop Scan zijn gemeten

Getal voor / (slash) delen door overige waarden van CropScan, daarvan hoogste correlatie genoteerd																				
Periode	RE	1650/550	1050/950	1000/950	950/1000	940/1650	870/740	780/740	750/740	740/750	710/1650	700/1650	670/1650	570/1650	550/1650	530/490	490/1650			
4L	190	3,20	1,12	1,00	1,00	2,85	1,45	1,37	1,12	0,89	0,54	0,27	0,12	0,28	0,31	2,54	0,10			
4R	203	3,18	1,12	1,00	1,00	2,95	1,47	1,38	1,12	0,90	0,54	0,26	0,11	0,29	0,31	2,65	0,10			
5L	176	3,48	1,09	0,98	1,02	2,81	1,51	1,42	1,18	0,85	0,50	0,23	0,10	0,26	0,29	2,62	0,09			
5R	178	3,53	1,09	0,98	1,02	2,84	1,52	1,44	1,19	0,84	0,49	0,23	0,09	0,25	0,28	2,71	0,08			
6L	201	3,50	1,09	1,01	0,99	2,06	1,36	1,30	1,13	0,88	0,48	0,25	0,11	0,26	0,29	2,61	0,09			
6R	202	3,56	1,09	1,01	0,99	2,19	1,39	1,34	1,15	0,87	0,47	0,23	0,10	0,26	0,28	2,67	0,09			
7L	219	4,14	1,13	1,03	0,97	2,22	1,37	1,31	1,08	0,93	0,42	0,20	0,07	0,22	0,24	3,12	0,06			
7R	245	4,13	1,13	1,04	0,97	2,16	1,37	1,31	1,08	0,92	0,42	0,20	0,07	0,22	0,24	2,93	0,07			
8L	175	3,14	1,08	0,99	1,01	2,48	1,43	1,38	1,16	0,86	0,53	0,26	0,10	0,29	0,32	2,65	0,10			
8R	166	3,07	1,10	0,99	1,01	2,57	1,44	1,38	1,16	0,86	0,54	0,27	0,11	0,30	0,33	2,68	0,10			
		0,51	0,45	0,88	0,87	0,42	0,61	0,64	0,75	0,76	0,46	0,36	0,40	0,43	0,45	0,46	0,39			
.	R2	0,64	0,52	0,84	0,84	0,31	0,43	0,58	0,73	0,74	0,58	0,49	0,44	0,59	0,61	0,41	0,50			
		570,619;710,620									490,36;550,45									
	Sign.	0,6%	1,8%	0,0%	0,0%	9,7%	3,8%	1,1%	0,2%	0,1%	1,0%	2,4%	3,8%	1,0%	0,8%	4,7%	2,1%		GOED	

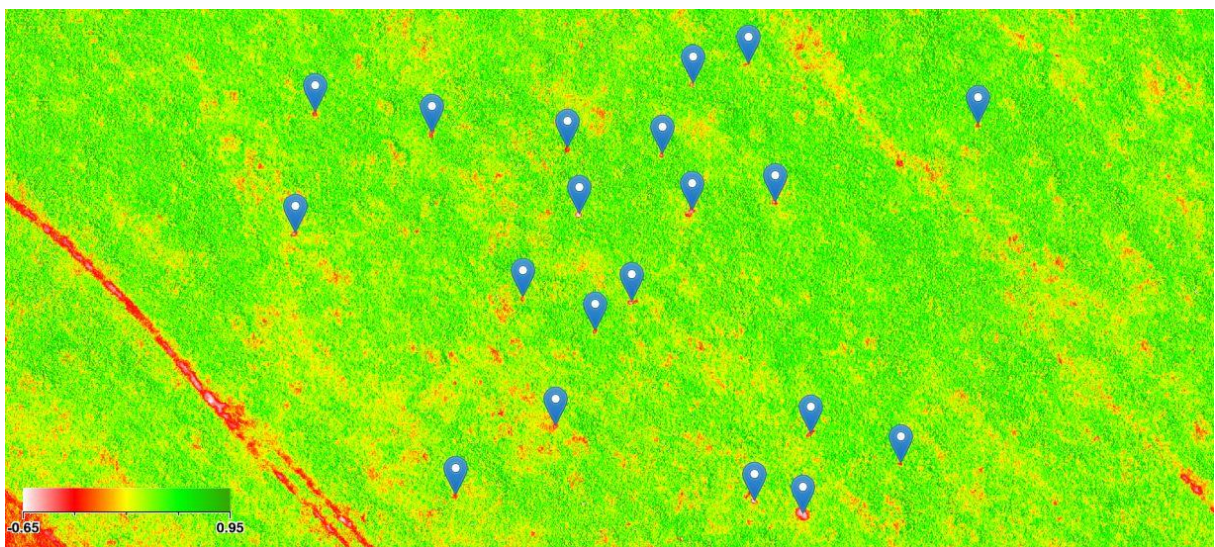
[Terug naar paragraaf 5.1.2 Crop Scan](#)

[Verder met lezen laatste deel Crop Scan](#)

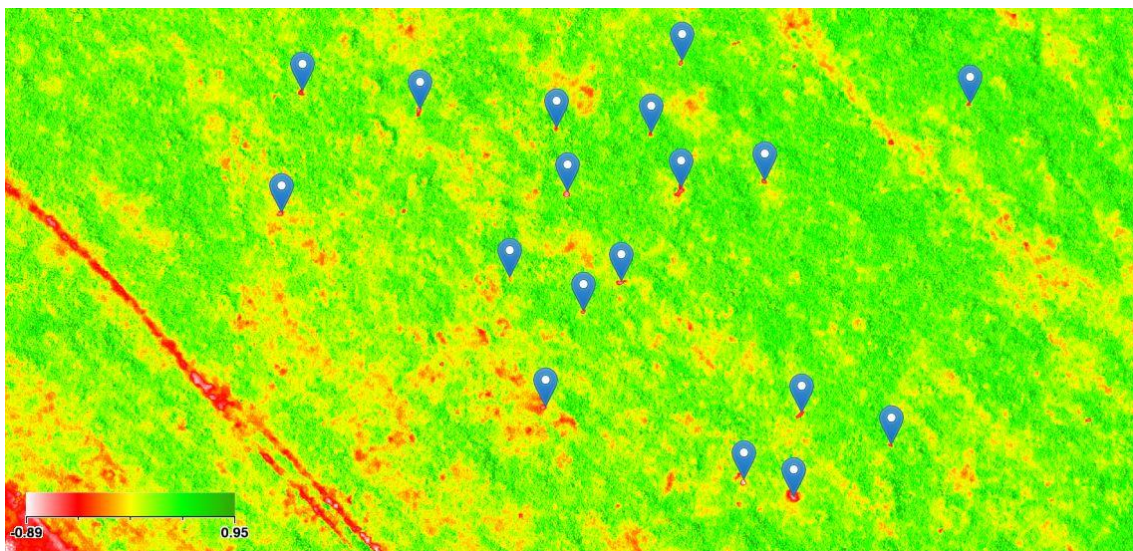
Bijlage 9: Uitvergrootte afbeeldingen



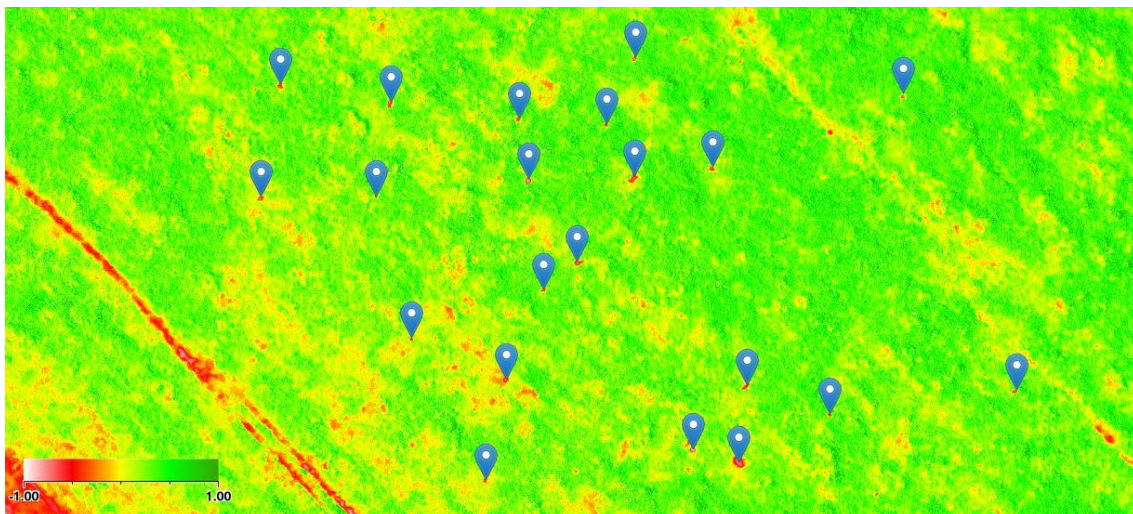
Figuur 13 Uitvergroting van visueel beeld figuur 1 paragraaf 5.1.3



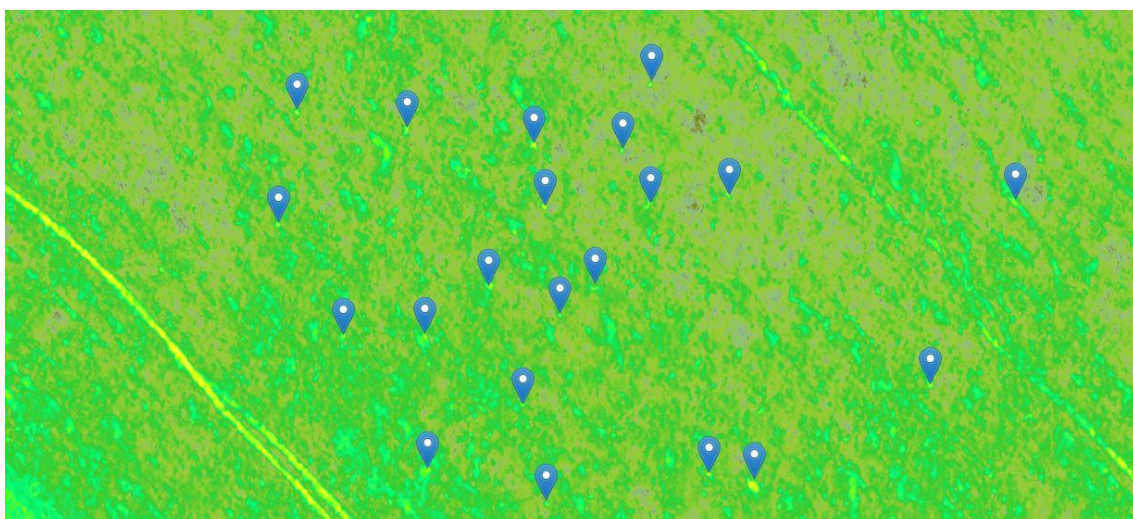
Figuur 14 Uitvergroting van figuur 2 GLI (Green leaf Index) paragraaf 5.1.3



Figuur 15 NGRDI (Normalized Green Red Difference Index) zelfde beeld als de figuren 1 en 2 paragraaf 5.1.3



Figuur 16 Vari (Visible atmospherically resistant index) zelfde beeld als de figuren 1 en 2 paragraaf 5.1.3



Figuur 17 TGI (Triangular Greenness Index) zelfde beeld als de figuren 1 en 2 paragraaf 5.1.3

[Terug naar paragraaf 5.1.3](#)

Bijlage 10: Plattegrond perceel indeling De Schothorst met grassoorten



Tabel 14 Grassoorten per perceel

Perceel	Grassoort	Periode
2	A	n.v.t.
3	A	11
4	B	n.v.t.
5	B	8
6	B	7
7	D	n.v.t.
8	E	1, 2, 3
9	F	4, 5, 9
10	G	10
12	C	n.v.t.
13	C	6, 12, 13, 14

[Terug naar paragraaf 5.1](#)

Uitvergrotingen van de graszoden



Figuur 19 Uitvergroting graszode perceel 5 op 28 juli 2016



Figuur 20 Uitvergroting graszode perceel 6 op 21 juli 2016



Figuur 16 Uitvergroting graszode perceel 9 op 4 augustus 2016



Figuur 21 Uitvergroting graszode perceel 10 op 12 augustus 2016



Figuur 22 Uitvergroting graszode perceel 13 op 09 september 2016

Bijlage 11: Materiaal en Methode Plan van Aanpak



7 Materiaal en methode

Het hoofddoel van deze opdracht uitvoering is het valideren van de gebruikte sensoren op juistheid. Als referentie wordt er bij elke keer dat de sensoren worden ingezet een aantal plotten in- en uitgemaaid. Aan de hand van dit in- en uitmaaien wordt bepaald wat de grasopbrengst is per plot in kilogrammen. Deze gegevens worden verkregen door het uitgemaaid gras te wegen en deze vervolgens te laten analyseren bij BLGG. Deze precieze gegevens kunnen vervolgens naast de verkregen data worden gelegd van de sensoren. Als de waarden die door de sensoren worden weergegeven kloppen met de uitmaaiproef, dan kan worden gesteld dat de sensoren het arbeidsintensieve maaien en analyseren van het gras kunnen vervangen. De gegevens die worden geleverd door de goedgekeurde sensoren kunnen in dat geval worden ingezet in het te ontwikkelen model voor de Synchroflex beweidingsmethodiek. Deze sensoren moeten snel en nauwkeurig of met een gedoogde afwijking kunnen weergeven wat de gehalten in de grassnede zijn.

Om de sensoren te kunnen valideren, zullen deze worden uitgetest in het veld tijdens de proeven bij De Schothorst Feed Research. De sensoren zullen gedurende de intensieve meetperiode worden ingezet om de gegevens achteraf met elkaar te kunnen vergelijken. Zoals eerder aangegeven zullen de gegevens van de uitmaaiproef worden gebruikt om de gegevens van de sensoren mee te vergelijken.

7.1 Materiaal

Tijdens de proef zullen de volgende sensoren worden ingezet en nodig zijn:

- Grashoogtemeter (plaatmeter)
- C-dax grashoogtemeter
- Pasture Reader grashoogtemeter
- CropCircle 3-bands spectraalcamera
- CropScan 16-bands spectraalcamera

Overig materiaal:

- Trekkend voertuig met kogeltrekhaak (bijvoorbeeld quad)
- Agria gemotoriseerde maai balk
- Weegschaal + driepoot
- Verzamelzakken voor het gras
- Grashark
- Notitiemateriaal (tablet of pen en papier)
- Invulformat voor de meetresultaten
- Markeringspaaltjes voor het uitzetten van plotten
- Grasmonsterverzamelaar
- Monsterzakken voor Eurofins analyse
- Meetlint
- Fotocamera met panoramafunctie
- Bindmateriaal om de camera op de CropCircle te monteren

7.2 Methode

In totaal zijn er minimaal 4 intensieve meetperiodes gepland. De eerst uitgevoerde meting is het langst met een duur van drie weken. De volgende metingen zullen minimaal 3 tot maximaal 10 dagen achtereenvolgens duren en dan verdeeld over de weideperiode. Hierbij worden minimaal vier periodes

ingelast en uitgevoerd. Waar mogelijk worden extra metingen verricht. Dit is enkel in het kader van 'mooi meegenomen'. De eerste meetperiode zal voornamelijk worden gebruikt om te leren werken met het inmaaien en om de methodiek rondom de vergelijkingen te ondervinden. De resterende periodes zullen worden gebruikt om de extra sensoren uit te proberen en te valideren. De periodes tussen de intensieve meetperiodes zullen worden gebruikt om de verkregen data tijdens de meetperiodes met elkaar te vergelijken en/of koppelen. Eventuele metingen die pas kunnen worden waargenomen na verloop van tijd na het uitvoeren van de intensieve meetperiodes, zullen ook tussen de intensieve periodes worden uitgevoerd. Hierbij kan worden gedacht aan het monitoren en bekijken van de urineplekken in het proefperceel met behulp van een drone, visuele waarneming en de inzet van een spectraal sensor zoals de CropCircle.

7.1.1 Intensieve meetperiode

De intensieve meetperiodes in het komende half jaar zullen bestaan uit het in- en uitmaaien van de weidepercelen, om te bepalen hoeveel gras er worden opgevreten/ingenomen door de koeien als koppel. De 48 koeien in de totale proef worden hiervoor uitgesplitst in de 5-uurs weidingsgroep en een groep die 10 uur per dag de mogelijkheid heeft om te weiden. Deze twee groepen krijgen aparte percelen aangeboden waarin wordt gewerkt met stripgrazen. Dagelijks wordt er een strip, naar behoefte, aan het vee bijgegeven. Het uitmaaien gebeurt met een kleine maaibalk van 80 centimeter breed. De uit te maaien stroken zullen om en nabij 6 meter lang zijn. Met een totaal van 6 stroken per perceelsdeel, worden er in totaal 12 stroken uitgemaaid. Voordat de koeien op het perceel worden ingeschaard, wordt het gras met bovengenoemde methode uitgemaaid (inmaaien genaamd). Nadat het perceel is beweiden, wordt het perceel nogmaals uitgemaaid (uitmaaien genaamd). Door de grasopbrengst van voor het inscharen te salderen met de overgebleven grasopbrengst inclusief de correcties van weer, zonnestraling en bijgroei van het gras, kan worden bepaald wat de totale grasinname moet zijn geweest per groep koeien.

De daadwerkelijke uitvoering van de inzet van sensoren zal zo snel mogelijk plaatsvinden. Het gaat hierbij om de C-dax en Pasture Reader. Deze twee sensoren hebben de mogelijkheid om grashoogte te bepalen en dus kan hiermee, op het gebied van sensoren, tot nog toe het beste een bepaling van de aanwezige biomassa worden gemaakt.

7.1.2 Inzet sensoren

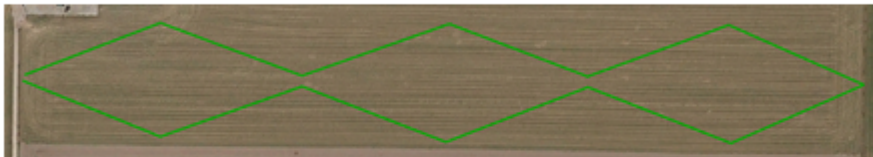
Zowel de CropCircle als de C-dax als de Pasture Reader op of aan een rijdend voertuig (bijvoorbeeld een quad) worden gemonteerd. De sensoren kunnen in dat geval door het perceel worden gereden om data te verzamelen.

De CropCircle zal zich voorop de een rijdend voertuig bevinden op een hoogte van één tot ander halve meter boven de grond. Afhankelijk van de hoogte waarop de sensor wordt bevestigd, wordt ook de breedte dat wordt gemeten bepaald. De formule om de breedte (w) waarmee de sensor de onderliggende begroeiing meet is als volgt:

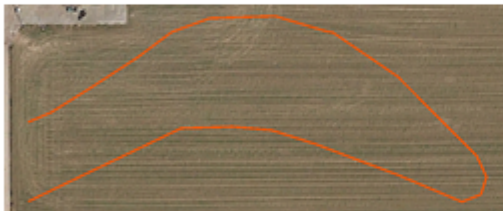
$$w = 2 \cdot \tan \frac{\theta}{2} = 0,82 \cdot h.$$

De C-dax wordt aan de kogeltrekhaak bevestigd, achter het voertuig. Stel hierbij de hoogte van de trekhaak (wanneer mogelijk) in op de hoogte waarbij de C-Dax geen strepen/schade in het gras aanbrengt. Wanneer de C-Dax te laag wordt aangekoppeld held deze voorover, waardoor de 'slee' die over de grond sleept zich min of meer in de grond wil graven. De Pasture Reader zal eveneens als de CropCircle aan de voorkant van het voertuig worden bevestigd om te voorkomen dat de C-Dax een vertekend beeld van het gras weergeeft. De C-Dax drukt een deel van het gras namelijk plat net als de banden van het rijdende voertuig.

De sensoren zullen voorafgaand aan het inscharen van het vee en na het uitscharen op een soortgelijke manier worden rondgereden door het perceel zoals in onderstaande afbeeldingen is weergegeven:



Figuur 3 Rijlijn matrix sensoren optie 1



Figuur 4 Rijlijn matrix sensoren optie 2

Door op één van bovenstaande manier door het perceel te rijden, zal voornamelijk diagonaal worden gereden. Hiermee wordt voorkomen dat er een rijspoor van bijvoorbeeld de mesttank wordt gevolgd. Een rijspoor van de mesttank zal een vertekend beeld geven van de grasopbrengst, vanwege de slechte grasgroei. In het geval dat er recht door een perceel wordt gereden, kan het gebeuren dat enkel een slechte grasstrook wordt gemeten of juist een grasstrook dat ongeroerd is gebleven en zich volledig heeft kunnen ontwikkelen. Het is de bedoeling een gemiddelde indruk te krijgen van de toestand van het weidegras (Aarts & Water, 2012).

'Door in een matrixvorm over het land te rijden, zoals in figuur 5 is weergegeven, heeft de C-Dax een gemiddelde hoogte van het gras gemeten. Er is in een matrixvorm over het veld gereden om op een eenvoudige manier een representatief beeld te krijgen van de situatie qua grashoogte op het perceel.' (Aarts & Water, 2012)

De CropCircle zal naast de metingen op het voertuig ook worden ingezet bij het in- en uitmaaien van de stroken. De CropCircle zal voorafgaand aan het inmaaien over de strook worden bewogen. Hierdoor wordt geregistreerd welke biomassa aanwezig is en de red-edge golflengten worden individueel vastgelegd. Deze data wordt vergeleken met de verdere data dat van BLGG analyse en opbrengst metingen terugkomt. Daarnaast zal een camera bovenop de CropCircle worden gemonteerd. Deze camera legt visueel vast wat de CropCircle heeft gemeten doormiddel van een panorama foto. De waarden van de CropCircle zullen overeen moeten komen wat er visueel kan worden waargenomen op

de gemeten strook. Dit houdt in dat ouder donker gras een hogere waarde gaat weergeven dan jong etgroen met een lichtgroene kleur en veel zichtbaar bodemoppervlak. Door de data met elkaar te vergelijken kunnen wellicht relaties worden gelegd tussen de grashoogte, aanwezige stikstof en stadium van het gras.

De CropScan van NMI-agro draait, net als de CropCircle, mee in de proeven bij het in- en uitmaaien. Deze 16-bands sensor kan een veel breder spectrum van het gras meten, maar vergt veel meer tijd tijdens het meten. Daarnaast kan de CropScan geen continue meting verrichten zoals de CropCircle. De CropScan meet op vaste punten. De CropScan zal daarom niet kunnen worden ingezet op de quad, omdat hierop sensoren worden gemonteerd welke continue metingen kunnen verrichten. De CropScan sensor is bevestigd aan een lange steel. De sensor meet in de vorm van een cirkel. De diameter van deze gemeten cirkel is de helft van de hoogte boven het gewas. Dat wil zeggen dat er bij een hoogte van één meter boven het gewas een cirkel gemeten wordt met een diameter van een halve meter. Het maken van een scan duurt zo ongeveer twee tot vier seconden. De sensor meet aan de bovenkant de lichtintensiteit die de zon uitstraalt. Aan de onderkant meet deze sensor de reflectie van het gewas. Door het verschil van beide meetwaarden met behulp van een rekenregel om te rekenen kan dit vertaald worden naar bruikbare meetgegevens. (Cropscan, Cropscan, 2013). CropScan is een merknaam voor radiospectrometers. Het is een sensor die lichtreflectie meet bij verschillende golflengtes. Welke golflengtes gemeten worden, hangt af van de filters die voor de camera-lens geplaatst worden. Als er wordt gekozen filters te gebruiken die golflengtes van groen, rood en near-infrarood radiogolven/licht meten, kan er van hieruit een vegetatie indices als NDVI, WDI en NDRE worden berekend. De CropScan wordt handmatig bediend. Houd de camera ca 1,5 m boven de grond en maak opnames. Het beste is om per object ca 8 metingen te doen (Kempenaar, 2016).

De handheld NIR sensor wordt via bluetooth gekoppeld aan een mobiele telefoon. De telefoon fungeert als display en geeft aanwijzingen welke stappen moeten worden ondernomen met het apparaat. De sensor dient in twee stappen te worden gekalibreerd. Daarna kunnen zes metingen worden verricht in het perceel. De metingen worden verricht doormiddel van een aantal heldere LED lampen. Er wordt binnen het spectrum van 800nm tot 2500nm gemeten. Afhankelijk van de snelheid waarmee de data kan worden vrijgegeven, zullen ook de resultaten van deze metingen mee kunnen worden genomen in het beoordelen van de sensor om te bepalen of er bruikbare data uit vrij komt.

De inzet van een drone is algemeen bekender. De drone welke in dit project zal worden gebruikt heeft een visuele en een spectraal 4-bands camera. Door van bovenaf het perceel te bekijken, kunnen wellicht urineplekken worden onderscheiden. Als dat mogelijk is kan het aantal urineplekken worden bepaald. Met slimme software kunnen dergelijk functies worden toegevoegd aan de screening van de gemaakte beelden.

De grashoogtemeter (RPM, rising plate meter) wordt gebruikt op de manier waarop ook met de quad door het land zal worden gereden. Het is de bedoeling een gemiddelde grasopbrengst te zien te krijgen. Door in een matrixvorm door het land te lopen met de grashoogtemeter, wordt het gemiddelde als het goed is zichtbaar. De grashoogtemeter zal worden gebruikt bij het in- en uitmaaien van de percelen. Voorafgaand aan het inmaaien wordt dertig keer met de meter 'geprikt' per beweidingsgroep (=twee keer op het perceel). Per strook dat uitgemeaid zal worden, wordt zes keer geprikt. Hierdoor wordt er bekend wat de gemiddelde drogestof opbrengst per perceel en per strook is. Na het inmaaien

van de stroken worden de stroken nogmaals met de hoogtemeter nagemeten. Dit keer zal er plaat-aan-plaat worden gemeten om eventuele onregelmatigheden uit te sluiten tijdens het meten. Bij het uitmaaien van de stroken wil het wel eens voorkomen dat de bodem niet egaal is. Hierdoor blijven er plukken met gras staan. Bij zes prikken kunnen deze plukken worden overgeslagen, waardoor er een vertekend beeld ontstaat van de daadwerkelijk aanwezige hoeveelheid gras op de strook. Bij het uitmaaien van het perceel wordt wederom voorafgaand aan het maaien zes keer geprikt. Na het maaien wordt weer plaat-aan-plaat gemeten. Ook wordt er door het gehele beweide perceel twee keer 30 prikken genomen (totaal 2x60 prikken). Na het uitscharen worden meer prikken genomen, omdat het perceel beweiden is daarmee relatief veel verschillende grashoogtes bevat. Door vaker te prikken wordt de gemiddelde grashoogte beter weergegeven.

7.1.3 Hoe wordt de grashoeveelheid bepaald

Voorafgaand aan het inscharen van het perceel zal worden ~~ingemaaid~~ zoals omschreven staat onder de kop "7.1.1 Intensieve meetperiode". In totaal zijn er minimaal 4 intensieve meetperiodes gepland. De eerst uitgevoerde meting is het langst met een duur van drie weken. De volgende metingen zullen minimaal 3 tot maximaal 10 dagen achtereenvolgens duren en dan verdeeld over de weideperiode. Hierbij worden minimaal vier periodes ingelast en uitgevoerd. Waar mogelijk worden extra metingen verricht. Dit is enkel in het kader van 'mooi meegenomen'. De eerste meetperiode zal voornamelijk worden gebruikt om te leren werken met het inmaaien en om de methodiek rondom de vergelijkingen te ondervinden. De resterende periodes zullen worden gebruikt om de extra sensoren uit te proberen en te valideren. De periodes tussen de intensieve meetperiodes zullen worden gebruikt om de verkregen data tijdens de meetperiodes met elkaar te vergelijken en/of koppelen. Eventuele metingen die pas kunnen worden waargenomen na verloop van tijd na het uitvoeren van de intensieve meetperiodes, zullen ook tussen de intensieve periodes worden uitgevoerd. Hierbij kan worden gedacht aan het monitoren en bekijken van de urineplekken in het proefperceel met behulp van een drone, visuele waarneming en de inzet van een spectraal sensor zoals de ~~CropCircle~~.

De in te zetten sensoren zullen hiernaast worden ingezet in zowel het perceel als de uit te maaien stroken. Om de bijgroei van het gras te meten in plaats van te berekenen is het goed om een grasstrook onaangeraakt te laten staan tijdens het inmaaien en weiden. Bij het uitmaaien kan dan ook deze strook worden meegenomen in de meting. Deze strook bevat in dat geval zowel de beginfase van het gras, plus de bijgroei van de dagen dat het perceel is beweiden. Door de formule:

"Opgenomen gras = Gras voor inscharen + (Onaangeraakte grasstrook – Gras voor inscharen) – Gras na uitscharen" toe te passen, kom je uit op een hoeveelheid gras dat is opgenomen door de koppel koeien in de weide.

[Terug naar 4.2.2 sensoren](#)