



PraktijkRapport Rundvee 63

Snelle meetmethoden als managementinstrument bij de teelt van ruwvoer



Maart 2005

Rundvee





Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 – 238 238
Fax 0320 – 238 050
E-mail info.po.asg@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl/po>

Redactie en fotografie

Praktijkonderzoek

© Animal Sciences Group

Het is verboden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever deze uitgave of delen van deze uitgave te kopiëren, te vermenigvuldigen, digitaal om te zetten of op een andere wijze beschikbaar te stellen.

Aansprakelijkheid

Animal Sciences Group, Agrotechnology and Food Innovations en Plant Research International aanvaarden geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de

Abstract

Quick measuring methods as management tools in the production of roughage.

The most promising technique is spectroscopy, which can be applied in on-line analysis methods for measuring dry matter yield and feed value of silage and grass and which can be available for use within 5 years as a management tool in the production of roughage on dairy farms. Conceptual spectroscopy seems the best technique under the conditions mentioned for measuring feed value. The use of spectroscopy in a dotted measurement seems to be the best technique for measuring dry matter yield.

Keywords: On-line analysis, roughage, dry matter yield (kg of dry matter/ha), dry matter content, feed value

Referaat

ISSN 1570-8616

Stienezen, M.W.J., G.J. Kasper, G. Holshof, (P-ASG)
G.J. Molema, J.J. Meuleman, M.C.J. Smits (A&F),
A.G.T. Schut (PRI).

Snelle meetmethoden als managementinstrument bij de teelt van ruwvoer.

De meest belovende techniek die toegepast kan worden in on-line analysemethoden voor het meten van drogestofopbrengst en voederwaarde van kuil en gras-opstanden én binnen 5 jaar beschikbaar kan zijn als managementinstrument bij de teelt van ruwvoer op melkveehouderijbedrijven is spectroscopie. Beeldvormende spectroscopie lijkt onder de genoemde voorwaarden de beste techniek voor het meten van de voederwaarde. Het gebruik van spectroscopie in een puntmeting lijkt de beste techniek voor het meten van de drogestofopbrengst.

59 pagina's, 3 figuren, 17 tabellen.

Trefwoorden:

On-line analyse, ruwvoer, drogestofopbrengst (kg ds/ha), drogestofgehalte, voederwaarde.



PraktijkRapport Rundvee 63

Snelle meetmethoden als managementinstrument bij de teelt van ruwvoer

M.W.J. Stienezen (P-ASG)
G.J. Kasper (P-ASG)
G. Holshof (P-ASG)
G.J. Molema (A&F)
A.G.T. Schut (PRI)]
J.J. Meuleman (A&F)
M.C.J. Smits (A&F)

Maart 2005

Begeleidingscommissie:

D.W. Bussink (Nutriënten Management Instituut)
P. Dolman (melkveehouder)
P.R.M. Witlox (Productschap Zuivel)

Uitvoerende instituten:

1. Praktijkonderzoek van de Animal Sciences Group (P-ASG) van Wageningen Universiteit & Researchcentrum (WUR)
2. Plant Research International (PRI) van WUR
3. Agrotechnology and Food Innovations (A&F) van de Agrotechnology & Food Sciences Group van WUR

Voorwoord

De productie van melk in Nederland wordt in toenemende mate gekenmerkt door rationalisatie en schaalvergroting, uiteraard met inachtneming van de eisen op het gebied van voedselveiligheid, milieu en dierwelzijn. Gezien de grote financiële impact van een modern melkveehouderijbedrijf en de hoge eisen die worden gesteld aan de kwaliteit van de productie dienen de ondernemers in de sector over goede managementkwaliteiten te beschikken. Ter ondersteuning van dit management wordt gebruik gemaakt van moderne managementinstrumenten. Gezien de toch hoge mate van uniformiteit van de melkveehouderijbedrijven is het efficiënt om de ontwikkeling van dergelijke instrumenten collectief aan te pakken en te financieren. Een inventarisatie van behoeftes en technische mogelijkheden is daarbij een eerste stap en wanneer er realistische opties in beeld komen, kunnen methodes en technieken verder worden ontwikkeld. Als hierbij kansen ontstaan voor marktpartijen in de periferie van de melkveehouderijsector ligt het voor de hand dat ook deze financieel participeren of zelfs de ontwikkeling in z'n geheel overnemen.

Bovenstaande gedachtegang heeft de Commissie Melkveehouderij van het Productschap Zuivel ertoe gebracht om begin 2004 de opdracht te verlenen aan de Animal Sciences Group van Wageningen Universiteit & Research centrum (WUR) voor het project 'Snelle meetmethoden als managementinstrument bij de teelt van ruwvoer'.

De ruwvoerproductie is een van de fundamenten van het melkveehouderijbedrijf en verbeteringen in kostentechnisch, arbeidstechnisch en kwalitatief opzicht spelen een belangrijke rol voor het uiteindelijke bedrijfsresultaat. Juist vanwege de grote kwantiteit van partijen ruwvoer op de hedendaagse melkveehouderijbedrijven is goed management bij de ruwvoerproductie van groot belang. Om tot goede besluiten voor de ruwvoerproductie te komen, dient de ondernemer op het juiste moment over de juiste informatie te beschikken. Over welke informatie de melkveehouder op welk tijdstip wenst te beschikken wordt in dit project in de praktijk geïnventariseerd. Parallel daaraan worden de technische mogelijkheden in beeld gebracht om in deze behoeften te voorzien. Op deze wijze kan men instrumentarium ter ondersteuning van het ruwvoermanagement ontwikkelen, dat te allen tijde de kosten/batenanalyse dient te doorstaan.

Ik hoop dat dit project goed bruikbare opties voor meetmethoden ter ondersteuning van het ruwvoermanagement op melkveehouderijbedrijven in beeld brengt, die in hun verdere uitwerking tevens op de belangstelling van marktpartijen in de periferie van de sector kunnen rekenen.

J.J. van Weperen,
Commissie Melkveehouderij,
Productschap Zuivel

Samenvatting

In de laatste tientallen jaren is grote vooruitgang geboekt in de efficiëntie van ruwvoerproductie op het melkveebedrijf. Het streven naar kostprijsbeheersing, een efficiënte inzet van grondstoffen en het winnen van ruwvoer van hoge kwaliteit maakt ook in de komende jaren een verdere verbetering van de ruwvoerproductie noodzakelijk. Daarvoor is het essentieel dat melkveehouders beschikken over informatie omtrent de actuele status en het verloop van belangrijke processen bij de ruwvoerproductie.

De meetmethoden die een melkveehouder momenteel tot zijn beschikking heeft om bij te sturen, laboratoriumanalyses, geven alleen achteraf informatie doordat het te lang duurt voordat de resultaten beschikbaar zijn. Om effectief bij te kunnen sturen is het beschikbaar komen van meetmethoden waarbij de informatie tijdig beschikbaar is, snelle meetmethoden, gewenst. Recentelijk zijn nieuwe technieken ontwikkeld, die geschikt zouden kunnen zijn voor toepassing in snelle meetmethoden voor de melkveehouder.

Er zijn echter nog geen concepten beschikbaar waar specificaties en mogelijkheden van een eenvoudig meetinstrument voor een praktische toepassing beschreven staan. Het streven is om in dit project 'Snelle meetmethoden als managementinstrument bij de teelt van ruwvoer' concepten op te stellen waar specificaties en mogelijkheden van een eenvoudig meetinstrument voor een praktische toepassing beschreven staan. Met deze concepten kan het bedrijfsleven snelle meetmethoden ontwikkelen zodat melkveehouders beschikken over de mogelijkheid om snelle meetmethoden toe te passen op hun bedrijf, ter ondersteuning van beslissingen bij de teelt, oogst en het gebruik van ruwvoer.

Als eerste stap bij het opstellen van de concepten hebben het Praktijkonderzoek van de Animal Sciences Group, Plant Research International (PRI) en Agrotechnology and Food Innovations (A&F) een deskstudie uitgevoerd naar snelle meetmethoden als managementinstrument bij de teelt van ruwvoer.

Uit een enquête gehouden onder 500 melkveehouders bleek dat melkveehouders behoefte hebben aan (en in veel gevallen hiervoor willen betalen) snelle meetmethoden bij het bepalen van:

- de drogestofopbrengst van gras op het veld,
- de samenstelling en voederwaarde van het verse gras op het veld en
- de samenstelling en voederwaarde van de kuil.

De optische technieken, waaronder spectroscopie (o.a. NIRS en RAMAN), lijken perspectief te bieden voor het bepalen van de drogestofopbrengst van gras op het veld en de samenstelling en voederwaarde van het verse gras op het veld. RAMAN is echter nog volop in ontwikkeling en naar verwachting over 10 jaar beschikbaar voor gebruik in snelle meetmethoden.

Met andere optische technieken worden momenteel sensoren ontwikkeld die het mogelijk maken dat de drogestofopbrengst op het veld (kg droge stof/ha) kan worden gemeten evenals het droge-stofpercentage van in het zwad liggend gras. Deze techniek kan naar verwachting over 5 jaar (tegen een betaalbare prijs van circa 1500,- € per sensor) beschikbaar zijn in een meetinstrument op het melkveehouderijbedrijf. Voorwaarde is dat de realisatie ervan ter hand wordt genomen. De sensoren kunnen een grote bijdrage leveren aan de verhoging van de nauwkeurigheid van de simulatiemodellen die, mede op basis van meteorologische gegevens, de gewasgroei voorspellen. Dit kan bijdragen aan een kwalitatief beter management. Daarnaast kan een vochtsensor een bijdrage leveren aan het maken van een kwalitatief betere graskuil door op basis van het online gemeten vochtgehalte een conserveringsmiddel toe te voegen.

Voor het bepalen van de samenstelling en voederwaarde van het verse gras op het veld is beeldvormende spectroscopie, de techniek waar ook de Inspector Mobiel mee is uitgerust, geschikt voor toepassing in een snelle meetmethode. In dit rapport zijn voorspellingsnauwkeurigheden van verschillende combinaties van optische sensoren weergegeven. Er zijn meerdere combinaties mogelijk, waarbij er goede mogelijkheden zijn om een relatief goedkope sensorcombinatie te ontwikkelen binnen een relatief korte tijd. Deze techniek is naar verwachting over 5 jaar beschikbaar in een meetinstrument op het melkveehouderijbedrijf. Het is waarschijnlijk dat deze techniek als service wordt aangeboden aan de melkveehouder vanwege de kostprijs per meetinstrument en de benodigde expertise voor de hantering van dergelijke apparatuur.

Wat betreft het bepalen van de samenstelling en voederwaarde van kuil is de Near Infrared Spectroscopy (NIRS) methode nog steeds de meest aangewezen methode. De techniek wordt ook toegepast in de agrarische laboratoria. Deze techniek is nog te duur en te gevoelig om toegepast te worden op het melkveehouderijbedrijf. Het zou de moeite waard zijn om te proberen of met metingen met NIRS apparatuur op locatie veel aan nauwkeurigheid wordt ingeboet.

Een andere optie is om in de logistiek van en naar het laboratorium nog het een en ander te verbeteren waardoor de analyseresultaten sneller bij de melkveehouder kunnen zijn. Of het mogelijk is om met andere optische technieken (spectrofotometers in combinatie met camera's) de ruwvoersamenstelling en voederwaarde van kuil te bepalen op bijvoorbeeld een transportband is nog niet getest. Voor het verder ontwikkelen van de concepten, waarin specificaties en mogelijkheden van een eenvoudig meetinstrument voor een praktische toepassing beschreven staan, is het nodig de beschikbare technieken te testen op het melkveehouderijbedrijf. Niet alleen de technische aspecten behoeven dan de aandacht, maar ook het inpassen van het meetinstrument in de

bedrijfsvoering van het melkveehouderijbedrijf. Voor het gebruik van de melkveehouder is het belangrijk dat het meetinstrument aansluit bij het management dat hij toepast op zijn bedrijf en dat het gebruik van een dergelijk instrument geen extra werk met zich meebrengt.

Dit rapport geeft een overzicht van de technieken waarvan het de moeite waard is om concepten op te stellen waarmee het bedrijfsleven meetinstrumenten voor snelle meetmethoden kan gaan bouwen. Concreet gaat het hierbij op de korte termijn om bepaling van biomassa en droge stof op het veld, en bepaling van het vochtgehalte op het veld en bij de oogst (bijvoorbeeld ten behoeve van een goed conserveringsproces). Op de iets langere termijn is bepaling van inhoudsstoffen (ook van de kuil) interessant.

Summary

In the past few decades much progress has been made in the efficiency of roughage production on the dairy farm, but also in coming years cost price control, an efficient use of raw materials and making high-quality roughage make a further improvement in roughage production necessary. To this end it is essential that dairy farmers know of the actual status and the course of important processes in roughage production.

The measuring methods today's dairy farmer has to control, i.e., the laboratory analyses, only provide hindsight information, because it takes too long before results are available. To be able to effectively control, quick measuring methods are needed, so that information becomes available in time. Recently new technologies have been developed that might be suitable for application in quick measuring methods for dairy farmers.

There are not any plans available yet, however, which describe specifications and possibilities of a simple measuring tool for practical application. The present project aims at defining plans in which these specifications and possibilities are described. With these plans the industry can develop quick measuring methods, so that dairy farmers have the possibility of applying quick measuring methods on their farms, supporting decisions on production, harvest and use of roughage.

As a first step in defining the plans, the Applied Research of the Animal Sciences Group, Plant Research International (PRI) and Agrotechnology and Food Innovations (A&F) conducted a desk study into quick measuring methods as management tools in roughage production.

A questionnaire among 500 dairy farmers revealed that dairy farmers need (and in most cases also want to pay for it) quick measuring methods for defining of:

- dry matter content of field grass
- composition and feed value of fresh grass in the field, and
- composition and feed value of the silage.

The optical techniques, among which spectroscopy (for example, NIRS and RAMAN), seem to offer perspectives for defining the dry matter yield of grass in the field and the composition and feed value of the fresh grass in the field. RAMAN, however, is still in the making and is expected to be available in ten years to be used in quick measuring methods.

With other optical techniques, sensors are being developed that make it possible to measure the dry matter yield in the field (kg dry matter/ha) and the dry matter percentage of the windrow grass. It is expected that this technique is available in 5 years (at a reasonable price of approximately € 1500 per sensor) in a measuring tool on the dairy farm. But realisation should be taken up. The sensors can make a major contribution to the improvement of the accuracy of simulation models that, partly on the basis of meteorological data, predict crop growth. This can contribute to a qualitatively better management. Moreover, a hygro sensor can contribute to making qualitatively better grass silage by adding preservatives on the basis of the on-line measured water content.

For defining the composition and feed value of fresh grass in the field, conceptual spectroscopy, the technique with which also Inspector Mobiel has been equipped, is suitable for application in quick measuring methods. This report presents prediction accuracies of different combinations of optical sensors. Several combinations are possible, with which there are sufficient possibilities of developing a relatively cheap sensor combination within a relatively short time. It is expected that this technique can be available in 5 years in a measuring tool on the dairy farm. This technique is likely to be offered as a service to the dairy farmer, because of the cost price per measuring tool and the necessary expertise for handling such equipment.

For defining the composition and feed value of silage, the Near Infrared Spectroscopy (NIRS) method is still the most suitable method. The technique is also applied in agrarian laboratories, but is still too expensive and too sensitive to be applied on dairy farms. It would be worthwhile to try whether on-site measuring by NIRS equipment loses much accuracy.

Another option is to improve the logistics from and to the laboratory, so that analysis results can be with the farmer sooner. Whether it is possible to define roughage composition and feed value of silage with other optical techniques (spectrophotometers in combination with cameras) on, for example, a conveyor belt has not been tested yet. For a further development of the plans, in which specifications and possibilities of a simple measuring tool for practical application are described, it is necessary to test the available techniques on the dairy farm. The technical aspects need attention, as does the fitting in of the measuring tool with the management the dairy farmer applies. For the farmer the latter is important, as is the fact that the use of such a tool does not imply extra work.

This report presents a survey of the techniques that are worthwhile in defining plans with which the industry can build tools for quick measuring methods. In the short term this concerns defining biomass and dry matter in the field, and defining of the water content in the field and at harvest (for example, for the purpose of an adequate preservation process). In the somewhat longer term defining of content matter (also of silage) is interesting.

Inhoudsopgave

Begeleidingscommissie en Uitvoerende instituten

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Inventarisatie meetmethoden	2
2.1	Inventarisatie bestaande technieken.....	2
2.1.1	Huidige situatie	2
2.1.2	Meetmethoden aan gras.....	2
2.1.3	Meetmethoden aan graskuil	4
2.1.4	Acceptatiegraad en criteria voor gebruik meetmethoden	5
2.2	Inventarisatie van nieuwe technieken.....	6
2.2.1	Aard van de informatie	6
2.2.2	Plaats in de keten	7
2.2.3	Sensor-technische benadering	12
2.3	Lopend onderzoek	13
2.3.1	Wageningen, Nederland.....	13
2.3.2	Braunschweig, Duitsland.....	17
2.3.3	Hamilton, Nieuw-Zeeland.....	17
2.4	Nabij infrarood spectroscopie (NIRS).....	19
3	Inventarisatiebehoefte aan snelle meetmethoden	20
3.1	Inleiding	20
3.2	Methodiek	20
3.3	Resultaten.....	21
3.3.1	Algemene gegevens van de geënuquêteerden.....	21
3.3.2	Typering van het graslandgebruik.....	23
3.3.3	Behoeftte aan snelle meetmethoden	26
3.3.4	Identificatie van groepen van ondernemers die behoefte hebben aan meetmethoden	28
3.4	Conclusies	31
4	Beoordeling en selectie	32
4.1	Kwantitatieve bepaling van de gewashoeveelheid	32
4.2	Bepalen van de samenstelling en voederwaarde	33
4.3	Het maken van een goede kwaliteit graskuil.....	33
4.4	Bepalen van de samenstelling en voederwaarde van de kuil	34
4.5	Selectie	34
5	Vervolg	36
	Bijlagen	37
Bijlage 1	Instrumenten voor het graslandmanagement van de veehouder*	37

Bijlage 2	Informatie van satellieten	38
Bijlage 3	Absorptieeigenschappen in zichtbaar en NIR-gebied en chemische bestanddelen.....	39
Bijlage 4	Golflengten van de belangrijkste absorptiebanden van enkele organische bestanddelen (naar Williams, 1987).....	40
Bijlage 5	Enquête	41
Bijlage 6	Toegezonden brief	52
Bijlage 7	Frequentietabellen.....	53
Bijlage 8	Factoren voor product specificatie en ontwerp (Naar Pugh, 1991).....	55
Bijlage 9	List of figures	56
Literatuur	57

1 Inleiding

In de laatste tientallen jaren is grote vooruitgang geboekt in de efficiëntie van ruwvoerproductie op het melkveebedrijf. Het streven naar kostprijbeheersing, een efficiënte inzet van grondstoffen en het winnen van ruwvoer van hoge kwaliteit maakt ook in de komende jaren een verdere verbetering van de ruwvoerproductie noodzakelijk. Waar in het verleden volstaan kon worden met relatief generiek toepasbare maatregelen, zoals bijvoorbeeld het verlagen van de kunstmestgift, moeten in de toekomst meer specifieke, situatieafhankelijke maatregelen worden ontwikkeld. Daarvoor is het essentieel dat melkveehouders beschikken over informatie omtrent de actuele status en het verloop van belangrijke processen bij de ruwvoerproductie.

De meetmethoden die een melkveehouder momenteel tot zijn beschikking heeft om bij te sturen, laboratoriumanalyses, geven alleen achteraf informatie doordat het te lang duurt voordat de resultaten beschikbaar zijn. Om effectief bij te kunnen sturen is het beschikbaar komen van meetmethoden gewenst waarbij de informatie tijdig beschikbaar is. Deze methoden worden in dit rapport verder aangeduid als 'snelle meetmethoden'. De informatie uit snelle meetmethoden ondersteunt de melkveehouder bij operationele en tactische beslissingen bij de teelt en het gebruik van ruwvoer. Hierdoor kunnen de beschikbare oppervlaktegrond en gebruikte grondstoffen efficiënter worden ingezet, hetgeen bijdraagt aan een lagere kostprijs en een optimaal gebruik binnen de randvoorwaarden die gesteld worden door wet- en regelgeving.

Een snelle bepaling van bijvoorbeeld de massa en kwaliteit van gras tijdens de groei van een snede geeft informatie over het juiste oogstmoment. Een snelle bepaling van de voerkwaliteit bij het voeren van kuilvoer zou een beter zicht kunnen geven op de variatie in kuilkwaliteit, en zodoende een betere afstemming van de voeding mogelijk maken. In de weideperiode kan een indicatie van grasaanbod en -kwaliteit sturend zijn voor de bijvoeding op stal.

Naast deze toepassingen voor dagelijkse beslissingen kan de informatie uit de snelle meetmethoden eveneens gebruikt worden voor beslissingen op de middellange termijn. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het beoordelen van de zodekwaliteit ten behoeve van beslissingen omtrent herinzaai en vruchtwisseling. Of er kan een systeem van bijbemesting op basis van snelle meetmethoden worden ontwikkeld voor gras- en voedergrassen.

Recentelijk zijn er nieuwe technieken ontwikkeld, die geschikt zouden kunnen zijn voor toepassing in snelle meetmethoden voor de melkveehouder.

Er zijn echter nog geen concepten beschikbaar waar specificaties en mogelijkheden van een eenvoudig meetinstrument voor een praktische toepassing beschreven staan. Er moet eerst helder worden welke concepten toegevoegde waarde hebben (taak onderzoek) waardoor het bedrijfsleven bereid is te investeren om tastbare meetinstrumenten op de markt te brengen. Een voorbeeld van een nieuwe techniek die geschikt zou kunnen zijn voor gebruik in snelle meetmethoden voor de veehouder, is die gebaseerd op spectroscopie. Op basis van onderzoek met deze techniek is geconcludeerd dat een nauwkeurige bepaling van droge stofopbrengst en nutriëntengehalten (N, P, K, S, Mg) mogelijk is. Ook kan een goede indicatie worden gegeven van de voederwaarde en de mate van water- en stikstofgebrek. Een concept voor het toepassen van deze techniek in een praktisch meetinstrument is echter niet beschikbaar.

Het streven is om in dit project 'Snelle meetmethoden als managementinstrument bij de teelt van ruwvoer' concepten op te stellen waarin specificaties en mogelijkheden van een eenvoudig meetinstrument voor een praktische toepassing beschreven staan. Met deze concepten kan het bedrijfsleven snelle meetmethoden ontwikkelen zodat melkveehouders beschikken over de mogelijkheid om snelle meetmethoden toe te passen op hun bedrijf, ter ondersteuning van beslissingen bij de teelt, oogst en het gebruik van ruwvoer.

In dit project wordt NIET aan productontwikkeling gedaan. De nadruk ligt in dit project op de ruwvoerproductie van grasland.

Dit project is uitgevoerd door het Praktijkonderzoek van de Animal Sciences Group, Plant Research International van de Plant Sciences Group en Agrotechnology and Food Innovations van de Agrotechnology & Food Sciences Group in opdracht van het Productschap Zuivel. Het project werd begeleid door een vertegenwoordiger van het Productschap Zuivel, een melkveehouder en een onderzoeker. Er werd nauw samengewerkt met het SEO-programma 'Scheppen van ruimte' en het LNV-programma 398.

Dit rapport is de afronding van de eerste fase in het project. Hoofdstuk 2 beschrijft de inventarisatie van potentiële technieken voor toepassing in snelle meetmethoden aan de hand van de processen in de bedrijfsvoering. Het project beperkt zich tot het toepasbaar maken van bestaande technieken. Dat kan inhouden dat bepaalde technieken worden verbeterd. Wel worden de mogelijkheden die gebaseerd zijn op de nieuwste stand van de techniek en inzichten in kaart gebracht. Een aantal deskundigen op verwante vakgebieden is geconsulteerd, zowel WUR-deskundigen als anderen. Tot de verwante vakgebieden behoren de medische techniek, de remote sensing en de agrarische laboratoria. Hoofdstuk 3 beschrijft de inventarisatie naar de behoeften van melkveehouders over de toepassing van snelle meetmethoden op hun bedrijf. Hoofdstuk 4 beschrijft de beoordeling en selectie van de potentiële technieken die geschikt zijn voor toepassing in snelle meetmethoden. Hoofdstuk 5 geeft een aanzet tot een vervolg.

2 Inventarisatie meetmethoden

Allereerst zijn de bestaande meetmethoden geïnventariseerd. Hierbij is als definitie voor bestaande meetmethoden gebruikt: meetmethoden en -technieken die door de veehouder al toegepast kunnen worden op zijn eigen bedrijf. Toepassen op het eigen bedrijf omvat daarbij ook bijvoorbeeld het nemen van gewasmonsters en deze laten analyseren door een van de agrarische laboratoria.

De beschreven meetmethoden en technieken hebben betrekking op de teelt van gras, de oogst en de kuil. Kortom: het hele traject van akker tot melk, met de bedoeling om daar waar mogelijk een impuls voor te bereiden ter verbetering van de efficiëntie van de bedrijfsvoering. De meetmethoden zullen veelal niet op zichzelf staan, maar een integraal onderdeel van een managementsysteem vormen. Deze studie omvat echter geen managementsystemen, maar beperkt zich tot de mogelijkheden tot snelle meting van belangrijke grootheden ten behoeve van het management van de boer. De vraag die beantwoord wordt, is welke meetmethoden mogelijk zijn en welke meetmethoden in de nabije toekomst (zeg 5 jaar) beschikbaar kunnen komen voor gebruik op de boerderij.

Na het beschrijven van de bestaande meetmethoden, van klaverwijzer tot grondmonsters, is aandacht besteed aan het onderzoek dat in de belangrijkste landen wordt gedaan. Met name in Nederland, Duitsland, Frankrijk en Nieuw-Zeeland. De inventarisatie hiervan is gericht op het beschrijven van de stand der techniek (state of the art), waarna ten slotte aandacht wordt besteed aan de inventarisatie van nieuwe technieken. Voor de nieuwe technieken is doorgaans een horizon van 5 jaar gehanteerd (na 5 jaar kunnen deze technieken zich zodanig ontwikkeld hebben dat op de boerderij bruikbaar gereedschap mogelijk is), soms is een horizon van 10 jaar gehanteerd. Waar een horizon van meer dan circa 5 jaar is gehanteerd, is dit vermeld.

2.1 Inventarisatie bestaande technieken

De lijst van bestaande meetmethoden die door de veehouder al op het eigen bedrijf worden gehanteerd is redelijk kort. Naast de onderstaand beschreven meetmethoden is er een aantal instrumenten voor het graslandmanagement van de veehouder. Deze instrumenten bestaan uit software, waarbij nauwelijks of geen gemeten gegevens worden gebruikt, veeleer schattingen. Bijvoorbeeld software die de grasgroei op het bedrijf voorspelt. Belangrijke invoergegevens zijn weersomstandigheden. Deze kunnen nu al gedetailleerd en geautomatiseerd worden ingebracht. Maar zolang dit soort gereedschap geen rekening houdt met de nutriëntenvoorziening en de gewassamenstelling, is de waarde ervan vooralsnog slechts kwalitatief. Deze vooral kwalitatief te kenmerken instrumenten zijn weergegeven in bijlage 1. Voor een kwantitatief gebruik zijn meer gegevens nodig.

2.1.1 Huidige situatie

In de Nederlandse veehouderij is het gebruikelijk dat het tijdstip van oogst (maaien en weiden) en het tijdstip van inkuilen van gras op visuele wijze wordt bepaald. De hoogte van het gras is na het weer de belangrijkste factor die het tijdstip van oogst bepaalt. Het tijdstip van inkuilen wordt voor het grootste deel bepaald door het drogestofgehalte van het gemaaid gras en verder door de weersverwachting. Naast de visuele methode zijn er ook meetmethoden aan het staande en gemaaid gras.

2.1.2 Meetmethoden aan gras

Tijdens het weideseizoen verandert de samenstelling van het gras vrijwel dagelijks. Voor een optimale productie tegen de laagste kostprijs is het noodzakelijk om zo goed mogelijk in te spelen op de grashoeveelheid en graskwaliteit. Meetmethoden aan het staande gewas en bij de oogst zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Meetmethoden en de te meten parameters aan het staande of gemaaid gras

Te meten parameter*	Weeginstallatie op oogstmachine	Hoogte-meter	Uitmaaien	Magnetron	Nat-chemische methode laboratorium	NIRS** laboratorium	Spectroscopie*** machine op veld
In stand of gemaaid gras	gemaaid	staand	staand	gemaaid	staand en gemaaid	staand en gemaaid	staand en gemaaid
Gewicht (vers)	ja						
Gewicht (voorgedroogd)	ja						
Gewicht (drogestof)		Ja	ja				ja
Drogestof gehalte				ja	ja	ja	ja
Ruw eiwit					ja	ja	ja
Suiker					ja	ja	ja
Ruwe celstof					ja	ja	ja
VEM					ja	ja	ja
DVE					ja	ja	ja
OEB					ja	ja	ja
VC-OS					ja	ja	ja

* VEM Voeder Eenheden Melk (- /kg droge stof)
 DVE Darm Verteerbaar Eiwit (g/kg droge stof)
 OEB Onbestendig Eiwit Balans (g/kg droge stof)
 VC-OS Verteringscoëfficiënt van de organische stof (%)

** NIRS Near Infra Red Spectroscopy

*** Met spectroscopie worden reflectiemetingen in het zichtbare en nabij-infrarode spectrum van een kleine afstand bedoeld. Er zijn grote overeenkomsten met NIRS, maar in tegenstelling tot NIRS is geen voorbereiding (drogen en malen) van het gras nodig.

Door met de hoogtemeter op minimaal 30 plaatsen in het perceel de hoogte van het gewas te meten krijgt de veehouder een indruk van de hoeveelheid gras die op het perceel staat, uitgedrukt in kg drogestof/ha. Onderschatting en overschatting van de drogestofopbrengst treedt op als gevolg van type gras, groeistadium en bemestingsniveau. Bovendien wordt geen rekening gehouden met de dichtheid van het gewas. De hoogtemeter geeft een gemiddelde fout van 555-645 kg ds/ha bij 200-4000 kg ds/ha (*Schut et al., 2003*). Gabriëls & Van den Berg (1993) melden een gemiddelde fout van 450 kg ds/ha bij 1600 kg drogestofopbrengst, waarbij de capacitance probe en de hoogtemeter gecombineerd werden gebruikt in grasland met voornamelijk *Lolium Perenne* L. De gemiddelde fout nam toe bij hogere drogestofopbrengsten.

Er zijn verschillende versies van de gewashoogtemeter op de markt. Vanaf 1990 zijn er ook elektronische hoogtemeters op de markt. Het enige voordeel boven de gewone hoogtemeter is dat de gegevens automatisch worden opgeslagen en op een PC kunnen worden ingeladen; een LCD-scherm kan de gemiddelde hoogte en het aantal metingen weergeven en berekent de drogestof opbrengst per ha. De elektronische meters zijn relatief duur: € 675,- (www.kencove.com/shopDetail.php?item=Rising+Plate+Meter&recordID=RPM; 2004)

Vormen van de hoogtemeter zijn de Vlochter Grashoogtemeter (www.grasinfo.nl, juli 2004), de NMI-grashoogtemeter (www.eijkelkamp.nl, juli 2004), de Sward Stick (*Duru et al., 1992*), de Hfro Sward Stick (*Barthram, 1986*) en de Sonic Sward Stick (*Hutchin., 1991, 1992*), de Rising Plate Meter (*Early, 1979; Rayburn et al., 1998*) en de Massey Automated Sward Stick (*Vickery et al., 1980; Gonzalez et al., 1990*).

Metingen met de Cropscan (*Lokhorst et al., 1998*) geven in vergelijking met de hoogtemeter een betere voorspelling van de drogestofopbrengst, maar het resultaat is nog niet voldoende nauwkeurig (*Schut et al., 2003*). De Cropscan is een apparaat dat o.a. met behulp van sensoren de inkomende en gereflecteerde straling van een gewas meet. De gemeten waarde wordt m.b.v. een empirische relatie in verband gebracht met de hoeveelheid gewas die er staat.

Al de hierboven genoemde systemen hebben ongeveer dezelfde nauwkeurigheid; ze verschillen in ergonomische aspecten en benodigde arbeidstijd.

De 'Uitmaaimethode' is een destructieve methode, waarbij stroken gras van bijvoorbeeld 5 m lang en 1,5 m breed met circa 10 herhalingen op een perceel worden uitgemaaid. Het doel is de drogestofhoeveelheid per perceel of per ha te berekenen met behulp van het verse gewicht aan gras en het drogestofgehalte van het gras. De methode is nauwkeurig, maar vraagt veel arbeid.

Met de magnetron is redelijk snel (ca. 0,5 uur) en vrij nauwkeurig het drogestofgehalte van één monster gras te bepalen. Voor een goede schatting van het drogestofgehalte van een perceel zijn echter 20-50 grasmonsters nodig verdeeld over het perceel. Dit vraagt veel tijd en arbeid.

Het wegen van het geoogste gras begint ingang te vinden in de praktijk. Sommige balenpersen zijn met voorzieningen hiervoor uitgerust. Welger heeft een weeginrichting op de uitwerpstang van de rondebalepers. Het systeem is (bijna) praktijkrijp. GeWiTech, de fabrikant van wikkelaars en perswikkelscombinaties, bouwt een weegsysteem op de balenwikkelaar. Het systeem levert gegevens over de hoeveelheid geoogst product per perceel, het gewicht per baal en het gemiddelde gewicht per baal. Tot nu toe wordt het drogestofgehalte nog niet bepaald. Wel is er recent onderzoek gedaan naar het meten van de graskwaliteit bij oogsten met een hakselaar met behulp van NIRS (Paul, 1991, Paul et al., 2000, 2002A, 2002B). Als het gemiddelde drogestofgehalte van het perceel gemeten kan worden, kan de hoeveelheid geoogste drogestof per perceel worden berekend. Opraapwagens zijn nog niet uitgerust met meetsystemen voor de hoeveelheid te laden product.

De voederwaarde in vers gras kan in het laboratorium worden bepaald door de nat-chemische en de NIRS-methode. De eerstgenoemde wordt niet gebruikt in de praktijk, omdat de resultaten van de analyse pas na 4-6 weken beschikbaar zijn en deze bovendien vrij duur is. De NIRS-methode is goedkoper, maar omdat de resultaten pas na enige dagen beschikbaar zijn, heeft ze ook geen ingang gevonden in de praktijk.

2.1.3 Meetmethoden aan graskuil

Bij het voeren van kuilgras is het van belang dat de veehouder weet hoeveel hij voert en welke kwaliteit hij voert. Het wegen en het (laten) analyseren van het kuilgras op de samenstelling is van essentieel belang. De op dit moment beschikbare meetmethoden voor kuilgras zijn vermeld in tabel 2.

Tabel 2 Meetmethoden en de te meten parameters van het ingekuilde gras

Te meten parameter*	Meetmethode		
	Weeginrichting op bedrijf	Nat-chemisch laboratorium	NIRS** laboratorium
Gewicht ingekuild gras	ja		
Drogestofgehalte		ja	ja
Ruw eiwit		ja	ja
Suiker		ja	ja
Ruwe celstof		ja	ja
VEM		ja	ja
DVE		ja	ja
OEB		ja	ja
VC-OS		ja	ja

* VEM Voeder Eenheden Melk (- /kg droge stof)
 DVE Darm Verteerbaar Eiwit (g/kg droge stof)
 OEB Onbestendig Eiwit Balans (g/kg droge stof)
 VC-OS Verteringscoëfficiënt van de organische stof (%)

** NIRS Near Infra Red Spectroscopy

Wegen van het voer kan met behulp van een weegbrug op het bedrijf. Probleem is vaak dat weegbruggen niet gangbaar zijn op veehouderijbedrijven. Als een weegbrug wel voorhanden is, kost het wegen relatief veel tijd. Het wegen van kuilvoer gaat meestal snel door weegunits op voermengwagens of doseerwagens. De meeste van deze wagens zijn uitgerust met weeginrichtingen.

Uit onderzoek van ABCTA (Voertaal, 2003) bleek dat de grootte van de verschillen tussen het geadviseerde en het opgenomen rantsoen sterk afhankelijk was van het al of niet aanwezig zijn van een weeginrichting, bijvoorbeeld een voermengwagen, op een bedrijf. Op bedrijven met voersystemen zonder weeginrichting, bijvoorbeeld met een voerbak, een blokkendoseerwagen of een zelfbedieningsvoerhek bleek vrijwel altijd meer maïskuil te worden opgenomen dan was geadviseerd. Het verschil liep in enkele gevallen op tot meer dan 2 kg drogestof per koe per dag. Dit is deels het gevolg van selectie van koeien, maar vooral (ca. 80%) een gevolg van inschattingfouten. Hierdoor raakt het rantsoen op sommige bedrijven behoorlijk uit balans, waardoor eiwittekort kan optreden met als gevolg een daling van de melkproductie.

Voor bepaling van de samenstelling van graskuil zijn de nat-chemische methode en de Near Infrared Spectroscopy (NIRS) methode in het laboratorium de meest geëigende op dit moment. De eerste methode is bedoeld om de exacte samenstelling van een product weer te geven, bij de tweede wordt de voederwaarde vergeleken met referentiewaarden van voederwaarden van een grote hoeveelheid van soortgelijke producten (zie paragraaf 2.4). De laatste methode wordt gebruikt voor analyse van vers-gras- en kuilgrasmonsters van veehouders. Het geeft een relatief goede

betrouwbaarheid en is prijstechnisch voordeliger dan de nat-chemische methode. Een nadeel van beide methoden is dat de tijd tussen monsternamen en uitslag van de resultaten vrij lang is.

In de praktijk komt het veelvuldig voor dat een veehouder vaak niet meer dan één of enkele monsters graskuil laat nemen, wat een wankel basis is voor de rantsoenberekening van het wintervoer. Dit geldt temeer als de veehouder tegen elkaar aan of over elkaar heen kuult. Deze partijen zijn afkomstig van verschillende sneden gras met daardoor ook verschillende voederwaarden. De huidige bemonsteringsmethodiek van Blgg omvat 3 boringen per kuil. Hiervan wordt één mengmonster gemaakt voor analyse. De analyses van de mengmonsters geven dan een gemiddeld beeld van de voederwaarde. De verschillen in voederwaarde tijdens het uitkuilen kunnen aanzienlijk zijn, afhankelijk van de oorsprong van de kuillagen.

Ten slotte kan tussen het tijdstip van monsternamen en het tijdstip van voeren nog verandering van voerkwaliteit optreden als gevolg van bijvoorbeeld broei in de kuil of na het uitkuilen, waardoor de koe een niet juiste voederwaarde (vaak: te laag) en smaak krijgt aangeboden, hetgeen de voeropname en melkproductie negatief beïnvloedt. Het is dus wenselijk de periode tussen het tijdstip van monsternamen en voeren van de graskuil zo kort mogelijk te laten zijn.

2.1.4 Acceptatiegraad en criteria voor gebruik meetmethoden

Met betrekking tot gras, al of niet voorgedroogd

Drogestof

De grashoogtemeter als methode voor schatting van de hoeveelheid droge stof per ha vraagt van de veehouder te veel tijd ten opzichte van het behaalde resultaat.

De 'uitmaaimethode' wordt, ondanks de hoge nauwkeurigheid, in de praktijk nagenoeg niet toegepast vanwege de destructieve aard en de benodigde arbeid.

Bepaling van het drogestofgehalte van een grasperceel met behulp van de magnetron vraagt teveel arbeid van de veehouder, waardoor hij het nu praktisch niet gebruikt en het ook in de toekomst niet zal gaan gebruiken.

Voederwaarde

Bepaling van de voederwaarde van vers gras met de nat-chemische en NIRS-methode in het laboratorium voldoet niet om de volgende redenen:

- het verzamelen van vers gras voor een representatief monster in het veld vraagt te veel arbeid;
- de resultaten zijn niet op tijd beschikbaar voor de veehouder, zodat hij zijn grasland- en voermanagement hierop niet kan afstemmen;
- de kosten voor één monster zijn relatief hoog.

Wegen van het geogste gras

Met het wegen van de balen net na het persen kan een goed inzicht worden verkregen in de voorraad kuilvoer voor de winterperiode. Het is een goede, snelle en praktische methode. Voor de bepaling van de hoeveelheid geogste droge stof is echter nodig dat het drogestofgehalte van het materiaal ook op een snelle, praktische en nauwkeurige manier kan worden bepaald, bij voorkeur een on-line methode. Tot nu toe is dat bij drogestofpercentages van 30 tot 50% nog geen praktijk. Wel is er recent onderzoek gedaan naar het meten van de maïskwaliteit bij het oogsten met een hakselaar met behulp van NIRS (*Paul et al., 2000* en *Paul et al., 2002B*).

Met betrekking tot kuilgras

Drogestof

Indien de hoeveelheid kuilgras op bedrijfsniveau gewogen wordt, gebeurt dit meestal met een doseerwagen of voermengwagen met weeginrichting. Dit is een snelle en eenvoudige manier van gewicht bepalen. Als van het kuilgras ook het drogestofgehalte bekend is, is de hoeveelheid aangeboden droge stof kuilgras per groep koeien te berekenen.

Voederwaarde

Voor een indicatie van de voederwaarde wordt kuilgras geanalyseerd. In de praktijk wordt echter onvoldoende rekening gehouden met verschillende voerpartijen die tegen elkaar aan of over elkaar heen zijn gekuuld. Het nemen van meerdere mengmonsters per kuil is nog geen praktijk. Enerzijds waarschijnlijk omdat men niet beseft dat dit grote invloed heeft op de analyse van de voederwaarde van de kuil, anderzijds waarschijnlijk door het feit dat het laten analyseren van meerdere monsters de kosten verhoogt.

Het laten analyseren van het uit te kuilen voer heeft nog geen zin omdat de resultaten te laat beschikbaar zijn voor de veehouder om te kunnen gebruiken in de bedrijfsvoering.

2.2 Inventarisatie van nieuwe technieken

De vraag naar nieuwe technieken die in de nabije toekomst beschikbaar zullen komen, kan vanuit verschillende gezichtspunten worden benaderd. De volgende benaderingen zijn gehanteerd:

- naar de aard van de informatie kunnen onderscheiden worden: geometrische informatie, omgevingsinformatie en productinformatie;
- naar de plaats in de keten kunnen opeenvolgende gebeurtenissen/processen worden onderscheiden, die samen de output van de melkveehouderij vormen. Dit is de keten van bodem tot output van de koe in de vorm van melk en faeces;
- naar de aard van de sensortechniek kan een indeling worden gemaakt van mogelijke signaaldragers en bijbehorende fysische processen waarbij die signalen ontstaan. Hierbij wordt uitgegaan van de zes energie-domeinen¹, de fysische effecten en de omvormers die metingen aan de fysische effecten mogelijk maken.

Sinds de lancering van de Landsat door de NASA spelen satellieten een belangrijke rol bij de inventarisatie van landgebruik. Bij de ontwikkeling van volgende generaties satellietssystemen maakt men gebruik van nieuwe technologische ontwikkelingen op sensortechnisch gebied. Met name die sensorontwikkeling is interessant. Immers: technieken die voor gebruik in satellieten ontwikkeld zijn, kunnen ook vaak op aarde (bijvoorbeeld op de trekker) worden toegepast. Voorwaarde is dat deze technieken voldoende robuust en goedkoop kunnen worden gemaakt. Bijlage 2 behandelt in het kort de satellieten en hun meetsystemen.

Omdat in alle benaderingen Nabij InfraRood Spectroscopie (NIRS) een belangrijke rol blijkt te spelen, wordt de lezer, die niet met deze techniek vertrouwd is, gevraagd eerst kennis te nemen van paragraaf 2.4. Hier is deze techniek kort uiteengezet, evenals de belangrijkste mogelijkheden en onmogelijkheden ervan.

2.2.1 Aard van de informatie

Geometrische informatie is bij gras met name van belang tijdens de groei. Hierbij kan het aantal stengels/spruiten/bladeren per m² worden gemeten, evenals de hoogteverdeling van de stengels/bladeren. Met dit type informatie kan de ruimtelijke structuur gemeten worden, mits met een geometrische resolutie wordt gemeten die kleiner is dan de breedte van een stengel van het gewas. Een exacte reconstructie is veelal niet nodig. Goede statistieken over de hoogteverdeling en het aantal stengels per oppervlakte-eenheid zijn dan te beschouwen als een resultante van het totaal, waarin parameters als gewashoek, gegeven een type gewas (ras, soort) weggemiddeld kunnen worden. Een geschikte sensor (voor zelfstandig gebruik door de veehouder) waarmee deze informatie te verkrijgen is, kan binnen vijf jaar technisch worden gerealiseerd, inclusief het markttraject. Door het ontwikkelen van nieuwe of het verbeteren van bestaande gewasgroeimodellen kan dan, mits gecombineerd met de gegenereerde geometrische informatie, een nauwkeurige schatting van het versgewicht per oppervlakte eenheid gemaakt worden. Dit is tot op heden niet gedaan.

Omgevingsinformatie is een bron van informatie over het proces 'plantengroei'. Groeimodellen maken gebruik van omgevingsinformatie, waarbij licht, water en nutriëntenvoorziening belangrijke componenten zijn. Validatie van deze modellen op veldschaal heeft overigens slechts in beperkte mate plaatsgevonden vanwege de kosten van metingen. Omdat de groei in het begin een exponentieel verloop vertoont, zijn de gewasgroeimodellen gevoelig voor foutencumulatie, wat wellicht kan worden voorkomen door op een gunstig moment de berekende gewashoeveelheid te vergelijken met en te corrigeren voor de gemeten gewashoeveelheid.

Ook informatie over de gasuitwisseling (vanuit plant en bodem) met de lucht kan een bron van informatie zijn over het proces 'plantengroei'. Aan de uitwisseling van gassen vanuit plant en bodem met de lucht is veel experimenteel onderzoek uitgevoerd m.b.v. klimaatkamers, opentopkamers e.d. Deze technieken geven echter systematische verschillen te zien met de situatie op veldschaal (afwijkende stralingsbalans, warmtebalans en vochtbalans). Metingen op veldschaal zijn veel minder uitgevoerd vanwege de relatief hoge kosten: er is veel inspanning nodig om voldoende nauwkeurig te meten. De uitwisseling van respiratiegassen (fluxen van CO₂ en waterdamp) kan in principe worden gebruikt om de groei (kg plantmateriaal als gevolg van fotosynthese per dag) te schatten. Dit vergt een slimme interpretatie van meetgegevens om fotosyntheseflux, respiratieflux van de plant en bodemrespiratieflux te kunnen onderscheiden en te kwantificeren. Deze metingen kunnen tegenwoordig continu worden uitgevoerd door een combinatie van een Sonische anemometer en een Licor 7500 snelle sensor voor CO₂ en H₂O. Een experimentele opstelling draait reeds gedurende bijna 2 jaar op het meteoveld Haarweg te Wageningen. De opstelling is in principe snel verplaatsbaar. Gaan we er hierbij van uit, dat de vastlegging van koolstof de belangrijkste parameter is om de gewasgroei te schatten (koolstofbalans plant), dan kan een verband worden gelegd tussen gemeten netto koolstofflux

¹Professor Simon Middelhoek (TU-Delft, emeritaat 1997)

(=gewasgroei) en omgevingsparameters (temperatuur, fotosynthetisch actieve radiatie, vochttoestand van de grond, etc.). Deze verbanden worden ook gebruikt in biochemische modellen van de fotosynthese. Het is dus mogelijk om de biochemische modellen te toetsen aan de dagelijkse gewasgroei en zo verbetering aan te brengen in die modellen. Een groot voordeel is dat zo'n gewasgroeimodel daarmee gefit kan worden op de groei op perceelsniveau. De gebruikte methode is echter niet direct bruikbaar als hulpmiddel voor het management in verband met de materiele en personele kosten van deze metingen.

Voor managementdoeleinden is een goedkope, snelle meting wenselijk. Goedkope sensoren voor CO₂ en een aantal andere gassen bestaan weliswaar, maar deze sensoren zijn niet geschikt voor dit doel vanwege de detectiegrens en onnauwkeurigheid van de resultaten.

Productinformatie. Naast de ruimtelijke verdeling van het gewas en omgevingsinformatie kan tevens gedacht worden aan het meten van eigenschappen van het product. Hierbij wordt gedacht aan metingen met een geometrische resolutie die kleiner is dan de breedte van een stengel, zodat detailinformatie van het gewas wordt verkregen. Bekend is de ImSpector Mobiel, die met een geometrische resolutie van ca. 0,5 mm² werkt. Zonder direct aan zo'n onderzoeksinstrument te denken, is het beter om de aard van de mogelijk te verkrijgen informatie te karakteriseren. De informatie wordt ontleend aan de mate waarin gewas reflecteert bij verschillende golflengten. Door een bekende hoeveelheid licht met een bekende spectrale samenstelling aan te bieden aan het gewas en te meten welk percentage van dit licht via directe reflectie terugkomt, wordt informatie verkregen over de golflengten van het licht die door het gewas geabsorbeerd worden en tevens de mate waarin dit licht per golflengte wordt benut. Bij de interactie tussen licht en gewas spelen zowel fysische eigenschappen als chemische samenstelling een rol. De invloed van de inhoudstoffen op de absorptie van licht van bepaalde golflengten is langs fysische weg meetbaar, maar omdat het de chemische samenstelling betreft, wordt dit complex aan eigenschappen voor het gemak hier ingedeeld bij de chemische eigenschappen. De fysische eigenschappen omvatten grootheden als bladhoek, bladhoogte, bladbreedte, oppervlaktestructuur (monocotylen en dicothylen hebben een andere oppervlaktestructuur), ligging pigmenten (meer aan de oppervlakte of dieper), et cetera.

2.2.2 Plaats in de keten

Opeenvolgende gebeurtenissen/processen vormen samen de output van de melkveehouderij. Deze zijn:

- bodemanalyse en mineralenvoorziening;
- groei van gras;
- oogst van gras;
- inkuilen;
- kuil openen/voeren;
- voeropname door koe;
- vertering door koe;
- output van de koe.

Elk van deze stappen kent grootheden waarmee al of niet gestuurd kan worden, zoals bemesting, watervoorziening, temperatuur, samenstelling graszode, et cetera. Als men wil sturen, dan is meten van (kwaliteits)kenmerken binnen een (deel)proces van belang. Door te sturen probeert men een deelproces te optimaliseren. Dit is geen doel op zich, omdat niet elk deelproces afzonderlijk geoptimaliseerd dient te worden, maar de keten als geheel. Op efficiënte wijze veel gras produceren kan strijdig zijn met de opname van het product door de koe omdat het bijvoorbeeld onsmakelijk is.

Doelstelling van deze studie is niet om elk deelproces in detail te beschrijven, maar aan te geven waar mogelijkheden liggen voor relevante meetgrootheden om bijsturing op basis van deze grootheden mogelijk te maken.

Het ketenproces volgend zijn interessante meetmomenten:

- bodeminventarisatie (van mineralen beschikbaarheid);
- meting gewaseigenschappen (bijvoorbeeld N-, P-, K-toestand, voederkwaliteit, hoeveelheid gewas) tijdens groei;
- meting gewaseigenschappen op oogstmoment;
- meting kuil kwaliteit (op moment van uit de kuil halen);
- meting voeropname per koe;
- meting melkhoeveelheid en melkkwaliteit;
- meting hoeveelheid en samenstelling mest.

Indien dit hele traject meetbaar wordt, is een complete boekhouding van inputs en outputs te bewaken en indien voldoende inzicht in de processen bestaat, kan de keten als geheel worden geoptimaliseerd. Er is een trend in die richting en naarmate meer meetbaar wordt gemaakt, wordt deze trend versterkt. Verwacht mag worden dat invoering van bewaking van de keten op de meest essentiële punten begint. Deze punten kunnen ingegeven zijn door enerzijds winst oogmerk van de ondernemer en anderzijds wetgeving van de overheid. De meest essentiële processen spelen zich af rond:

- bodem en bemesting;
- gewas tijdens groei/beweiding en op oogstmoment;
- de graskuil;
- de koe.

Deze punten in de keten worden in aparte paragrafen beschreven.

Bodemanalyse en mineralenvoorziening

Op veehouderijbedrijven is het gangbare praktijk om bodemonderzoek te laten verrichten en zo inzicht te krijgen in de mineralenvoorziening. Hiervoor wordt een aantal bodemonsters genomen en deze worden opgestuurd en geanalyseerd door een laboratorium. Op basis van de analyses wordt de bemesting aangepast. Recente ontwikkelingen laten zien dat ook op andere wijze informatie over de bodem kan worden verkregen. De oudste apparatuur bestaat uit sondes waarmee de geleidbaarheid (EC) gemeten wordt. In 2002 is experimenteel onderzoek gestart om potentiële componenten (methoden, technieken, hulpmiddelen) voor geleide-bemestingssystemen verder te ontwikkelen en te combineren om de hierop gebaseerde systemen in onderling vergelijk te beoordelen op hun bijdrage aan het verbeteren van de mineralenbenutting en de vermindering van verliezen (onderzoekprogramma 398). Nieuwere apparatuur meet de optische eigenschappen in het ultraviolette (UV), het zichtbare (VIS) en het infrarode (IR) deel van het spectrum (*Kamrunnahar et al., 2003*). Totaal C, organisch C, anorganisch C, totaal N en waterinhoud van natte grond kan met behulp van NIRS-PLSR technieken nauwkeurig worden vastgesteld (*Cheng-Wen et al., 2001*). Een van de grote nadelen van NIRS is dat er altijd vergeleken moet worden met een goede referentieset. Een verdere stap in de ontwikkeling van eenvoudiger toepasbare NIRS is het ontwikkelen van 'Reflectance Spectral Libraries' (*Keith et al., 2002*). Dat betekent dat er niet vergeleken wordt met een apart aangemaakte referentieset, maar met een aantal standaard beschikbare referentiesets. Op die manier kan een laboratoriumtechniek sneller, goedkoper en meer betrouwbaar worden toegepast. Indien de NIRS-techniek zich zodanig ontwikkelt dat aan het NIR-spectrum bodembiochemische betekenis ontleend kan worden, dan wordt het maken van referentiesets in de toekomst mogelijk overbodig (zie ook paragraaf 2.4).

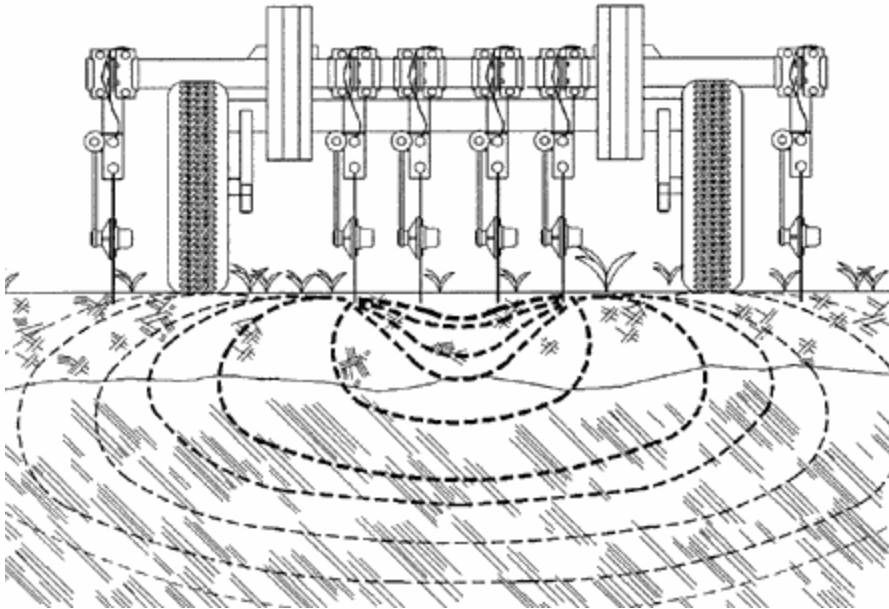
In Nederland is 'The Soil Company' actief. Aan de Rijksuniversiteit van Groningen is een detectiemethode ontwikkeld waarmee de natuurlijke radioactiviteit van de bovenste 30 centimeter van de bodem nauwkeurig kan worden bepaald. Het geheim van deze methode: de elementen waaruit de bodem is samengesteld hebben allemaal een verschillende natuurlijke radioactiviteit. De methode registreert die verschillen heel precies. Op ongeveer 800 meetpunten per hectare wordt zo de samenstelling en de toestand van de bodem gemeten. Aan de hand van een paar referentiemonsters is vervolgens het klei- en organische stofgehalte en de bemestingstoestand van de toplaag van een sportveld nauwkeurig te bepalen (www.grontmij.nl/werkvelden/themedetails.asp?id=374, augustus 2004). Ook Altic (www.altic.nl, augustus 2004) voert op commerciële basis bodemonderzoek uit, waarbij de geleidbaarheid van de bodem wordt gemeten, aangevuld met het nemen en analyseren van bodemonsters. In Japan heeft Shibusawa (2004) een mol ontwikkeld met daarin NIRS-meetapparatuur, een real-time soil spectrophotometer, voor gebruik in de Japanse rijstvelden.

Elektromagnetische inductie (EM) gebruikt elektromagnetische energie om de geleidbaarheid van de bodem te meten. Het apparaat bestaat uit een zender en een ontvanger (beide spoelen) die op een horizontale afstand van ongeveer 1 meter geplaatst zijn. De zendspoel wordt voorzien van een wisselende stroomsterkte, waardoor een in de tijd variërend magnetisch veld in de aarde ontstaat. Dit magnetisch veld veroorzaakt een stroom in de aarde en die wekt een tweede magnetisch veld op dat met de ontvanger gemeten wordt. De verhouding van het secundaire en het primaire magnetisch veld is proportioneel met de geleidbaarheid van de grond (*McNeill, 1980; Sudduth et al., 1993*). Variaties in elektromagnetische responsies zijn afhankelijk van de ion-concentratie in de grond. Bodemeigenschappen, zoals vochtgehalte, hoeveelheid en soort ionen, hoeveelheid en soort klei zijn gecorreleerd met de responsie van het systeem (*Doolittle et al., 1994*). Figuur 1 geeft een goed overzicht van de werking.

NIR-reflectie wordt gebruikt om het vochtgehalte in de bodem te meten (*Pelletier et al., 1996*). Gebruikmakend van het golflengtegebied van 820 – 960 nm is het vochtpercentage meetbaar met een r^2 van 0.91 en een standaardfout van 2,5% vochtpercentage. Het vochtpercentage is beter meetbaar in het gebied van 1400 – 2000 nm: $r^2 = 0.98$ en de standaardfout is 1,21% vochtgehalte. De sensoren voor dit laatste golflengtegebied zijn aanzienlijk duurder dan siliciumsensoren die in het gebied van 820 – 960 nm kunnen worden gebruikt.

Hummel et al. (1996) hebben twee typen opto-elektronische 'soil organic matter' (SOM) sensoren ontwikkeld. Het ene type maakt gebruik van één golflengte en is goedkoop, maar moet worden gekalibreerd voor bodemtype en bodemvochtgehalte. Het andere type gebruikt meerdere golflengten en kan na calibratie gebruikt worden voor een

range van bodemvochtgehalten en verschillende bodemtypen. Bovendien kan de laatstgenoemde gebruikt worden voor het meten van het bodemvochtgehalte en de 'cation exchange capacity' (CEC). In het lab kon de SOM gemeten worden met een r^2 van 0.92 en een standaardfout van 0.34% SOM (Sudduth and Hummel, 1991). Toepassing in het veld leidde niet tot acceptabele resultaten (standaardfout van 0,91 % SOM).



Figuur 1 Directe meting van de EC (Veris, Tech 1999 in www.precisionag.org/html/ch10.html).

Het meten van de N-status van de bodem gaat nog steeds moeizaam. Het nemen van bodemmonsters lijkt voorlopig de enige haalbare en betrouwbare methode, hoewel met NIRS wel redelijke resultaten bereikbaar zijn. Het vergt voorlopig nog dure en kwetsbare apparatuur die nog niet geschikt kan worden gemaakt voor veldtoepassing (Ehsani et al., 1999).

Bij graslandmanagement en graslandproductiviteit speelt de bemesting een belangrijke rol (Den Boer et al., 2002; Beldman, 1997; Groot et al., 2003). Naast verbetering van het oogsttijdstip met betrekking tot gewastoestand en gewasopbrengst is door fine-tuning van de dierlijke mesttoediening waarschijnlijk nog veel te bereiken. Daarbij is informatie over de samenstelling van de toegediende mest van belang. Hierdoor kan bij de hoeveelheid mest die toegediend wordt, rekening worden gehouden met de actuele mineralengehalten van de mest. De mestsamenstelling kan binnen een bedrijf variëren door seizoensinvloeden, rantsoenvariaties, doordat de mest in het algemeen moeilijk gemixed kan worden tot een homogene massa en/of doordat bewust of onbewust een specifieke laag mest uit de mestopslag wordt gepompt. Daarnaast is er tussenbedrijfvariatie. Door alleen de hoeveelheid mest (m^3/ha) die wordt toegediend te bepalen, kunnen aanzienlijke variaties in toegediende hoeveelheden mineralen ontstaan. De groei en opbrengst van graspercelen hangen sterk af van de beschikbaarheid van mineralen (vooral werkzame N).

Er is in het recente verleden al onderzoek gedaan naar een snelle bepaling van de samenstelling van o.a. drijfmest. In een EU-project SWAMP (Sustainable Waste Application Management Project, 1994–1997) is aandacht besteed aan sensorfusion: door de resultaten van verschillende meetmethoden te combineren probeert men de nauwkeurigheid van het resultaat te verhogen (Carton et al., 1997). In drijfmest zijn DS, N-totaal (Kjeldahl) en ammoniakstikstof, P en K bepaald in een chemisch laboratorium. De gegevens zijn vergeleken (o.a. regressie) met:

- electrode: redox potentiaal;
- electrode: pH;
- temperatuur;
- electrode: EC;
- ammoniumionen: selectieve ion electrode;
- dichtheid: in line twin tube vibrating density transmitter;
- total solids ultrasound meting: DS;
- flowmeter: (Doppler);
- meting drukverschil over een bekende pijpafstand (differential pressure transducer).

Hoewel de chemische samenstelling van mestsoorten goed gemeten kon worden, bleek het ontwikkelen van een betaalbare, snelle, praktische methode met voldoende nauwkeurigheid vooralsnog een te grote opgave.

Voor de mestsamenstelling (N, P, K) is daarnaast gewerkt aan de ontwikkeling van een veldkit (*Walraven en Starmans, 1999*). Hiermee kon N redelijk nauwkeurig worden bepaald, en ook de P-bepaling gaf praktisch bruikbare uitslagen. De huidige in beginsel praktijkrijpe apparatuur voor (semi-) snelle bepaling vooraf (*Walraven en Starmans, 1999*) wordt nauwelijks of niet in de praktijk toegepast. Voor de uitvoering zijn een aantal nauwkeurige handelingen (zoals op een laboratorium) noodzakelijk, waaronder het verkrijgen van een representatief mestmonster, homogeniseren en voorbehandelen met een exacte hoeveelheid destructievloeistof van het monster en het met een pipet overbrengen in een fotometer. De extra kosten, arbeid en tijdsdruk rond het moment van toediening staan grootschalige toepassing in de weg. Volautomatische bepaling is daarom wenselijk. Het spoor naar de ontwikkeling van 'praktijkrijpe mestsensoren', naast de ontwikkeling van 'praktijkrijpe graslandsensoren' dient in overweging te worden genomen.

In onderzoeksprogramma 432 (Agrobiodiversiteit) zoekt men biologische indicatoren zoals kruiden of grassoorten binnen een perceel die bij een bepaald kritisch N-niveau of gewastoestand een omslagpunt vertonen: gaan domineren of juist tegenovergesteld, in bladkleur veranderen of een andere waarneembare reactie vertonen.

Een praktisch bekend voorbeeld is de visueel waarneembare afname van het klaveraandeel in grasland bij gebruik van veel kunstmest.

Het zoeken naar biologische indicatoren is weliswaar een hele andere benadering dan de ontwikkeling van snelle meetmethoden, maar misschien is er een technische link aanwezig, bijvoorbeeld via tijdreeksanalyse op de variatie in grassoorten e.d. binnen een perceel. Als op een bepaald moment de hoeveelhedsverdeling van vormen (beeldanalyse) sterk veranderd is dit wellicht een aanwijzing voor een overgang naar een ander nutriëntenvoorzieningsniveau.

Conclusie: snel meten aan mest kan zinvol zijn.

Gras bij beweiding, maaien en conservering

In paragraaf 2.1.2 en 2.3.1 is een uitgebreide beschrijving gegeven van hetgeen op dit moment tot de mogelijkheden behoort. Moderne NIRS-technieken en beeldvormende spectroscopie zijn daarbij de belangrijkste. Het zijn echter technieken die niet direct overplaatsbaar zijn naar de veehouder voor het uitvoeren van metingen ter plekke met een direct resultaat. In paragraaf 2.2.1, onder de kop "Geometrische informatie", is een systeem besproken dat met relatief weinig inspanning te ontwikkelen en te produceren is. Zo'n systeem kan tijdens de groei de gewashoeveelheid meten. Het zou een goede aanvulling kunnen zijn voor de in bijlage 1 genoemde instrumenten voor graslandmanagement. Met relatief weinig moeite kan een module grasgroei, voorzien van kwantitatieve inputs, een onderdeel van dit soort systemen worden.

Zowel tijdens de oogst als gedurende de groei kunnen inhoudsstoffen worden gemeten, maar dat vraagt nog teveel specialisme voor gebruik door de veehouder zelf vanwege de monstervoorbereiding (*Givens et al., 1999*). De mogelijkheid tot uitbesteding (loonwerker, voorlichtingsdienst of dergelijke) blijft natuurlijk aanwezig. Is het de doelstelling dat de veehouder op het eigen bedrijf zelf inhoudsstoffen kan meten, dan is daar nog een sensorische vertaalslag voor nodig. Een dergelijke vertaalslag valt zeker buiten een horizon van 5 jaar.

Informatiebehoefte bij graslandmanagement

Door snelle metingen aan actuele omvang (massa) van het staande gewas kan de graslandplanning van te maaien en te beweiden percelen wellicht worden verbeterd. Als men aan de hand van een meting van de huidige toestand van de percelen ook een voorspelling kan doen van het grasaanbod in de komende weken kan men daarmee beter plannen welke percelen gemaaid kunnen worden voor conservering naast de te beweiden percelen (*Valk, 2002; Valk, 2004*). Dit vereist dan wel een meting op alle percelen die in de planning van het graslandgebruik worden betrokken. Ook de N-bemesting kan worden verbeterd als men de gewasonttrekking op basis van de gemeten opbrengst van de eerdere snede(s) nauwkeuriger kan vaststellen.

De fluctuaties in samenstelling op een perceel dat geweid wordt zijn normaliter groter dan de fluctuaties in de samenstelling van een partij grassilage die wordt vervoerd. Als de kuil niet homogeen is opgebouwd, is een frequentere bepaling van de samenstelling wel relevant, maar ook dan verloopt de samenstelling meestal geleidelijk. Een niet homogene silage ontstaat veelal doordat verschillende kwaliteiten kuilgras (verschillende maaidata en/of verschillende percelen) in lagen over elkaar worden gekuild. Over de lengte van de kuil neemt de dikte van de ene laag vaak geleidelijk toe terwijl de andere laag dan geleidelijk in dikte afneemt. Normaliter is er geen abrupte wijziging in laagdikte en verloopt de samenstelling van de 'gelaagde' kuil dan ook geleidelijk. Vanwege het geleidelijke verloop van de samenstelling is ook bij zo'n kuil een snel meetresultaat dus minder urgent dan bij het staande gewas (gras) op de percelen.

De samenstelling van het ingekuilde gras hoeft niet direct na het inkuilen te worden bepaald; de meetfrequentie hoeft ook niet hoog te zijn. Inschatting van de opbrengst voor de oogst is zoals hiervoor uiteengezet wel wenselijk. Zodra het ingekuilde gras gefermenteerd is, kan de kuilvoorraad nogmaals worden bepaald door de kuil op te meten. Vervolgens is voor rantsoenberekeningen een analyse van de samenstelling gewenst.

Op bedrijven die geen weidegang toepassen, maar zomerstalvoeding (vervoeding van vers gras) of summerfeeding (vervoeding van geconserveerd gras), is een betere N-benutting mogelijk. Daar treden immers geen beweidingsverliezen op en de mest kan gericht worden ingezet. Bij een zo laag mogelijk N-bemestingsniveau een zo hoog mogelijke *grasopbrengst* van hoge kwaliteit realiseren is de uitdaging. Een goede opbrengstbepaling geeft hier ook veel handvatten in het graslandmanagement.

Op bedrijven met weidegang is zoals eerder aangegeven een goede bepaling van de opbrengst en een goede inschatting van de opname van vers gras minstens zo belangrijk dan een inschatting van de samenstelling. Bij lagere bemestingsniveaus wordt een goede inschatting van de samenstelling (N- en P- voorziening via ruwvoer) wel belangrijker; bij een ouder gewas wordt ook de verteerbaarheid een aandachtspunt.

Voor het meten van het vochtgehalte van gras op het moment van inkuilen is relatief eenvoudige en goedkope apparatuur te ontwikkelen. Op basis van deze meting kan bijvoorbeeld worden besloten of een toevoegmiddel wel of niet gebruikt moet worden. Met enige aanpassing kan ook het vochtgehalte van het gewas op het veld, bijvoorbeeld bij het schudden, worden gemeten. Met deze informatie kan de veldperiode zo kort mogelijk worden gehouden waardoor een zo hoog mogelijke kwaliteit kuil kan worden gerealiseerd. Het traject van onderzoek tot gebruik op de boerderij wordt geschat op minder dan 5 jaar.

Van voer naar melk en mest

Voeropname, vertering en output van de koe in de vorm van melk en vlees (gewichtstoename, groei van kalf et cetera) kunnen beter gekwantificeerd en gestuurd worden indien de samenstelling van gras op moment van voeren of begrazen meetbaar wordt evenals de opname. De input van de koe bestaat uit vers product, graskuil, soms hooi, maïssilage, andere ruwvoerders en krachtvoer. De output van de koe bestaat, naast onderhoud en groei, uit melk en excreta (faeces en urine). De melkhoeveelheid en melksamenstelling worden iedere 2 of 3 dagen per bulkmelkmonster van een bedrijf bepaald (RMO) en daarnaast kan het routinematig worden geregistreerd met een drie- of vierwekelijkse bemonstering per individuele koe (melkcontrole: vet, eiwit, lactose, celgetal, melkureumgehalte). Voor een verfijnde bewaking van hoogproductieve dieren is apparatuur beschikbaar waarbij per melkmaal per dier temperatuur en geleidbaarheid van de melk worden gemeten (geïntegreerd in melkwinningsapparatuur). Met stappentellers kan de dieractiviteit per koe worden gevolgd. Afwijkingen van individuele voortschrijdende gemiddelden van combinaties van parameters geven aanleiding tot attenties voor mogelijke gezondheidsproblemen en voor tochtigheid (inseminatie). Mede dankzij de melkrobot heeft het meten van steeds meer parameters met sensoren aan individuele melkkoeien of aan de melk van die koeien de laatste decennia een sterke impuls gekregen (zie bijvoorbeeld *Hogeveen et al., 2000*).

Voor de bedrijfseconomie is een optimale productiviteit van de koe van groot belang. Het direct meten van de voeropname van dieren is bij weidegang moeilijk. Voor het indirect bepalen bestaat echter een relatief eenvoudige methode, de zogenaamde 'alkaantechniek'. Het principe van deze methode is als volgt. De waslaag op het oppervlak van bladeren en stengels van planten bevat alkanen. In het laboratorium is het mogelijk om verschillende typen alkanen te onderscheiden op basis van het aantal C-atomen (C₂₅, C₂₉, C₃₁ enz.). In plantenmateriaal komen vrijwel uitsluitend alkanen voor met een oneven aantal C-atomen in de keten. Het gehalte van de verschillende alkanen verschilt per gewas, zodat elk gewas zijn eigen specifieke alkaanprofiel heeft. Deze alkanen zijn zo goed als onverteerbaar en worden uitgescheiden in de mest. Aan de hand van het alkanenprofiel van de grondstoffen en van de mest kan berekend worden in welke verhouding de afzonderlijke grondstoffen zijn opgenomen door het dier. Tevens kan met deze techniek de verteerbaarheid van het rantsoen worden berekend. De nauwkeurigheid waarmee de verteerbaarheid en opname berekend wordt, neemt toe als de alkaanprofielen van de verschillende grondstoffen in een rantsoen zich voldoende van elkaar onderscheiden. Omdat in mengvoer weinig bladmateriaal wordt verwerkt, bevat het weinig natuurlijke alkanen. Aan het mengvoer kan een uniek alkaanprofiel worden meegegeven (www.pv.nl, augustus 2004). Op Praktijkcentrum Raalte is met behulp van de 'alkaantechniek' de grasopname van drachtige zeugen gemeten. Deze techniek wordt ook toegepast in de melkveehouderij en kan mogelijk meer inzicht geven in de verteerbaarheid. Het is een experimentele techniek voor onderzoeksdoeleinden.

In onderzoek op Aver Heino wordt de opname van gras/klaver door biologische melkkoeien bij beweiding bekeken. Hier worden drie verschillende methodieken voor gebruikt: n-alkanen, C13 (snijmaïs) en NIRS-bepaling van mest. Meer kennis over de gewasopname van weidende melkkoeien op (biologisch) gras/klaver kan benut worden voor de optimalisatie van het beweidingmanagement, waarbij wordt gekeken naar het verschil tussen opname van gras/klaver en puur gras, selectie van klaver ten opzichte van gras (met de n-alkanenmethode) en de effecten van bijvoeding van snijmaïs en inschaarhoogte op de opname van weidegras. Het doel van het vergelijken van verschillende methodieken is enerzijds

deze methodieken te valideren onder Nederlandse omstandigheden en anderzijds een methodiek te ontwikkelen die ook in de praktijk toegepast kan worden, en dus als managementinstrument waardevol kan zijn.

Het is praktisch niet mogelijk om de hoeveelheid en samenstelling van faeces en urine per individuele koe bij te houden. Daarom wordt onder meer voor het mestbeleid gezocht naar eenvoudige indicatoren die een hoge correlatie hebben met de excretie. Momenteel wordt onderzocht of het tankmelkureumgehalte als indicator voor de totale N-excretie van een melkveestapel kan worden gebruikt. In een grote Nederlandse dataset kon de N-excretie goed verklaard worden met het melkureumgehalte en de melkeiwitproductie ($R^2=80\%$). Op praktijkbedrijven moet het verband volgens Tamminga (Tamminga *et al.*, 2004) nog worden gevalideerd.

2.2.3 Sensor-technische benadering

Bij de bestudering van sensoren moet begonnen worden met het maken van onderscheid tussen actieve en passieve sensoren. Bij passieve sensoren wordt aan het product gemeten, zonder actieve toevoer van energie voor het opwekken van een bepaald signaal. Bij actieve sensoren vindt wel energieoverdracht op het te meten object plaats voor het opwekken van een meetsignaal. Zonlicht wordt als een passieve lichtbron gezien.

Meet- (en regel-)systemen bestaan altijd uit drie onderdelen. Het eerste onderdeel omvat de 'signaal-omvormer' (input-transducer), populair vaak de sensor genoemd. In dit onderdeel wordt de meetgrootte omgezet in een signaal dat normaliter verschillend is van datgene wat we willen meten. Bijvoorbeeld afstand wordt omgezet in een voltage. Het tweede onderdeel is de 'signaal-processor'. Hier vindt versterking of omzetting plaats, bijvoorbeeld van analoog naar digitaal. Het derde onderdeel is de 'output-omvormer' (output-transducer), bijvoorbeeld om het signaal op een display weer te geven. In geval van bovengenoemde afstandsmeting, kan daarbij gedacht worden aan het omvormen van het voltage naar een centimeterschaal op een display.

Omdat vrijwel altijd energie als signaaldrager fungeert, kunnen we de karakteristieken van de verschillende vormen van energie gebruiken voor het bestuderen van signalen en signaaltypes.

De bestaande vormen van energie (domeinen) zijn:

- stralingsenergie;
- mechanische energie;
- thermische energie;
- elektrische energie;
- magnetische energie;
- chemische energie.

De input-omvormer converteert een signaal uit een van deze zes domeinen door middel van een fysisch effect in een (gebruikelijk en dus meestal) elektrisch signaal. Een goede kennis van de fysische effecten is dus vereist om de mogelijkheden van het meten aan producten (als gras en/of kuil) in brede zin na te gaan. In een eerste matrix (Middelhoek, 1984) staan de fysische effecten (input-omvorming) centraal bij de omvorming van energie van het ene naar het andere domein. In de tweede matrix staan de omvormers centraal, waarbij alleen de kolommen en rijen twee en vier gevuld zijn. Hierin weerspiegelt zich ook de opkomst van de elektronica. Immers: tegenwoordig bevinden vrijwel alle omvormers zich in het elektrische domein. Hierdoor is het belang van het mechanische domein teruggedrongen. Omdat silicium (Si) en gallium arsenide (GaAs) een redelijk centrale plaats innemen bij het gros van de ontwikkeling van micro-elektronica, geeft een derde matrix de fysische effecten weer, die de basis vormen van de signaalomzetting die bereikt kan worden met deze materialen. Inmiddels is indium gallium arsenide (InGaAs) erbij gekomen. Een goed overzicht van de fysische effecten, als basis voor de signaalomzetting, ontbreekt echter nog. Een andere ontwikkeling, namelijk Complementary Metal-Oxide Semiconductor (CMOS), richt zich vooral op een goedkope realisatie.

Het schema in ogeschouw nemend, blijft er nog één methode over die in de toekomst vrijwel zeker belangrijker wordt. Deze is (nog) niet terug te vinden in de literatuur op het gebied van grasland of dierhouderij, namelijk RAMAN-spectroscopie, genoemd naar de ontdekker van dit effect. Bij RAMAN-spectroscopie worden verbindingsspecifieke eigenschappen opgewekt met een laser. Nadeel van RAMAN is de vereiste energie-input. Om het RAMAN-effect op te wekken wordt vaak gebruik gemaakt van relatief krachtige lasers. Bij een productspecifieke verbinding vindt het RAMAN-effect plaats rond de resonantiefrequentie van die verbinding. Sensorisch betekent het dat de sensor afgestemd moet worden op die frequentie. Het on-line meten aan een samengesteld product vereist dat meerdere frequenties gemeten moeten worden. RRS (Resonantie Raman Spectroscopy) lijkt vooralsnog de meest geschikte techniek te zijn. Bij RRS tracht men het RAMAN-effect op te wekken door het stimuleren van een bepaalde vibratiefrequentie met een lasergolflengte die afgestemd is op de resonantiegolflengte van de specifieke verbinding. Veelal worden diverse boventonen opgewekt.

Het RAMAN-effect is reeds sinds 1928 bekend en heeft de laatste jaren een nieuwe impuls gekregen, enerzijds door de ontwikkelingen op het gebied van lasers en anderzijds door de opkomst van goedkopere spectroscopische technieken. De ontwikkeling van RAMAN moet men zien tegen een horizon van 10 jaar. Dit komt vooral door het ontbreken van een

geschikte en goedkope sensortechniek. Als een geschikte sensor hiervoor ontstaat, mag worden verwacht dat RAMAN zich snel ontwikkelt.

Het stralingsdomein – en dan met name de optische technieken – lijkt veelbelovend in vergelijking met de andere energiedomeinen. De reden daarvan ligt in de snelle ontwikkelingen van de afgelopen jaren op dit gebied. Veel stralingseffecten laten zich eenvoudig omzetten naar het elektrische domein. Enerzijds is de meettechniek sterk gestimuleerd door hardware-ontwikkelingen bij de realisaties die plaatsgevonden hebben en nog steeds plaatsvinden binnen de informatietechnologie. Hierbij kan gedacht worden aan onder andere de voortgaande miniaturisering op chipgebied, toename van de intelligentie van componenten op micro-niveau en de glasvezeltechniek. Het is daarom niet verbazingwekkend dat juist binnen dit stralingsdomein (voor de fysische effecten die de signalen opwekken), in combinatie met het elektrische domein (waar de omvorming van het effect plaatsvindt) de laatste jaren nieuwe mogelijkheden zijn ontstaan. Deze ontwikkelingen hebben een aanzienlijke verbetering van signaal-ruisverhoudingen laten zien, waardoor de meetbaarheid van relatief zwakke effecten resulteerde in betrouwbare signalen. Verwacht mag worden dat deze ontwikkeling nog een aantal jaren zal doorgaan. Anderzijds is ook de nog steeds toenemende en goedkoper wordende rekenkracht in combinatie met eenvoudiger manieren van data-overdracht een sterke stimulans geweest. Voor de nabije toekomst wordt een verdere vereenvoudiging en toenemende betrouwbaarheid voorzien door de ontwikkeling van draadloze communicatie. Het einde van de mogelijkheden is dus nog niet in zicht.

2.3 Lopend onderzoek

In het kader van deze studie zijn de belangrijkste activiteiten bij onderzoeksinstituten in en buiten Nederland geïnventariseerd. De belangrijkste zijn Wageningen UR, het Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL-Braunschweig) in Duitsland en de University of Waikato in Hamilton, Nieuw Zeeland.

2.3.1 Wageningen, Nederland

Beeldvormende spectroscopie

Beeldvormende spectroscopie is een term die onderscheid van spectroscopie omdat niet op één punt gemeten wordt, maar op een lijn. De plaats op de lijn vormt de ene as van het beeld, meestal de x-as. De andere as van het beeld wordt gevormd door het gemeten golflengtebereik van de meetapparatuur.

Beeldvormende spectroscopie is een nieuwe methode waarmee beeldvormend reflectiesignalen kunnen worden gemeten. Plant Research International (PRI) en Agrotechnology and Food Innovations (A&F) hebben een experimenteel instrument, genaamd ImSpector Mobiel, ontwikkeld waarmee al rijdend tweedimensionale beelden (met de 3CCD-sensor) en spectroscopische beelden (V9-sensor en N17-sensor) worden opgenomen (*Molema et al., 2003*). Deze drie sensoren werken met een Xenon-lichtbron en bemeten het lichtspectrum zeer gedetailleerd van 440 tot en met 1680 nm. De beelden hebben een hoge spatiale resolutie ($< 0.6 \text{ mm}^2$), waardoor de pixels een kleiner oppervlak representeren dan individuele bladeren. Daarnaast is er een spectrofotometer (Fieldwatcher, FW sensor, Dual Channel S2000 spectrofotometer van Ocean Optics) aan boord waarmee de reflectie van zonlicht in golflengten van 380 tot 1000 nm van een gewas wordt bemeten. Dit instrument neemt de reflectie waar van een oppervlak van 1 m^2 .

In 2003 is onderzocht of met deze techniek opbrengst, voederwaarde en nutriëntengehalte kan worden gemeten in grasland. Hiervoor is gemeten op proefvelden op kleigrond (twee percelen in Lelystad), zandgrond (percelen in Heino, Wageningen, Cranendonck) en veengrond (twee percelen in Zegveld). De data uit Zegveld ('veen' dataset) zijn apart geanalyseerd vanwege de afwijkende botanische samenstelling. Op zand en kleigrond komen meest Engels raaigras gedomineerde zoden voor. Deze zijn gezamenlijk geanalyseerd (zand en klei' dataset). In onderstaande paragrafen worden enkele resultaten gepresenteerd voor verschillende combinaties van sensoren.

De datasets zijn geanalyseerd met de Partial Least Squares methode, waarbij een statistisch model is gekalibreerd (getraind) op 2/3 van de data, dit model is vervolgens gevalideerd op de overige data. De kalibratie wordt beoordeeld met de R^2 (fractie verklaarde variatie) en de gemiddelde fout in een kruisvalidatie (RMSECV, root mean squared error of cross validation). De validatie wordt beoordeeld met de Q^2 (fractie verklaarde variatie in de validatieset t.o.v de variatie in de kalibratieset) en de gemiddelde voorspellingsfout (RMSEP, root mean squared error of prediction). De relatieve fout (RE) geeft de verhouding weer tussen de gemiddelde schattingsfout (RMSECV of RMSEP) en het gemiddelde van de metingen (bijvoorbeeld gemeten DS-opbrengst). Een uitgebreide beschrijving van de gebruikte sensoren, datasets en analysemethoden is te vinden in de gebruikershandleiding van de ImSpector Mobiel (*Schut et al., 2004*) en in de technische documentatie van de ImSpector Mobiel (*Meuleman et al., 2004*).

Resultaten van beeldvormende spectroscopie bij grasland op veengrond

De dataset met gegevens van grasland op veengrond heeft voor elke variabele een groot aantal geschikte waarnemingen beschikbaar (tabel 3). Voor vrijwel alle variabelen was er ook een zeer grote spreiding aanwezig. Een dergelijke dataset is erg geschikt om een PLS- model op te kalibreren. Voor vrijwel alle variabelen is een goed kalibratiemodel gevonden, met R^2 -waarden boven 0,75. Uitzonderingen hierop zijn de modellen voor het ADL-gehalte en het asgehalte met R^2 -waarden <0.5 .

De gekalibreerde PLS-modellen voor de veengronddataset hadden ook een grote voorspelkracht in de validatieset. De variatie in drogestofopbrengst wordt voor 86% door het model verklaard. De gehalten van N en P worden goed voorspeld, met een RMSEP van 0.3% en 0,4 g/kg DS. De belangrijke parameters voor voederwaarde (suiker, ruwe celstof, NDF, ADF en verteringscoëfficiënt) werden accuraat voorspeld. Ook de resultaten voor DVE, OEB en VEM waren goed. De schattingen van ruw eiwit en DVE waren beter dan voor N-gehalte. Dit kan mogelijk veroorzaakt zijn door een beperkte voorspelbaarheid van het nitraatgehalte in het gewas.

De uitkomsten voor de verteringscoëfficiënt, VOS en FOS zijn vergelijkbaar, met Q^2 -waarden rond de 0,6. De kleine relatieve fout komt doordat de laagste gemeten waarden toch nog een redelijk hoge getalswaarde hebben.

De voorspelbaarheid van het ADL-gehalte was slecht, evenals het asgehalte. Voor as komt dit waarschijnlijk door vervuiling met zand bij het nemen van gewasmonsters. De Q^2 -waarde van het K-gehalte was vrij laag. Dit komt mogelijk deels door een beperkte spreiding van het K-gehalte in de dataset, de RMSEP is wel klein (2,73 g/kg DS).

Tabel 3 Resultaten van beeldvormende spectroscopie bij grasland op veengrond

	Kalibratie				Validatie			
	N	R^2	RMSECV	RE (%)	N	Q^2	RMSEP	RE (%)
Vers (t/ha)	196	0.88	1.56	15	98	0.81	1.88	18
DS (kg/ha)	196	0.89	414	18	98	0.86	479	22
N (kg/ha)	142	0.90	8.73	13	71	0.83	11.36	15
DS (%)	196	0.90	1.67	8	98	0.85	2.40	10
N (%)	142	0.85	0.28	9	71	0.81	0.33	11
P (g/kg DS)	142	0.89	0.27	7	71	0.70	0.41	11
K (g/kg DS)	142	0.77	1.88	6	71	0.44	2.73	9
Suiker (g/kg DS)	142	0.90	11.76	9	70	0.81	17.21	14
Ruwe celstof (g/kg DS)	142	0.86	10.52	5	71	0.73	13.67	6
As (g/kg DS)	142	0.49	6.16	7	71	0.01	10.00	10
NDF (g/kg DS)	142	0.83	16.97	3	71	0.71	20.10	4
ADF (g/kg DS)	142	0.87	10.10	4	70	0.80	12.05	5
ADL (g/kg DS)	142	0.47	3.96	13	70	0.39	4.08	17
VC van organische stof (%)	142	0.83	1.84	3	70	0.60	2.44	4
Ruw Eiwit (g/kg DS)	142	0.94	9.97	5	71	0.86	16.0	8
VEM (-/-)	142	0.88	30.90	4	71	0.77	6.8	5
DVE (g/kg DS)	142	0.95	4.65	6	71	0.86	11.6	9
OEB (-/-)	142	0.82	6.60	21	71	0.72	37.8	34
FOS (g/kg DS)	142	0.75	30.90	3	71	0.56	22.0	4
VOS (g/kg DS)	142	0.77	18.92	3	71	0.63	23.2	4

Resultaten van beeldvormende spectroscopie bij grasland op klei- en zandgrond

Voor de 'zand en klei-dataset' (Engels raaigraszoden) zijn de resultaten gemiddeld genomen beter dan voor de veendataset (tabel 4). Opvallend zijn de zeer hoge Q^2 -waarden voor verse en drogestofopbrengst en gehalten van suiker en ruwe celstof. Voor suiker, ruwe celstof en as zijn de aantallen beschikbare waarnemingen enigszins beperkt. De RMSEP en relatieve fouten van P, K, suiker en ruwe celstof zijn redelijk vergelijkbaar met de Zegveld-dataset, terwijl deze voor verse opbrengst, N- en DS-gehalte beter zijn. Opvallend is dat er vier hoge waarden voor P gemeten zijn (drie in validatie en één in kalibratieset). Deze hoge waarden weken sterk af van de overige metingen op dit proefveld, mogelijk is hier sprake van een fout in de laboratoriumanalyse. De voorspellingen voor deze waarnemingen wijken dan ook sterk af van de metingen.

Tabel 4 Resultaten van beeldvormende spectroscopie bij grasland op klei- en zandgrond

	Kalibratie				Validatie			
	N	R ²	RMSECV	RE (%)	N	Q ²	RMSEP	RE (%)
Vers (t/ha)	115	0.97	0.97	9	57	0.94	1.28	11
DS (kg/ha)	99	0.95	234	10	49	0.92	290	12
N (kg/ha)	58	0.95	6.86	11	29	0.84	10.10	14
DS (%)	109	0.92	0.90	4	54	0.89	1.17	5
N (%)	68	0.91	0.21	6	34	0.90	0.25	8
P (g/kg)	68	0.73	0.26	8	34	0.63	0.47	13
K (g/kg)	68	0.97	1.05	3	34	0.76	2.99	10
Suiker (g/kg)	50	0.98	9.87	8	25	0.96	13.29	9
Ruwe celstof (g/kg)	50	0.92	8.69	4	25	0.91	9.53	4
As (g/kg)	50	0.66	7.66	7	25	0.67	7.10	7

Resultaten met de spectrofotometer

Een spectrofotometer, zoals de FW-sensor, is in principe veel simpeler en goedkoper te produceren dan een systeem dat gebruik maakt van beeldvormende spectroscopie. Doordat de FW een geïntegreerd signaal van een oppervlak van 1 m² waarneemt is het echter veel gevoeliger voor bodemtype, vochttoestand van de bodem en de hoeveelheid dood materiaal dat in de zode aanwezig is. Daarnaast kan er minder gebruik worden gemaakt van reflectie-intensiteit als maatstaf voor de gewashoogte, in tegenstelling tot een systeem met een kunstmatige lichtbron.

Ondanks deze beperkingen is er toch een redelijk verband te leggen met opbrengst en nutriëntengehalten en voederwaarde in de 'veen' dataset (tabel 5). De nauwkeurigheid van de voorspellingen van opbrengst (Q² van de validatie) lijkt te beperkt voor praktisch gebruik. Met deze methode kan wel het vocht- en stikstofgehalte redelijk goed worden bepaald.

Tabel 5 Resultaten van de FW-sensor voor grasland op veengrond

	Kalibratie				Validatie			
	N	R ²	RMSECV	RE(%)	N	Q ²	RMSEP	RE (%)
Vers (t/ha)	172	0.73	2.67	26.6	85	0.59	3.17	31.1
DS (kg/ha)	172	0.74	737	33.7	85	0.59	825	37.4
DS (%)	172	0.88	2.2	9.8	85	0.82	2.5	11.4
N (%)	108	0.87	0.31	9.8	54	0.72	0.4	13.8
P (g/kg DS)	108	0.67	0.4	11.2	54	0.7	0.4	12.3
K (g/kg DS)	108	0.56	2.6	8.4	54	0.48	3.1	10.1
Ruwe celstof (g/kg DS)	108	0.89	10.0	4.6	54	0.74	160	7.5
Suiker (g/kg DS)	108	0.81	16.7	13.2	53	0.69	27	21.4
NDF (g/kg DS)	108	0.86	14.7	2.6	54	0.71	23.9	4.3
ADF (g/kg DS)	108	0.80	13.5	5.3	53	0.68	18.1	7.3
ADL (g/kg DS)	108	0.37	4.1	15.3	54	0.39	3.5	12.9
VC van organische stof (%)	108	0.74	2.2	3.2	54	0.42	3.5	5.1

Voor de 'zand en klei'-dataset (tabel 6) zijn de aantallen beschikbare gegevens te klein om conclusies op te baseren. De resultaten dienen daarom alleen ter indicatie. In grote lijnen worden de bevindingen op basis van de 'veen'-database bevestigd.

Tabel 6 Kalibratie- en validatieresultaten van de spectrofotometer (FW sensor) met de 'zand en klei' dataset

	Kalibratie				Validatie			
	N	R ²	RMSECV	RE(%)	N	Q ²	RMSEP	RE (%)
Vers (t/ha)	70	0.73	2.03	22.5	34	0.6	2.73	30.3
DS (kg/ha)	64	0.9	278	130	31	0.65	535	24.4
DS (%)	74	0.4	2.8	12.6	36	0.57	2.5	11.5
N (%)	43	0.89	0.24	6.5	21	0.59	0.4	11.5
P (g/kg DS)	43	0.9	0.12	3.5	21	0.1	0.37	10.5
K (g/kg DS)	43	0.87	1.8	5.8	21	0.5	3.1	9.9
Ruwe celstof (g/kg DS)	33	0.94	4.9	2.5	16	0.38	14.7	7.7
Suiker (g/kg DS)	33	0.97	12.2	8.7	16	0.88	23.4	13.9
As (g/kg DS)	33	0.81	4.0	3.7	16	0.12	10.0	9.5

Resultaten bij toepassing van deelsystemen van de ImSpector Mobiel.

Bij de ontwikkeling van een goedkoop praktisch systeem is het noodzakelijk om het aantal sensoren te beperken. In deze paragraaf wordt gekeken naar de combinaties van een 2D-camera met een beeldvormende sensor (V9 of de N17) die de reflectie van grasbladeren waarneemt of een spectrofotometer (FW) die de reflectie van een gewas waarneemt (tabel 7).

Voor de voorspelling van verse en drogestofopbrengst is de combinatie met zowel de V9 als de N17 het meest nauwkeurig. Voor de verse opbrengst lijkt het goed mogelijk om zonder een grote vermindering van voorspellingsnauwkeurigheid minder sensoren te gebruiken. De nauwkeurigheid van DS%, N% en suikergehalte neemt wel af als de V9 of de N17 wordt weggelaten.

De RMSEP van de combinatie 3CCD- en FW-sensor is vergelijkbaar met de combinatie 3CCD, V9 en N17 voor de bepaling van P-, K-, en ruwecelstofgehalte. Over het algemeen lijkt een combinatie van 3CCD- met de V9-sensor het meest geschikt voor praktisch gebruik.

Tabel 7 Gemiddelde voorspellingsfout (RMSEP) voor de 'veen' en 'zand en klei'-datasets van verschillende sensoren in combinatie met de 3CCD-sensor

	Veen				Zand en klei		
	V9+N17	V9	N17	FW	V9+N17	V9	N17
Vers (t/ha)	1.88	2.06	1.98	2.68	1.28	1.24	1.18
DS (kg/ha)	479	450.48	581.12	561.19	290	335.76	330.34
DS (%)	2.40	2.68	3.57	2.47	1.17	1.44	1.46
N (%)	0.33	0.41	0.53	0.69	0.25	0.29	0.34
P (g/kg DS)	0.41	0.41	0.5	0.52	0.47	0.33	0.51
K (g/kg DS)	2.73	2.84	3.04	2.92	2.99	2.77	3.41
Ruwe celstof (g/kg DS)	13.67	13.45	11.71	14.59	9.53	15.1	9.67
Suiker (g/kg DS)	17.21	19.98	24.07	29.21	13.29	21.69	16.46
NDF (g/kg DS)	20.10	20.17	23.24	24.24	-	-	-
ADF (g/kg DS)	12.05	13.21	14.28	17.31	-	-	-
ADL (g/kg DS)	4.08	3.97	3.92	3.68	-	-	-
VC van organische stof (%)	2.44	2.46	2.68	3.47	-	-	-

Discussie en conclusies

De opbrengst, nutriëntengehalten en voederwaarde van graszoden kunnen met beeldvormende spectroscopie goed worden bepaald (*Schut, 2003; Schut et al., 2004*). De voorspellingen voor zowel ruwe celstof, NDF, ADF, DVE, OEB en VEM waren goed.

De hier gerapporteerde resultaten geven een 'puntschatting' weer, d.w.z. een schatting voor een klein oppervlak van 15 m². Indien een perceelsopbrengst moet worden geschat kan de voorspellingsfout sterk worden gereduceerd door gebruik te maken van meervoudige waarnemingen. Bij 50 waarnemingen kan de gemiddelde voorspellingsfout voor drogestofopbrengst met 37 tot 53% worden gereduceerd (*Schut, 2003*).

Spectrofotometers zijn goed bruikbaar voor de voorspelling van drogestofgehalte en N-gehalte. Lokhorst & Kasper (*Lokhorst et al., 1998*) concludeerden dat gewasreflectie gemeten met een CropScan (spectrofotometer met acht spectrale banden) geen goede correlatie vertoonde met voederwaarde en opbrengst van grasland. De in dit onderzoek gevonden resultaten zijn een aanmerkelijke verbetering, waarschijnlijk doordat er veel meer informatie van het spectrum beschikbaar is. De redelijk goede resultaten voor DS-opbrengst zijn een bevestiging van het onderzoek naar mogelijkheden van een spectrofotometer voor grasopbrengstbepaling (*Olsen et al., 1998*).

Praktische instrumenten moeten naast een goede meetnauwkeurigheid ook goedkoop kunnen worden gemaakt. De combinatie van een 3CCD-camera en een V9-sensor (440 tot 966 nm) geeft goede resultaten. Een combinatie van een 3CCD-camera en een spectrofotometer is nog goedkoper, maar geeft minder goede resultaten voor drogestofopbrengst en is waarschijnlijker veel gevoeliger voor verschillen in grondsoort en de hoeveelheid dood materiaal.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een relatief dure 3CCD-camera. Het is waarschijnlijk goed mogelijk om deze te vervangen door een goedkopere RGB-camera.

Een combinatie van een spectrofotometer die een heel klein oppervlak bemeet ($<1\text{ mm}^2$) met een RGB-camera lijkt goede mogelijkheden te bieden om zowel goedkoop als nauwkeurig te meten. Hiervoor moeten wel zeer veel opnamen per veldje worden gemaakt om een goed gemiddelde te kunnen bepalen.

Gewasmetingen t.b.v Canopy Density Spraying

In het kader van o.a. canopy density spraying is meetapparatuur in ontwikkeling waarmee de gewashoeveelheid gemeten kan worden. Het betreft een puntmeting. Per meetpunt wordt gemeten of er gewas aanwezig is en als er gewas aanwezig is wordt tevens de hoogte ervan bepaald. Afhankelijk van de gewashoeveelheid kan de dosering van een spuitdop aangepast worden. Het project focust op een werkbreedte per spuitdop van 12 cm en een sensor die on-line de gewashoeveelheid meet van de strook van 12 cm. Het eerste prototype van deze gewassensor wordt midden 2005 verwacht. Bij een normale rijsnelheid wordt elk punt van de strook van 12 cm voor een spuitdop gemeten. De in ontwikkeling zijnde sensor is modulair van opzet. Dit betekent dat door eenvoudige aanpassingen de sensor geschikt gemaakt kan worden voor andere doeleinden, zoals biomassameting en vochtgehaltebepaling.

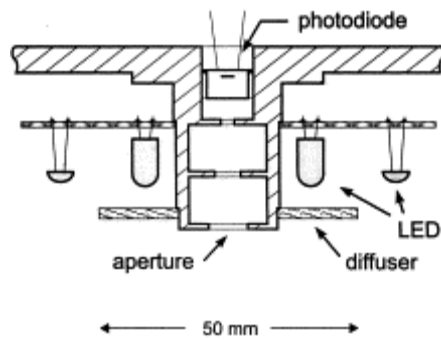
2.3.2 Braunschweig, Duitsland

Het werk van Christian Paul en Michael Rode (FAL-Braunschweig) is ter sprake gekomen in paragraaf 2.1.1. Het grote onderscheid tussen de Wageningse activiteiten en die van het FAL zit in het gebruik van de sensor. Vanwege de contacten met enerzijds Haldrup en anderzijds Zeiss maakt men gebruik van een 'dispersieve' puntmeting. Dat wil zeggen dat slechts één pixel gelijktijdig gemeten wordt en dat de respons van één pixel in veel afzonderlijke golflengten bepaald wordt, dus hyperspectraal. De apparatuur van Zeiss wordt ingebouwd in oogstmachines (hakselaar) en in de Haldrup-proefveldmachine. Een deel van de productstroom wordt via een bypass naar de sensor geleid. Ter hoogte van de sensor is het van belang dat de hoogte van de productstroom constant wordt gehouden. De productstroom wordt continu bemonsterd. Op de hakselaar is het mogelijk om het vochtgehalte on-line te meten. In de toekomst mag verwacht worden dat op de oogstmachines ook inhoudsstoffen als eiwit en zetmeel gemeten kunnen worden. Het is echter een NIRS-techniek, waardoor kalibratiemetingen vereist blijven via laboratoriumbepalingen van gewasmonsters.

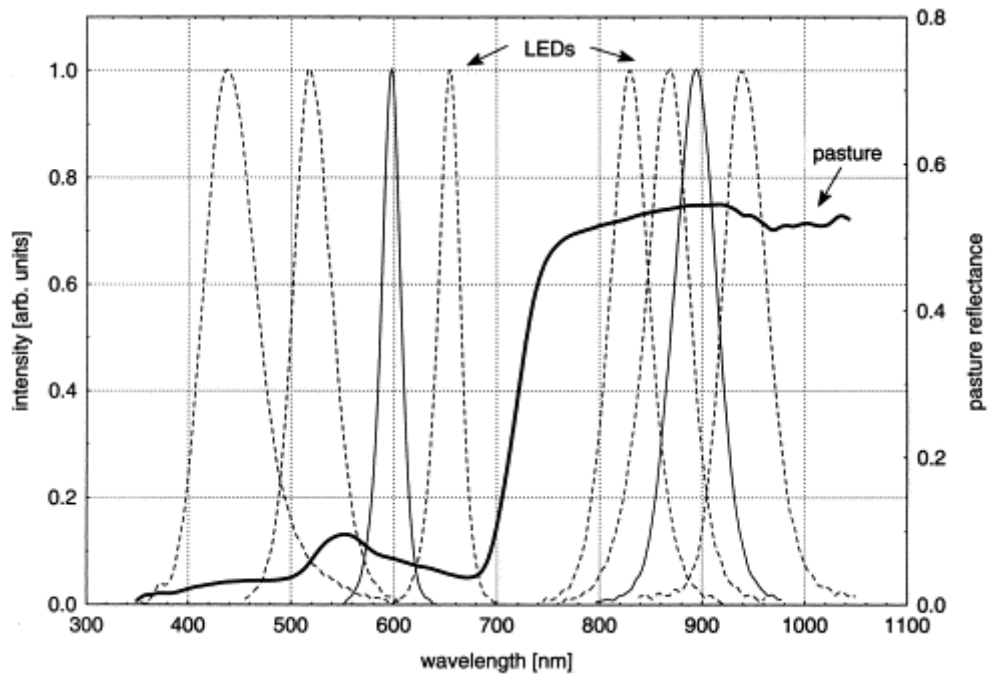
2.3.3 Hamilton, Nieuw-Zeeland

Künnemeyer (*Künnemeyer et al., 2001*) werkt aan de University of Waikato aan een eenvoudig, draagbaar instrument ($< 3\text{ kg}$) dat de groene biomassa in het veld kan voorspellen. Hun ontwerp (figuur 2) gebruikt light emitting diodes (LED's), die in relatief smalle banden verticaal op het veld gericht zijn. Dit is een eenvoudige detector die de gereflecteerde stralingsintensiteit meet en analoge elektronica die het signaal extraheert uit de totale reflectie die veroorzaakt wordt door enerzijds de actieve LED's en anderzijds omgevingslicht. Het instrument is in staat om groene biomassa in weiden met raigras te voorspellen met een fout (RMSE_{cv}) van 388 kg/ha bij een correlatie van (R^2) 0,7. De reflectie in de nabij infrarode band (896 nm) was de dominante factor in het voorspellende model. Een combinatie van 598 en 896 nm LED's (figuur 3) was het meest gunstig. Künnemeyer claimt dat met zijn instrument groene droge stof kan worden gemeten in plaats van de totale biomassa.

Gegeven het meetprincipe is het vrijwel zeker dat de hoeveelheid biomassa geschat wordt aan de hand van het grondbedekkingspercentage. De combinatie van een R^2 van 0,7 met een fout van 388 kg/ha doet vermoeden dat het systeem werkt op lichte zoden. Van een zwaar gewas zijn geen data bekend. Alleen de absolute fout wordt door Künnemeyer gegeven. De relatieve fout kan dus nog aanzienlijk zijn, zeker als het gewas wat zwaarder wordt.



Figuur 2 Optiek van de reflectometer (*Künnemeyer et al., 2001*)



Figuur 3 LED-emissiespectra en karakteristieke grasreflectie (*Künnemeyer et al., 2001*)

2.4 Nabij infrarood spectroscopie (NIRS)

NIRS staat voor Near InfraRed Spectroscopy. Met NIRS bestudeert men H₂O en organische molecuulverbindingen als C-H, O-H, N-H en C=O. Deze absorberen energie bij karakteristieke golflengten. Als er meer van dit soort verbindingen in een product voorkomen, dan zal meer licht van die bijbehorende golflengte geabsorbeerd worden. Absorbeert een verbinding energie, dan zullen de atomen binnen een molecuul ten opzichte van elkaar heviger gaan bewegen (vibreren). Naast deze vibratie-toestand, kan een molecuul ook roteren om het gemeenschappelijke zwaartepunt van de atomen. Toename van rotatie gebeurt bijvoorbeeld in een magnetron. Dit houdt verband met de golflengte van de opvallende straling. Bij laag-energetische straling (zoals microgolven) resulteert dit in toename van de rotatie-energie. Bij hoog-energetische straling (zoals nabij infrarood) kan de vibratie-toestand van atomen veranderen. Dit hangt af van de golflengte. Hoe kleiner de golflengte, des te meer energie-inhoud van de straling. De frequentie van de geabsorbeerde straling komt overeen met die van de natuurlijke vibratietoestanden van de molecuulbinding. Doordat de natuurlijke vibratietoestanden voor de verschillende molecuulbindingen verschillend zijn, kan aan de hand van de golflengten van het geabsorbeerde licht en de hoeveelheid van het geabsorbeerde licht van die golflengte bepaald worden hoeveel van een bepaalde molecuulverbinding in een stof aanwezig is. Dit maakt kwantitatief meten mogelijk. Echter, men is vooral geïnteresseerd in de hoeveelheid proteïne, lignine, ruwe celstof, suikers, zetmeel, et cetera. Deze stoffen kunnen gekarakteriseerd worden aan de hand van het voorkomen van meetbare molecuulverbindingen in een bepaalde combinatie. De stoffen komen enerzijds gezamenlijk voor in een product, anderzijds hebben de stoffen hun eigen verhoudingskarakteristiek in molecuulverbindingen. Dat betekent dat vooraf een verband gelegd moet worden tussen de voorkomende stoffen en de karakteristieke meetbare molecuulverbindingen: er is een kalibratie nodig voor het opstellen van het model dat de meetbare karakteristieke molecuulverbindingen relateert aan de concentratie van specifieke inhoudstoffen. Bij deze kalibratiemethoden worden technieken als Partial Least Square Regression (PLSR) gebruikt. Wiskundig betekent het dat een matrix van golflengten met bijbehorende energieabsorpties gekoppeld moet worden aan een matrix van inhoudsstoffen met bijbehorende concentraties. Naast PLSR worden hiervoor technieken als Multiple Linear Regression (MLR) en Principal Components Regression (PCR) gebruikt. Echter ook Neurale Netwerken (NN) zijn geschikt om deze complexe verbanden te leggen. Het samenstellen van een goede referentieset is vereist: een referentieset waarin de verschillende inhoudsstoffen met voldoende variatie in zowel chemische als fysische eigenschappen voorkomen. Variatie in fysische eigenschappen kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van veroudering (eerste snede, tweede snede), rasverschillen, bodemverschillen, vegetatieverschillen, et cetera. Dit zou betekenen dat voor veel verschillende situaties (rassensamenstelling, snede, et cetera.) verschillende calibratiesets vereist zijn. Givens *et al.* (1996) toonden aan dat de 'metabolizeerbare' energie (ME) inhoud van een mengsel van grassen voorspeld kan worden met behulp van een vijf-terms NIRS-calibratie en dat deze techniek net zo goed is als de beste laboratoriummethode (pepsin-cellulase). Een van de belangrijkste voordelen van het NIRS-model was dat het geen onderscheid maakte tussen voorjaars-, zomer- of herfstgras of tussen gras dat geoogst was in verschillende jaren. Givens en Deaville (*Givens et al., 1999*) laten zien dat bepaalde golflengten consistent terugkomen als de meest belangrijke gebieden, gerelateerd aan verteerbaarheid, namelijk 1650-1670 nm en 2260-2280 nm, verband houdend met de onverteerbare fractie. Het gebied van 1430-1630 nm en 2020-2230 nm correspondeert met de spectra van suikers, cellulose en zetmeel en zijn in verband gebracht met het verlies van koolhydraten gedurende de microbiële afbraak in de pens. Het lijkt er dus op dat achter bepaalde gebieden in het reflectiespectrum een biologische betekenis schuil gaat. Dit is met name interessant omdat hierdoor de behoefte aan uitgebreide calibraties in de toekomst minder kan worden. Voor de bestudering van de belangrijkste organische verbindingen (C-H, O-H, N-H en C=O) en H₂O met NIRS wordt het golflengtegebied van 780 tot 2500 nm gebruikt, maar ook het zichtbare gebied kent enkele absorptiebanden voor deze verbindingen. Kortgolvlige straling heeft als voordeel dat het dieper kan penetreren in het product en als nadeel dat het gevoeliger is voor oppervlakteverstrooiing. Vaak wordt in reflectie gemeten omdat de penetratie van de straling veelal onvoldoende is voor transmissiemetingen. Bekijken we het zichtbare (VIS) en het NIR gebied (350 – 2500 nm), dan laat Chlorophyll zich goed meten bij 430 en 660 nm (Chlorophyll a) en 460 en 640 (Chlorophyll b). In de blauwe band (430 en 460 nm) vindt tevens absorptie door carotenoiden plaats. Daarnaast zijn er bekende waterabsorptiebanden bij 970, 1200, 1450 en 1780 nm. Andere biochemische bestanddelen zoals zetmeel, cellulose, vet, eiwit en olie absorberen straling in het gebied van 600 tot 2500 nm. Deze organische stoffen reageren in verschillende banden, zoals weergegeven in bijlage 3. Bijlage 4 geeft de dominante absorptiebanden in het VIS/NIR-gebied weer (*Williams et al., 1987*). Opvallend in bijlage 4 is het ontbreken van de waterabsorptieband bij 1200 nm. Blijkbaar was men er niet naar op zoek wat betreft de meetbaarheid. Bijlage 3 en bijlage 4 moeten geïnterpreteerd worden als het resultaat van proeven voor het meetbaar zijn van organische verbindingen. Genoemde waterabsorptiebanden zijn echter een fysisch gegeven.

3 Inventarisatiebehoefte aan snelle meetmethoden

3.1 Inleiding

Introductie van nieuwe meetmethoden is alleen zinvol als er een duidelijke vraag naar bestaat onder melkveehouders. De behoefte van veehouders aan snelle meetmethoden is geïnventariseerd door middel van een telefonische enquête. Hierbij moest een vooraf opgestelde vragenlijst worden ingevuld (bijlage 5). De potentiële veehouders werden ongeveer een week van tevoren op de hoogte gesteld van het telefonische interview door middel van een toegezonden brief (bijlage 6). In de brief werd ook vermeld voor wie en door wie de enquête was opgesteld en wat de doelstelling van de enquête was.

3.2 Methodiek

De telefonische enquête is ingevuld door 500 ondernemers. Een steekproef ter grootte van 400 melkveehouders is vereist om een betrouwbaarheid van 95% van de antwoorden te garanderen (Oord en Schieven, 2003). De betrouwbaarheid neemt nauwelijks toe als de steekproef groter is dan 400 (Oord en Schieven, 2003). Er is gekozen voor een steekproef van 500 melkveehouders om ongeveer 100 melkveehouders per regio te hebben. Hierbij is meer rekening gehouden met het bereiken van ongeveer gelijke aantallen melkveehouders per regio dan met een bepaalde samenstelling per regio. De steekproef werd proportioneel genomen uit een bestand van 27.475 melkveehouders (tabel 8).

Tabel 8 Indeling groepen veehouders over de regio's

Groepsindeling	Provincies per regio	Aantal adressen	Aandeel (%)	Aandeel in steekproef
Regio 1	Groningen, Friesland, Zuid-Flevoland en NOP	5476	19,93	100
Regio 2	Drenthe en Overijssel	7279	26,49	132
Regio 3	Gelderland	4988	18,15	91
Regio 4	Noord-Brabant, Limburg en Zeeland	4858	17,68	88
Regio 5	Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht	4874	17,74	89
Totaal	Nederland	27.475	100%	500

Een call center heeft de vragen telefonisch afgenomen in de periode van 22 juni tot 8 juli 2004. De geschatte gespreksduur was 15 minuten. In totaal zijn 1553 ondernemers gebeld, van wie 364 ondernemers aangaven geen interesse te hebben. In totaal hebben 500 ondernemers de vragen beantwoord. De overigen gaven aan niet tot de doelgroep te behoren of er kon niemand worden bereikt in drie belpogingen. Op basis van ondernemers- en bedrijfskenmerken is een clusterindeling gemaakt om groepen van ondernemers te kunnen identificeren. Voor de bepaling van de clusters is gebruik gemaakt van niet-hierarchische clustering met het softwarepakket Genstat 5 versie 7.1 (*Genstat, 1998*).

Er is gekeken naar een relatie tussen deze clusters en vragen die betrekking hebben op een behoefte aan een snelle meetmethode. Vervolgens is middels kruistabellen gekeken naar de invloed van afzonderlijke ondernemers- en bedrijfskenmerken om inzicht te krijgen welk type ondernemer meer of minder behoefte heeft aan een snelle meetmethode. In de kruistabellen zijn klassegrootten dusdanig gekozen dat er een redelijk aantal antwoorden per klasse aanwezig was. Hierbij is het antwoord "weet niet" buiten beschouwing gelaten. Van vier ondernemers waren de antwoorden erg afwijkend (geen melkkoeien, onrealistisch groot bedrijfsoppervlak etc). Deze zijn daarom niet meegenomen in de analyse.

3.3 Resultaten

3.3.1 Algemene gegevens van de geënquêteerden

In tabel 9 staan de percentages van de antwoorden weergegeven. De geënquêteerden waren goed verdeeld over de leeftijdsgroepen. Het meeste kwam een MBO-opleiding voor (69%), een redelijk grote groep (20%) gaf aan een andere opleiding te hebben gehad dan MBO, HBO of universiteit. Van de bedrijven heeft 54% minder dan 61 melkkoeien, 15% heeft meer dan 90 melkkoeien. De meeste bedrijven (78%) hebben een intensiteit tussen de 1,5 en 2,5 melkkoeien per hectare. Van alle geënquêteerden heeft 27% geen opvolger, terwijl 41% het nog niet weet. Een klein gedeelte (12%) van de ondernemers denkt dat zijn bedrijf over 10 niet meer bestaat.

Tabel 9 Typering van ondernemers en bedrijven: percentages van alle antwoorden op de betreffende vraag

Vraag nr	Vraag	Nummer antwoord en percentage ondervraagden dat antwoord heeft gegeven											
		1	2	3	4	5	6	%	%	%	%	%	
38	Mag ik vragen naar uw leeftijd?	<=30	>30	>40	>50	>60		6	28	36	23	8	
28	Hebt u een volledig melkveebedrijf of een gemengd bedrijf?	volledig	<=40 gemengd		<60		76	24					
31	Hoeveel melkkoeien heeft u op uw bedrijf?	<=30	>30	>60	>90	>120	12	42	31	11	3	>150	1
32	Hoeveel hectare grasland ten behoeve van melk- en jongvee heeft u voor uw bedrijfsvoering?	<=10	>10	>17	>24	>31	4	11	17	23	13	>38	14
33	Hoeveel hectare voedergewassen, anders dan gras, ten behoeve van melk- en jongvee heeft u voor uw bedrijfsvoering?	<=4	>4	>8	>12	>16	39	21	16	12	6	>20	4
30	Intensiteit (melkkoeien/ha, exclusief jongvee)*	<=1	>1	>1.5	>2.0	>2.5	6	31	47	11	3	>3	2
29	Hebt u een bedrijfsopvolger?	ja	nee	weet niet			31	27	41				
37	Denkt u dat uw bedrijf over 10 jaar nog bestaat?	ja	nee	weet niet			69	12	19				
	Wat is uw opleiding?	MBO	HBO	universitair	andere		69	10	1	20			

*Berekend op basis van vragen 31, 32 en 33

In de gegevensset zijn, op basis van de vragen 29 t/m 38, drie duidelijke clusters van bedrijven te onderscheiden (tabel 10). Leeftijd is een erg bepalende factor geweest bij de selectie van de clusters. In cluster 1 zitten voornamelijk jonge ondernemers met een goede opleiding en veel toekomstperspectief (over 10 jaar bestaat het bedrijf nog steeds). Tevens wordt in deze cluster frequenter een managementinformatiesysteem (MIS) gebruikt. Cluster 3 is het tegenovergestelde, met oudere ondernemers, met een minder duidelijk omschreven opleiding, met minder toekomstperspectief en een relatief beperkt MIS-gebruik. Op basis van de clustering is te zien dat er een duidelijke relatie bestaat tussen leeftijd en opleiding (hogere opleiding bij jongere ondernemers), leeftijd en toekomstperspectief en leeftijd en MIS-gebruik. Er is geen eenduidige relatie tussen leeftijd en veebezetting.

Tabel 10 Gemiddelden en karakteristieken per cluster

Cluster	Veebezetting (melkkoeien/ha, exclusief jongvee)	Leeftijd (jr)	Gemiddelde opleiding 0=overig, 1=MBO/HBO	Toekomstperspectief (fractie) 0= bedrijf bestaat over 10 jaar niet meer 1= bedrijf bestaat over 10 jaar nog	MIS gebruiker (fractie) 0= geen MIS gebruik 1= wel MIS gebruik
1	1.68	34.7	0.92	0.89	0.55
2	1.72	46.4	0.81	0.71	0.45
3	1.60	59.0	0.65	0.47	0.29

In de bedrijfstypen zitten ook verschillen tussen regio's (tabel 11). In het veenweidegebied (regio 5, Noord- en Zuid-Holland en Utrecht) zijn de aantallen melkkoeien het kleinst en is de veebezetting het laagst en het aandeel gras het hoogst. In de kleigebieden in Noord-Nederland (regio 1, Friesland, Groningen en de IJsselmeerpolders) zijn de bedrijven het grootst. Zoals verwacht is de intensiteit het grootst in het zuiden (regio 4, Limburg, Noord-Brabant en Zeeland).

Tabel 11 Gemiddelden en karakteristieken per regio

Regio	Aantal geënquêteerde ondernemers	Leeftijd (jr)	Aantal melkkoeien	Bedrijfsoppervlakte (ha gras+maïs)	Veebezetting (mk/ha)	Gras (%)
1	100	44.9	78.4	50.4	1.60	90.6
2	132	44.3	63.4	38.1	1.70	80.8
3	91	47.1	58.4	45.6	1.73	79.4
4	86	46.0	63.2	40.9	1.81	66.8
5	87	47.8	55.1	37.2	1.54	94.4

3.3.2 Typering van het graslandgebruik

In tabel 12 staan de antwoorden van de vragen over grasland en graslandgebruik. De meeste bedrijven weiden, slechts 12% niet (zomerstalvoeren en summerfeeden). Het meest voorkomende beweidingssysteem is omweiden (59%). Daarnaast komen standweiden en rantsoenbeweiding veel voor.

De meeste ondernemers (83%) laten de mest niet bemonsteren voor eigen gebruik (tabel 12), wie wel bemonstert, doet dat het meest (75%) 1 keer per jaar. Slechts 45% maakt onderscheid tussen weide- en maaisnede bij de bemesting met drijfmest, voor kunstmest doet 64% dat. Ongeveer de helft maakt een planning voor het graslandgebruik. Een managementsysteem wordt door 57% gebruikt, het gebruik neemt in de toekomst toe tot 66% (57% nu + 22% van 43% van de toekomstige gebruikers die nu nog geen MIS gebruikt). Aangezien onder de 'blijvers' relatief meer MIS-gebruikers zijn, is het te verwachten dat MIS-gebruik nog verder toeneemt. De meeste ondernemers gebruiken geen toevoegmiddel bij het kuilen (54%). Voor de ondernemers die dat wel of soms doen is het drogestofgehalte het meest bepalende criterium voor wel of geen toediening. Een klein gedeelte (18%) let ook op het suikergehalte. De meeste ondernemers (78%) voeren een vooraf doorgerekend rantsoen. 38% weegt de verschillende ruwvoersoorten regelmatig.

Tabel 12 Typering van het grasland en bedrijfsmanagement: percentages van alle antwoorden op de betreffende vraag

Vraag Nr.	Vraag	Nummer antwoord en percentage ondervraagden dat antwoord heeft gegeven												
		1	2	3	4	5	6	7	%	%	%			
11	Welk beweidingssysteem hanteert u?*	Omweiden	Standweiden	15	zomerstalvoeren	4	Summer-feeding	9	Rantsoen-beweidings	11	Stripgrazen	2	%	%
1	Laat u uw mest voor eigen gebruik bemonsteren?	ja	nee	83										
2	Hoe vaak bemonstert u per jaar?	1 keer	2 keer	17	3 keer	5	4 keer	1	> 5 keer	2				
3	Maakt u bij de voorjaarsbesteding onderscheid in het aantal kuubs drijfmest voor een maai- of weidesnede?	ja	nee	45	weet niet	0								
4	Maakt u voor de hoogte van de aanvullende kunstmestgift onderscheid tussen een weide- of maaisnede?	ja	nee	64	weet niet	2								
34	Doet u aan planning van het graslandgebruik	ja	nee	51	weet niet	0								
35	Maakt u gebruik van een managementsysteem (bijv. COMVEE, AGIS) op uw bedrijf	ja	nee	57	weet niet	0								
36	Denkt u in de toekomst gebruik te gaan maken van een managementsysteem	ja	nee	22	weet niet	21								
21a	Kuult u in met een toevoegmiddel?	ja	nee	15	soms	31								
21b	Waarop let u als u een toevoegmiddel gebruikt?	DS-gehalte	suikergehalte	18	andere	6								
22	Voert u de melkoeien volgens een vooraf berekend rantsoen?	ja	nee	78	weet niet	0								
23	Weegt u regelmatig de verschillende ruwvoersoorten?	ja	nee	38	weet niet	1								
5	Als de graslandopbrengst afwijkt van de verwachte opbrengst, wat is daarvan de oorzaak?	geen afwijking	weer	70	verkeerde inschatting	12	berijdbaarheid	6	andere	11				

Vervolg tabel 12

Vraag Nr.	Vraag	Nummer antwoord en percentage ondervraagden dat antwoord heeft gegeven						
		1	2	3	4	5	6	7
6	Denkt u de afstemming van de bemesting in relatie tot de grasopbrengst te kunnen verbeteren?	ja 55	nee 31	weet niet 14				
7	Waarom denkt u de afstemming niet te kunnen verbeteren?	geen hulp-middelen 13	geen tijd 9	kosten 18	geen interesse 19	anders 41		
8	Wat is voor u de belangrijkste reden om de afstemming tussen bemesting en drogestofopbrengst te willen verbeteren?	mineralen-benutting 32	voeder-waarde 24	opname door vee 10	gezondheid vee 15	verlezen in veld 7	anders 12	
9	Gebruikt u een hulpmiddel bij het bepalen van uw graslandopbrengst?	hoogte-meter 6	ander hulpmiddel 2	nee 91	weet niet 0	anders 1		
10	Waarom wilt u de drogestofopbrengst weten?	groeisnelheid gras 7	invoer MIS 5	tijd inscharen 5	tijd maaien 14	combinatie 28	wil niet weten 36	anders 5
12	Welke criteria hanteert u bij het inscharen van melkvee en ook bij maaien?	mestgiften 2	grashoogte 60	schatting DS 7	vorige snede 3	combinatie 21	anders 5	geen criteria 2
13	Bij hoeveel kilogram droge stof schaart u de koeien in?	<1200 10	1201-1700 31	>1700 16	twee vuisten 15	laarshoogte 3	weet niet 16	anders 9
14	Welk criterium (criteria) heeft (hebben) na het weer de grootste invloed op het tijdstip van maaien?	groei-trappen 14	grashoogte 39	N-gift 0	berijdbaarheid 9	planning weiden 16	DS-opbrengst 18	anders 4

* Omweiden=frequent inscharen in een nieuw perceel

Standweiden=beweiding op één perceel gedurende een lange periode

Zomerstalvoeren=Koeien op stal, rantsoenen bestaat o.a. uit vers gras

Summerfeeding=Koeien op stal, rantsoenen met kuilvoer (geen vers gras)

Rantsoenbeweiding=Koeien elke dag een extra stuk weide aanbieden, al beweidde gedeelte blijft beschikbaar

Stripgrazen=Koeien elke dag omweiding in een een nieuwe 'strip'

Het weer (71%) wordt gezien als de belangrijkste oorzaak van een opbrengst die afwijkt van de verwachting, 10% geeft aan dat er een verkeerde inschatting is gemaakt en 5% vanwege berijdbaarheid. Een meerderheid (55%) denkt de afstemming tussen bemesting en drogestofopbrengst te kunnen verbeteren. Van de ondernemers die denken dat dit niet kan, geeft 13% aan dat dit komt door te weinig hulpmiddelen. Verbetering van mineralenbenutting (32%) is de belangrijkste reden om de afstemming te willen verbeteren. Daarnaast wordt een verbetering van de voederwaarde (24%), opname door het vee (10%) en de gezondheid van het vee (15%) belangrijk gevonden. Een overgrote meerderheid (91%) gebruikt geen hulpmiddel bij het bepalen van de graslandopbrengst. Een klein percentage (5%) gebruikt een grashoogtemeter. Ongeveer 36% geeft aan dat de grasopbrengst niet belangrijk is om te meten. Dit is opmerkelijk, zeker gezien het grote aantal ondernemers (88%), dat aangeeft (Grashoogte, schatting DS en Combinatie in vraag12) dat op de een of andere manier de hoeveelheid gras van belang is bij het inscharen van melkvee. Voor het tijdstip van maaien zijn veel redenen bepalend, waarvan grashoogte de meest voorkomende is. Een klein deel van de ondernemers (30%) maait in dienst van beweiding, door het aanleggen van groeitrappen of voor planning van de beweiding.

3.3.3 Behoeftte aan snelle meetmethoden

In tabel 13 staan de behoeften aan snelle meetmethoden weergegeven. Een redelijk grote groep (43%) wil satellietinformatie van het grasland gebruiken. Ook wil 43% een snel meetapparaat gebruiken voor bepaling van de drogestofopbrengst van vers gras. Van deze 43% wil een grote meerderheid (85%) afhankelijk van de prijs betalen voor een snelle meetmethode voor opbrengstbepaling. Snelheid is wel belangrijk, 61% wil binnen een halve dag de opbrengst weten. Ten opzichte van opbrengstbepaling zijn er meer respondenten (60%) die aangeven een snelle meetmethode voor de bepaling van energie- en eiwitwaarden van vers gras te willen gebruiken. Van deze groep heeft 93% geld over voor een snelle meetmethode. Opnieuw moeten de meetgegevens binnen een halve dag beschikbaar zijn.

De behoefte aan een methode voor de bepaling van de hoeveelheid drogestof in kuilvoer is iets kleiner (38%). Opnieuw is er meer behoefte aan een bepaling van energie- en eiwitwaarden (55%), deze groep wil één keer per week of minder de kwaliteit meten (94%). Een grote groep (78%) wil deze informatie gebruiken voor rantsoenberekeningen.

Tabel 13 Behoeftte aan snelle meetmethoden: percentages van de antwoorden op

Vraag nr.	Vraag	Nummer antwoord en percentage ondervraagden dat antwoord heeft gegeven									
		1	%	2	%	3	%	4	%	5	%
15	Indien via satellietbeelden informatie over de grasopbrengst van uw percelen te verkrijgen zou zijn, zou u de informatie gebruiken?	ja	4 3	nee	4 4	weet niet	1 3				
16	Indien er een snel en gemakkelijk hanteerbaar apparaat beschikbaar komt voor bepaling van de drogestofopbrengst van vers gras, gaat u dit apparaat dan gebruiken?	ja	4 3	nee	4 8	weet niet	9				
17	Als er een snelle meetmethode zou zijn voor het bepalen van de drogestofopbrengst van vers gras hoe snel wilt u daar dan over beschikken?	5 min.	2 6	half uur	1 7	halve dag	1 8	dag	3 8	anders	1
18	Als er een snelle meetmethode zou zijn voor het bepalen van de drogestofopbrengst van vers gras, heeft u hier geld voor over?	ja	2	ja, afh. van prijs	8 6	nee	1 2	anders	0		
19	Indien er een snel en gemakkelijk hanteerbaar apparaat beschikbaar komt voor bepaling van de energie- en eiwitwaarden van vers gras, gaat u dit apparaat dan gebruiken?	ja	6 0	nee	3 4	weet niet	6				
20	Als er een snelle meetmethode zou zijn voor de energie- en eiwitwaarden van vers gras, heeft u hier geld voor over?	ja	4	ja, afh. van prijs	8 9	nee	7				
21	Hoe snel wilt u de energie- en eiwitwaarden tot uw beschikking hebben?	5 min.	2 1	uur	1 6	halve dag	2 6	dag	3 6	anders	1
24	Als er een snelle meetmethode zou zijn voor het bepalen van de te verstrekken hoeveelheid drogestof aan kuilvoer, heeft u hier geld voor over?	ja	2	ja, afh. van prijs	3 8	nee	5 8	anders	2		
25	Als er een snelle meetmethode zou zijn voor het bepalen van de energie- en eiwitwaarden van kuilvoer, heeft u hier geld voor over?	ja	4	ja, afh. van prijs	5 5	nee	4 0	anders	1		
26	Hoe vaak wilt u over de voederwaarde-cijfers van kuilvoer beschikken?	per dag	3	2 per week	3	één per week	4 0	anders	5 4		
27	Gaat u de voederwaarde-cijfers gebruiken voor de rantsoenberekening als deze op een snelle manier zijn gemeten?	ja	7 8	nee	1 9	weet niet	3				

3.3.4 Identificatie van groepen van ondernemers die behoefte hebben aan meetmethoden

Tussen de geïdentificeerde clusters van ondernemers (zie tabel 10) zijn verschillen in behoefte zichtbaar (tabel 14). Jongere, hoger opgeleide ondernemers met meer toekomstperspectief hebben iets meer behoefte aan een snelle meetmethode dan iets oudere, lager opgeleide ondernemers met minder toekomstperspectief. Opvallend is dat ondernemers in cluster 3 iets vaker behoefte hebben aan een meetmethode dan ondernemers in cluster 2 (waarom is onduidelijk).

Tabel 14 Het percentage van het aantal ondernemers dat behoefte heeft aan een meetmethode (waarbij ondernemers die “weet niet” hebben geantwoord buiten beschouwing zijn gelaten) voor verschillende ‘clusters’ van ondernemers

Meetmethode	Clusters*		
	1	2	3
Satellietinformatie (vraag 15)	57	45	51
Graslandopbrengst (vraag 16)	51	43	50
Eiwit en energie van vers gras (vraag 19)	71	59	65
Hoeveelheid kuilvoer** (vraag 24)	41	40	43
Energie en eiwit van kuilvoer*** (vraag 25)	63	61	57
Gemiddelde	57	50	53

* Voor karakteristieken per cluster zie tabel 11

** Verschillende aantallen antwoorden komen voort uit antwoorden “weet niet”

*** Antwoorden “Ja” en “Ja, afhankelijk van prijs” zijn vertaald als “er is behoefte aan”, “Nee” is vertaald als “geen behoefte aan”

In tabel 15 staat de behoefte aan meetmethoden in relatie tot factoren in het graslandmanagement weergegeven.

Tabel 15 Per meetmethode het percentage van de ondernemers dat behoefte heeft aan een meetmethode (waarbij ondernemers die “weet niet” hebben geantwoord buiten beschouwing zijn gelaten) in relatie tot wel/geen gebruik maken van een graslandplanning, een rantsoenberekening en verschillende beweidingssystemen

Meetmethode	Graslandplanning		Rantsoenberekening		Beweidingstelsysteem*					
	Ja	Nee	Ja	Nee	Omw	Stan	Zom	Sum	Ran	Str
Satellietinformatie (vraag 15)	56	43	54	33	51	39	44	56	54	63
Graslandopbrengst (vraag 16)	55	39	50	39	49	39	50	41	50	56
Eiwit en energie van vers gras (vraag 19)	74	53	67	52	66	62	63	51	62	64
Hoeveelheid kuilvoer** (vraag 24)	43	38	45	27	42	31	42	41	42	45
Energie en eiwit van kuilvoer*** (vraag 25)	66	53	63	48	63	47	63	64	52	55
Gemiddelde	59	45	55	40	54	43	52	51	52	56

* Omw=Omweiden, Stan=Standweiden, Zom=Zomerstalvoeren, Sum=summerfeeding, Ran=Rantsoenweiden, Str=Stripgrazen

** Verschillende aantallen antwoorden komen voort uit antwoorden “weet niet”

*** Antwoorden “Ja” en “Ja, afhankelijk van prijs” zijn vertaald als “er is behoefte aan”, “Nee” is vertaald als “geen behoefte aan”

Er is vaker behoefte aan een meetmethode indien de ondernemer een graslandplanning gebruikt. Dit geldt voor alle meetmethoden, maar het meest voor methoden die energie en eiwit in vers gras en kuil meten. Ondernemers die gebruik maken van een rantsoenberekening hebben vaker wel dan niet behoefte aan meetmethoden, met uitzondering van een meetmethode voor de hoeveelheid te verstrekken kuilvoer. Ondernemers die geen rantsoenberekening maken,

hebben in meerderheid geen behoefte aan een meetmethode voor opbrengsten van grasland en hoeveelheden te verstrekken kuilvoer.

Ondernemers die omweiden, hebben in meerderheid behoefte aan een methode om eiwit- en energiewaarde van het gras en kuilvoer te bepalen. De behoefte aan een meetmethode is het kleinst voor ondernemers die gebruik maken van het standweidesysteem, met uitzondering van een meetmethode voor eiwit- en energiewaarde van vers gras. Bedrijven die summerfeeden hebben relatief gezien meer behoefte aan een bepaling van de energie- en eiwitgehalten van kuilvoer, er is minder behoefte aan een opbrengstbepaling van vers gras. Ondernemers die rantsoenweiden of stripgrazen hebben in meerderheid een behoefte aan een meetmethode voor energie en eiwit van vers gras.

In Midden-Nederland (gebieden 3 en 5, provincies Noord- en Zuid-Holland, Utrecht en Gelderland) is de behoefte aan een meetmethode over het algemeen kleiner dan in de andere gebieden (tabel 16). In gebied 1 (Noord-Nederland) is relatief minder behoefte aan satellietinformatie en bepaling van de te verstrekken hoeveelheid kuilvoer, terwijl er juist meer behoefte is aan bepalingen van de energie- en eiwitwaarden van vers gras en kuilvoer. Mogelijk houdt dit verband met de veebezetting en het graslandgebruikstelsel. Gemiddeld gezien neemt de behoefte aan een meetmethode licht toe naarmate de ondernemer meer melkkoeien en dus een groter bedrijf heeft. Ondernemers met minder dan 30 melkkoeien hebben weinig behoefte aan een meetmethode. Er is ook een afname in de behoefte naarmate de leeftijd van de ondernemer hoger is. Op heel extensieve bedrijven is er iets minder behoefte aan een meetmethode - vooral voor de hoeveelheid kuilvoer en voor eiwit- en energiewaarden in vers gras en kuilvoer - dan op normaal intensieve tot intensieve bedrijven.

Tabel 16 Het percentage van het aantal ondernemers dat behoefte heeft aan een meetmethode (waarbij ondernemers die “weet niet” hebben geantwoord buiten beschouwing zijn gelaten) onderscheiden naar gebied (zie tabel 8) voor beschrijving van de gebieden) en klassen van het aantal melkkoeien, de leeftijd van de ondernemer en bedrijfsintensiteit

Meetmethode	Gebied										Aantal melkkoeien					Leeftijd ondernemer					Intensiteit (melkkoeien/ha)				
	1	2	3	4	5	0-	30-	60-	90-	>120	0-	30-	40-	50-	60-	0-	30-	40-	50-	60-	<1.0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	>2,5
Satellietinformatie (vraag 15)	45	50	45	62	47	48	45	55	51	55	64	56	45	45	55	41	48	51	53	50					
Graslandopbrengst (vraag 16)	48	50	45	53	39	38	50	47	51	48	60	48	43	49	50	50	45	47	60	38					
Eiwit en energie van vers gras (vraag 19)	64	68	55	69	59	46	64	68	69	60	63	65	59	65	61	55	64	64	66	64					
Hoeveelheid kuilvoer**	37	46	36	46	35	26	40	44	42	59	42	41	40	39	43	35	38	40	48	48					
Energie en eiwit van kuilvoer***	66	63	60	56	49	39	60	63	66	64	68	61	62	53	54	41	63	61	54	56					
Gemiddelde	52	55	48	57	46	40	52	55	56	57	59	54	50	50	52	44	52	52	56	51					

* Verschillende aantallen antwoorden komen voort uit antwoorden “weet niet”

** Antwoorden “Ja” en “Ja, afhankelijk van prijs” zijn vertaald als “er is behoefte aan”, “Nee” is vertaald als “geen behoefte aan”

3.4 Conclusies

De enquête is door 500 ondernemers volledig ingevuld; 496 ondernemers gaven bruikbare antwoorden. Zoals verwacht verschilden de bedrijfskenmerken binnen regio's. Van de ondernemers gaf 12% aan dat zijn/haar bedrijf over 10 jaar naar verwachting niet meer bestaat. De ondernemers zijn in drie categorieën in te delen. Zoals verwacht hebben jongere ondernemers een hogere opleiding, meer toekomstperspectief en zij gebruiken vaker een managementinformatiesysteem. Tussen de regio's zijn verschillen in bedrijfskenmerken zichtbaar, met intensieve bedrijven in het Zuiden en grotere wat extensievere bedrijven in het Noorden. De gemiddelde bedrijfsgrootte van de bedrijven met een groot aandeel grasland, is in het Westen van Nederland het kleinst.

Hoewel er nog geen geavanceerde apparatuur voor het snel meten aan gras voor praktijkbedrijven op de markt beschikbaar is, blijkt een aanzienlijk deel van de melkveehouders hier al wel interesse in te hebben. Van alle ondernemers wil 43% satellietinformatie gebruiken. Satellietinformatie is in de enquête genoemd als een voorbeeld van een techniek voor een snelle meetmethode. Een even grote groep wil een snelle meetmethode gebruiken voor opbrengstbepaling van vers gras, waarvan 85% daar ook voor wil betalen. Bij 60% van de ondernemers is er behoefte aan snellere informatie over de energie en eiwitwaarde van het gras. Daar wil 93% voor betalen (dit is voor een grote groep wel afhankelijk van de prijs). De informatie moet echter snel beschikbaar zijn, binnen een halve dag. De behoefte aan snelle informatie over kuilvoer is iets kleiner (38% voor de hoeveelheid droge stof, 55% voor de energie- en eiwitwaarde).

De blijvers, d.w.z. jonge ondernemers met een hogere opleiding en veel toekomstperspectief die vaker een managementinformatiesysteem gebruiken, hebben iets vaker behoefte aan een meetmethode. Ook ondernemers met relatief veel melkkoeien hebben vaker behoefte aan een snelle meetmethode. Extensieve bedrijven (minder dan 1 melkkoe/ha) hebben door de bank genomen juist minder vaak behoefte aan een meetmethode. Er is vaker behoefte aan een snelle meetmethode in Zuid- en Noord-Nederland dan in Midden-Nederland.

Het type bedrijfsvoering (wel of geen rantsoenberekening, wel of geen graslandgebruiksplanning en beweidingssysteem) lijkt sterker bepalend voor de behoefte aan een snelle meetmethode dan eigenschappen van de ondernemer zelf (leeftijd, opleiding e.d.). Over het algemeen hebben ondernemers die gebruik maken van een graslandgebruiksplanning en een rantsoenberekening, meer behoefte aan een meetmethode dan ondernemers die hier geen gebruik van maken. Het graslandgebruikssysteem is van invloed op de behoefte aan een meetmethode, ondernemers met een standweidesysteem hebben minder vaak behoefte aan een opbrengstbepaling terwijl ondernemers met zomerstalvoeren, rantsoenbeweiding en stripgrazen juist vaker behoefte hebben aan opbrengstinformatie.

4 Beoordeling en selectie

De ondervraagde melkveehouders (hoofdstuk 3) hebben aangegeven vooral belangstelling te hebben voor het toepassen van snelle meetmethoden bij:

- het bepalen van de drogestofopbrengst van gras op het veld;
- het bepalen van de samenstelling en voederwaarde van het verse gras op het veld en
- het bepalen van de samenstelling en voederwaarde van de kuil.

Hieronder zijn de technieken aangegeven (zie ook hoofdstuk 2), die beschikbaar zijn en bovendien snel in de vorm van meetinstrumenten beschikbaar kunnen komen. Hierbij worden vier aspecten onderscheiden:

- de kwantitatieve bepaling van de grasproductie op het veld;
- de samenstelling en voederwaarde (gebaseerd op inhoudsstoffen) van dit verse gras op het veld;
- de goede benutting van de grasproductie door het maken van een goede kwaliteit graskuil en
- de samenstelling en voederwaarde van de kuil op het moment van voeren.

Tenslotte is een selectie gemaakt van de meest verwachtingsvolle mogelijkheden. Deze indeling sluit nauw aan bij de belangstelling zoals die door melkveehouders is aangegeven.

Een punt van zorg blijft de inpassing van de meetinstrumenten in de bedrijfsvoering. Willen de meetinstrumenten gebruikt gaan worden dan moeten deze passen in de werkwijze op het bedrijf van de melkveehouder en weinig extra werk vragen. Praktisch betekent dit bijvoorbeeld:

- dat een sensor gebouwd zou kunnen worden op de schudder of hark zodat tijdens deze werkgang het drogestofgehalte van het gras in het zwad kan worden gemeten;
 - dat een sensor gebouwd zou kunnen worden in een kleine applicatie die de melkveehouder mee kan nemen in zijn borstzakje zodat hij net voor het inkuilen het drogestofpercentage van het gras in het zwad kan meten;
 - dat een sensor op de opraapwagen gemonteerd kan worden en dat op basis van de meting direct aan het voorgedroogde gras toevoegmiddel kan worden toegediend,
 - dat de sensor kan worden gemonteerd op een quad waarmee al rijdend gemeten wordt hoeveel gewas er staat.
- Alle gegevens, bepaald met de sensoren moeten eenvoudig kunnen worden opgenomen in managementondersteunende systemen (decision support systemen).

De kwantitatieve bepaling van de grasproductie kan bovendien gebruikt worden voor calibratie van de bestaande grasproductiemodellen, waardoor de betrouwbaarheid van de simulatiemodellen, die tevens van meteorologische gegevens gebruik maken, aanzienlijk verbeterd kan worden. Hierdoor ontstaan voor de veehouder bruikbare managementinstrumenten voor graslandgebruiksplanning.

4.1 Kwantitatieve bepaling van de gewashoeveelheid

Voor het bepalen van het moment van inscharen en voor het bepalen van het optimale oogstmoment ten behoeve van de vorming van de wintervoorraad of stalvoeding, is kennis van de gewashoeveelheid op een veld nodig. De veehouder kan dit op het oog schatten, maar dit blijkt niet erg nauwkeurig te zijn (*Lokhorst et al., 1998*). In het verleden zijn verschillende technieken ontwikkeld om de drogestofopbrengst en/of het drogestofgehalte te meten. Hierbij kan worden gedacht aan gewashoogtemeters, capacitance probes, cropscans etc. Dit heeft niet tot algemene toepassing geleid.

Een nieuwe ontwikkeling is het realiseren van eenvoudige optische sensoren voor de bepaling van de hoeveelheid biomassa op het veld, gebaseerd op een puntmeting. Door veel punten snel te meten, kan een representatief beeld van een veld worden opgebouwd. Een dergelijke sensor, mits in serie geproduceerd, hoeft niet meer dan 1500 – 2500 euro te kosten. Hetzelfde geldt voor een sensor waarmee het vochtgehalte kan worden gemeten. Beide sensoren zijn voor de veehouder op korte termijn beschikbaar te maken (< 5 jr.). Voor het meten van zowel het drogestofgehalte als de hoeveelheid biomassa zijn momenteel aanzetten gegeven voor de ontwikkeling van sensoren.

Voor de bepaling van de hoeveelheid drogestof op het veld kan in de toekomst mogelijk ook satellietinformatie worden gebruikt. Naar verwachting duurt het nog minstens 10 voordat deze techniek toegepast kan worden op het melkveehouderijbedrijf. De satelliettechniek is gebaseerd op een indirecte meting. Er zijn daardoor calibraties nodig (ground truth informatie) om de empirisch gevonden relaties te valideren en bij te stellen voor nieuwe of sterk veranderende situaties.

Een derde mogelijkheid voor het bepalen van de gewashoeveelheid op het veld is het gebruikmaken van (beeldvormende) spectroscopie. Met deze techniek zijn daarnaast ook de inhoudsstoffen meetbaar. Daarom is deze techniek in de volgende paragraaf beschreven.

4.2 Bepalen van de samenstelling en voederwaarde

Om de samenstelling en voederwaarde van het verse gras op het veld te kunnen bepalen moet het gehalte van verschillende inhoudsstoffen in het gras worden gemeten. Bijvoorbeeld het gehalte aan stikstof, fosfaat en kali, ruwe celstof, drogestof en de verteringscoëfficiënt. Uit de resultaten die in dit rapport zijn weergegeven blijkt dat dit goed mogelijk is met verschillende combinaties van spectroscopische sensoren, zonder het gewas aan te raken. Met NIRS kunnen deze bepalingen ook goed worden gedaan maar dan blijft het nodig om het monster te malen en bij voorkeur te drogen. Het lijkt goed mogelijk om NIRS op basis van vers (ongedroogd) materiaal toe te passen, maar daarvoor is nog wel een onderzoekstraject nodig. Dit met name voor het oplossen van problemen die optreden bij het nemen van monsters van vers materiaal tijdens de oogst.

Ook het drogestofgehalte en de drogestofopbrengst kunnen met (beeldvormende) spectroscopie nauwkeurig worden gemeten. In Hoofdstuk 2 is gekeken naar diverse combinaties van optische sensoren. De combinatie van een spectrofotometer met een 3CCD-camera lijkt redelijk nauwkeurig en levert een sterke kostenreductie op ten opzichte van de combinatie van sensoren die in de Imspector Mobiel worden gebruikt. Dit kan mogelijk nog goedkoper worden als in plaats van een 3CCD-camera een goede RGB camera kan worden gebruikt. Het lijkt goed mogelijk om met een dergelijk vereenvoudigd instrument een goede indicatie van zowel het drogestofgehalte als de drogestofopbrengst te verkrijgen. Het is heel goed mogelijk om een dergelijke sensor op relatief korte termijn (< 5 jr.) te ontwikkelen.

De (beeldvormende) spectroscopische methode kan dus beide: het kwantitatief bepalen van de gewashoeveelheid en het bepalen van de inhoudsstoffen van het gras. Voor de bepaling van alleen het drogestofgehalte en de drogestofhoeveelheid zijn er mogelijk goedkopere oplossingen. Voor het meten van de inhoudsstoffen is spectroscopie voorlopig de enige snelle meetmethode die geoperationaliseerd kan worden. Voor het laten bepalen van het drogestofgehalte zou wellicht een service kunnen worden opgezet door een agrarisch laboratorium zodat de veehouder binnen een (halve) dag het drogestofgehalte weet. NIRS wordt toegepast in agrarische laboratoria. Evenals de satelliettechniek is de (beeldvormende) spectroscopische techniek gebaseerd op een indirecte meting. Er blijven daarom calibraties nodig (ground truth informatie) om de empirisch gevonden relaties te valideren en bij te stellen voor nieuwe of sterk veranderende situaties.

Voor het bepalen van de inhoudsstoffen lijkt in de toekomst de RAMAN-spectroscopie een veelbelovende techniek. Deze techniek is echter nog volop in ontwikkeling. In potentie lijkt het snel, relatief goedkoop en nauwkeurig meten van de inhoudsstoffen met deze techniek goed mogelijk. De horizon voor praktische toepassing wordt geschat op 10, mits de ontwikkeling van de technologie niet stagneert.

Agrarische laboratoria bieden nu al de mogelijkheid om vers gras op samenstelling en voederwaarde te laten analyseren m.b.v. NIRS. Het traject van het nemen van een monster tot de analyseresultaten bij de melkveehouder kost op dit moment nog te veel tijd om sturend te kunnen zijn in de dag-tot-dag besluitvorming. Mogelijk is in de logistiek van de monsters naar het laboratorium, in de verwerking op het laboratorium zelf, en de terugkoppeling van de resultaten naar de melkveehouderij het een en ander te verbeteren, zodat de resultaten sneller beschikbaar kunnen komen voor gebruik op het bedrijf. Voor gebruik van NIRS ten behoeve van operationele beslissingen (voeren) moeten de resultaten van een snelle en goedkope bepaling tijdig bij de melkveehouder zijn.

4.3 Het maken van een goede kwaliteit graskuil

De beslissing om bij het inkuilen een toevoegmiddel te gebruiken, is gebaseerd op het drogestofgehalte van het te oogsten gras.

Het drogestofgehalte kan met één van de in ontwikkeling zijnde optische sensoren (zie 4.1) worden gemeten. Ook deze applicatie kan binnen vijf jaar beschikbaar zijn voor toepassing door de melkveehouder.

Een van de opties is om het vochtgehalte on-line te meten op de oogstmachine, bijvoorbeeld op de opraapwagen, en de dosering van een conserveringsmiddel afhankelijk te maken van dit gemeten vochtgehalte. Een andere interessante optie is het monteren van een vochtgehaltesensor op een bewerkingsmachine, bijvoorbeeld een schudder of hark.

Het drogestofgehalte kan eveneens met NIRS en (beeldvormende) spectroscopie worden bepaald.

4.4 Bepalen van de samenstelling en voederwaarde van de kuil

De samenstelling en voederwaarde van de kuil kan worden bepaald met een natchemische of NIRS-analyse. NIRS wordt nu al toegepast voor het bepalen van de samenstelling en voederwaarde van kuil. De techniek is echter duur en vraagt specialisme zodat agrarische laboratoria de analyse aanbieden als service naar de melkveehouder. De resultaten zijn niet direct beschikbaar. Vanuit de techniek moet het mogelijk zijn om metingen bij de melkveehouder te verrichten. Mogelijk is in de logistiek van de monsters naar het laboratorium, in de verwerking op het laboratorium zelf, en de terugkoppeling van de resultaten naar de melkveehouderij het een en ander te verbeteren zodat de resultaten frequenter en sneller beschikbaar kunnen komen voor gebruik op het bedrijf.

In tegenstelling tot bij vers gras is er voor het bepalen van de samenstelling en voederwaarde van kuil voorzover bekend nog geen geschikte techniek om direct ter plaatse metingen uit te voeren. Mogelijk dat met spectroscopie zoals gebruikt in de Inspector Mobiel ook de samenstelling en voederwaarde van kuil kan worden bepaald. Dit is nog niet onderzocht.

Ten slotte dient RAMAN te worden genoemd als mogelijk interessante techniek voor gebruik in de toekomst (>10 jr.).

4.5 Selectie

Wil de melkveehouder ook werkelijk gebruik gaan maken van het meetinstrument dan moet deze aan een aantal eisen voldoen. Naast de factoren voor productspecificatie en ontwerp voor een meetinstrument is het belangrijk dat het meetinstrument aansluit bij de werkwijze van de melkveehouder en geen extra werk vraagt. Praktisch betekent dit:

- dat de vorm waarin de metingen beschikbaar komen moet aansluiten bij het managementinformatiesysteem dat op het bedrijf aanwezig is (metingen moeten direct doorgestuurd of ingelezen kunnen worden naar een softwareapplicatie of er moet een overzicht worden gegenereerd en afgedrukt op papier)
- dat de vorm van de applicatie moet aansluiten bij de werkmethode van de melkveehouder. Dat wil zeggen dat het verrichten van metingen weinig extra tijd mag kosten en bij voorkeur geïntegreerd kan worden in bestaande activiteiten, Als het bepalen van de drogestofopbrengst een service is die door een ander bedrijf wordt uitgevoerd dan moet deze service aansluiten bij de bedrijfsvoering van de melkveehouder.

Tabel 17 geeft een overzicht van het hiervoor genoemde en geeft bovendien de criteria waarop de technieken zijn getoetst. De meest geschikte methode voor het bepalen van de drogestofopbrengst lijkt de realisatie van eenvoudige optische sensoren gebaseerd op snelle puntmetingen. Als tweede lijkt een combinatie van een spectrofotometer en een RGB-camera tot de mogelijkheden te behoren. Op basis van deze laatste techniek kan een directe empirische relatie worden gelegd tussen gemeten getalswaarden en drogestofopbrengst. De daarvoor benodigde calibraties lijken uitvoerbaar te zijn, bijvoorbeeld door definiëring en calibratie van gewastypen. De spectrofotometer reageert ook op de aanwezige hoeveelheid water en inhoudsstoffen van het gewas. Er kan dus ook een schatting worden gemaakt van het drogestofgehalte en de voederwaarde, zowel van het te velde staande gewas als van in het zwad liggend gras. Voor het bepalen van de inzetbaarheid van een combinatie van een eenvoudige RGB-camera en een spectrofotometer is enig aanvullend onderzoek nodig. Deze combinatie is een goedkope versie van dezelfde techniek die in de Mobiele Inspector is gebruikt. Deze techniek is het meest nauwkeurig en geschikt voor toepassing in een snelle meetmethode. Bovendien kan deze techniek op niet al te lange termijn (< 5 jr) beschikbaar zijn als praktisch meetinstrument.

Omdat op het moment voor het bepalen van de samenstelling en voederwaarde van kuil geen snelle techniek beschikbaar is die kan worden ingezet als snelle meetmethode is het aan te bevelen om te testen of met (delen van de) optische technieken, zoals aanwezig in de Inspector Mobiel, de samenstelling en voederwaarde van kuil kan worden gemeten.

Tabel 17 Beoordeling en selectie van relevante beschikbare technieken.

Toepassing voor bepaling van	Te meten variabelen	Techniek	Horizon (in jaren)	Op bedrijf toepasbaar (B) of als service (S)***	Informatie kwalitatief (1) of kwantitatief (2)	Snelheid	Nauwkeurigheid	Specialisme vereist (J = ja, N=nee)	Robuust	Nationaal (N)/ internationaal (I)	Kosten techniek	Onderhoudsgevoelig
Moment van inscharen / oogst gras	Drogestof-gehalte	Optisch punt*	5	B	2	+	+	N	+	I	+	+
		RGB/Spect**	5	B		+	+	N	0		0	0
		Spectroscopie	5	S		0	0	J	-		-	-
		NIRS	5	S		-	0	J	0		-	-
	Hoeveelheid	Optisch punt*	5	B	2	+	+	N	+	I	+	+
		RGB/Spect**	5	S		+	+	N	+		0	+
Spectroscopie		5	S	0		0	J	-	-		-	
Gebruik toevoegmiddel	Drogestof-gehalte	Optisch punt*	5	B	2	+	+	N	+	I	+	+
		RGB/Spect**	5	B		+	+	N	0		-	-
Samenstelling, voederwaarde vers gras op veld	Inhoudsstoffen	Spectroscopie	5-7	S	2	0	+	J	-	I	-	-
		RGB/Spect**	5	B		0	0	N	0		0	0
		Raman	>10	B		+	+	N	0		0	0
Samenstelling, voederwaarde kuil	Inhoudsstoffen	Spectroscopie	5-7	S	2	0	+	J	-	I	-	-
		Raman	>10	B		+	+	N	0		0	0

* Optische puntmeting

** Combinatie van RGB-camera en spectrofotometer

*** In combinatie met oogstmachines in loonwerk wordt ook als service aangemerkt

+ = positief (b.v. kosten + betekent goede score = goedkoop)

0 = neutraal

- = negatief

5 Vervolg

Dit rapport geeft een overzicht van de technieken waarvan het de moeite waard is om concepten op te stellen waarmee het bedrijfsleven meetinstrumenten voor snelle meetmethoden kan gaan bouwen. Concreet gaat het hierbij op de korte termijn om bepaling van biomassa en drogestof op het veld, en bepaling van het vochtgehalte op het veld en bij de oogst (bijvoorbeeld ten behoeve van een goed conserveringsproces). Op de middellange termijn is ook de bepaling van inhoudsstoffen (ook van de kuil) interessant.

Voor het verder ontwikkelen van de concepten, waarin specificaties en mogelijkheden van een eenvoudig meetinstrument voor een praktische toepassing beschreven staan, is het nodig de beschikbare technieken te testen op het melkveehouderijbedrijf. Niet alleen de technische aspecten en de meetnauwkeurigheid behoeven dan de aandacht, maar ook het inpassen van het meetinstrument in de bedrijfsvoering van het melkveehouderijbedrijf. Voor het gebruik van de melkveehouder is het belangrijk dat het meetinstrument aansluit bij het management dat hij toepast op zijn bedrijf en dat het gebruik van een instrument past binnen de overige werkzaamheden.

Op basis van de resultaten van dit rapport wordt voor het verder ontwikkelen van de concepten met de meest geschikte technieken een projectvoorstel geschreven. In het voorjaar van 2005 besluit de Commissie Melkveehouderij van het Productschap Zuivel of het voorgestelde vervolgproject kan starten.

Bijlagen

Bijlage 1 Instrumenten voor het graslandmanagement van de veehouder*

instrumenten	website
Beregeningswijzer	http://www.pv.wur.nl/
Beweidingswijzer	http://www.pv.wur.nl/
Economie van beregenen op maat	http://www.pv.wur.nl/
Herinzaaiwijzer	http://www.pv.wur.nl/
Graslandgebruikswijzer	http://www.pv.wur.nl/
Inpasbaarbeid beheersgrasland	http://www.pv.wur.nl/
Melk ureumwijzer	http://www.pv.wur.nl/
Nitraat uitspoelings Reductieplanner	http://www.pv.wur.nl/
Stikstofbemestingsadvies grasland	http://www.pv.wur.nl/
Stikstofjaarwijzer	http://www.pv.wur.nl/
Grasmonitor ABCTA	http://www.abcta.nl/content/NL/105
Prognosemodel Hendrix-UTD	www.grasnet.nl
Grazemore Research Project	www.arini.co.uk/grazemore
Nutrinorm	http://www.nutrinorm.nl/
BAP-grasland	http://www.agrovision.nl/producten/bapgrasland/info.html

* Het is mogelijk dat deze lijst niet uitputtend is

Bijlage 2 Informatie van satellieten

Sinds de komst van satellieten als IKONOS-2, QUICKBIRD, Orbview-4 en EROS-A is de spatiële resolutie van ca. 30 m² (Landsat 4 en 5 TM) gereduceerd tot ongeveer 1 m². De meeste satellieten onderscheiden vier spectrale banden. Daarnaast kunnen met de Orbview-4 hyperspectrale opnamen worden gemaakt, maar alleen met een resolutie van 8 m, zodat per ha slechts 156 meetpunten beschikbaar zijn. De hyperspectrale opnamen worden gekenmerkt door een spectrale resolutie van 5 nm bij de korte golflengten tot 17 nm bij de lange golflengten. Het golflengtebereik loopt vaak van 250 nm tot 2500 nm. Enkele satellieten, zoals de MODIS, zijn tevens voorzien van een thermisch infrarode (TIR) band, waarvan het golflengtebereik loopt van 8000 – 12000 nm. Ook kunnen satellieten uitgerust worden met een opnamevoorziening voor 3000 – 5000 nm. De mogelijkheden die deze satellieten voor de landbouw kunnen bieden worden uitgebreid beschreven door Thenkabail (*Thenkabail et al, 2003*) in het International Journal of Remote Sensing. Naast de satellietopnamen wordt (vrijwel) gelijktijdig een (redelijk omvangrijk) aantal 'ground-truth' metingen gedaan. Bij deze veldmetingen worden karakteristieken als leaf area index(LAI), natte biomassa, droge biomassa, planthoogte, grondbedekking(%), ruw eiwit(%), stikstof(%), vochtgehalte en groeistadium gemeten (*Thenkabail et al, 2002*). Na het koppelen van de gegevens van de veldmetingen aan de bijbehorende satellietopname wordt het mogelijk om gewaskarakteristieken in te schatten van een groter gebied met dezelfde gewassen en omstandigheden. Verschillen binnen en tussen velden in opbrengst kunnen goed in kaart gebracht worden, zoals verschil in grondbedekkingspercentage, LAI en opbrengst.

De potentie van deze techniek (remote sensing vanuit satelliet of vliegtuig) is groot als men verschillen tussen bedrijven (op Nederlandse schaal), tussen akkers met hetzelfde gewas en binnen akkers zichtbaar wil maken. Een spatiële resolutie van ca. 1 m² in combinatie met een veelheid aan spectrale banden mag in de nabije toekomst verwacht worden. Hierbij kan gedacht worden aan een bemestingsadvies. Ook het in kaart brengen van onkruiddruk en ziektedruk kan op den duur mogelijk tot bestrijdingsadviezen (herbiciden, pesticiden) leiden. Er blijft echter dure 'ground-truth' activiteit noodzakelijk.

Voor een overzicht van de belangrijkste satellieten en de daarin gebruikte meetsystemen is een overzicht beschikbaar (*Meuleman et al, 2004*).

Bijlage 3 Absorptieeigenschappen in zichtbaar en NIR-gebied en chemische bestanddelen*(naar Curran, 1989 in Ritchie, 2003)*

(nm)	Electron Transition or Bond Vibration	Chemical(s)	Detection Considerations
430	Electron Transition	Chlorophyll a	Atmospheric Scattering
460	Electron Transition	Chlorophyll b	
640	Electron Transition	Chlorophyll b	
660	Electron Transition	Chlorophyll a	
910	C-H stretch, 3 rd overtone	Protein	
930	C-H stretch, 3 rd overtone	Oil	
970	O-H stretch, 1 st overtone	Water, starch	
990	O-H stretch, 2 nd overtone	Starch	
1020	N-H stretch	Protein	
1040	C-H stretch / C-H deformation	Oil	
1120	C-H stretch, 2 nd overtone	Lignin	
1200	O-H bend, 1 st overtone	Starch, sugar, lignin, water	
1400	O-H bend, 1 st overtone	Water	
1420	C-H stretch / C-H deformation	Lignin	
1450	O-H stretch, 1 st overtone / C-H stretch / C-H deformation	Starch, sugar, lignin, water	
1490	O-H stretch, 1 st overtone	Cellulose, sugar	
1510	N-H stretch, 1 st overtone	Protein, nitrogen	
1530	O-H stretch, 1 st overtone	Starch	
1540	O-H stretch, 1 st overtone	Starch, cellulose	
1580	O-H stretch, 1 st overtone	Starch, sugar	
1690	C-H stretch, 1 st overtone	Lignin, starch, protein, nitrogen	
1780	C-H stretch, 1 st overtone / O-H stretch / H-O-H deformation	Cellulose, sugar, starch	
1820	O-H stretch / C-O stretch, 2 nd overtone	Cellulose	
1900	O-H stretch / C-O stretch	Starch	
1940	O-H stretch / O-H deformation	Water, lignin, protein, nitrogen, starch, cellulose	Atmospheric absorption
1960	O-H stretch / O-H bend	Sugar, starch	
1980	N-H asymmetry	Protein	
2000	O-H deformation / C-O deformation	Starch	
2060	N=H bend, 2 nd overtone / N=H bend / N-H stretch	Protein, nitrogen	
2080	O-H stretch / O-H bend	Sugar, starch	
2100	O=H bend / C-O stretch / C-O-C stretch, 3 rd overtone	Starch, cellulose	
2130	N-H stretch	Protein	
2180	N-H bend, 2nd overtone / C-H stretch / C-O stretch / C=O stretch / C-N stretch	Protein, nitrogen	
2240	C-H stretch	Protein	
2250	O-H stretch / O-H deformation	Starch	Rapid signal-to-noise decrease of detectors
2270	C-H stretch / O-H stretch / CH ₂ bend / CH ₂ stretch	Cellulose, sugar, starch	
2280	C-H stretch / CH ₂ deformation	Starch, cellulose	
2300	N-H stretch / C=O stretch / C-H bend	Protein, nitrogen	
2310	C-H bend, 2 nd overtone	Oil	
2320	C-H stretch / CH ₂ deformation	Starch	
2340	C-H stretch / O-H deformation / C-H deformation / O-H stretch	Cellulose	
2350	CH ₂ bend, 2 nd overtone / C-H deformation, 2 nd overtone	Cellulose, protein, nitrogen	

Bijlage 4 Golf lengten van de belangrijkste absorptiebanden van enkele organische bestanddelen (naar Williams, 1987)

Eiwit	Zetmeel	Olie	Water	Cellulose (droog)	Zetmeel (droog)
708 w	614 w b	660 w b	718 f b	678 w b	610 f b
808 w	758 w b	758 f b	758 f	758 f b	754 f b
868 w	914 f b	816 w b	810 w b	816 w b	820 w b
908 f b	986 f	928 f	894 w b	914 w b	914 f b
982 w b	1160 w	1042 f b	964 f b	982 f b	980 f b
1018 f b	1200 f	1162 f	1116 w	1004 w b	1062 w b
1140 w	1268 w	1210 w	1154 w	1156 w	1204 f
1186 f	1360 w	1390 f	1410 s	1216 f	1272 w
1276 w	1432 s	1410 f	1460 s	1272 w	1360 f
1360 w	1584 f	1724 s	1778 w	1364 s	1432 s
1428 f	1700 f	1762 s	1906 s	1428 vs	1574 w
1454 w	1750 w	1896 f	2208 w	1488 f	1700 f
1498 f	1780 f	1932 f		1588 f	1750 w
1578 w	1826 w	2008 f		1636 vw	1784 w
1628 vw	1928 s c	2120 f		1702 f	1830 w
1692 s	2094 s	2144 w		1768 w	1910 w
1734 s	2188 w	2270 f		1828 f	2044 f
1798 w	2282 s	2306 s		1918 f c	2094 f
1824 w	2318 s	2346 s		2054 s sh	2180 w
1930 s	2370 f	2384 f		2076 s	2282 s
1978 s	2474 f			2104 s	2322 s
2054 s				2188 vw	2446 s
2108 w				2270 s	2478 f
2172 s				2332 vs	
2202 f sh				2480 vs	
2274 s					
2308 f					
2346 f					
2380 w					
2418 w					
2466 s					

s = strong

f = fair

w = weak

vs = very strong

vw = very weak

sh = shoulder;

b = third or fourth overtone and relatively good absorbers

c = probably water

Bijlage 5 Enquête

Goeden..... u spreekt met van het Praktijkonderzoek van de Animal Sciences Group van Wageningen UR, in Lelystad. Ongeveer een week geleden heeft u van ons een brief over het onderzoek naar grasland- en voermanagement ontvangen. Hierin is gemeld dat we een telefonische enquête gaan starten. Ik zou deze nu graag telefonisch afnemen. Het zal ongeveer 15 minuten duren.

Bemesting

- 1 Laat u uw mest voor eigen gebruik bemonsteren?
- Ja, ga door met vraag 2
 - Nee, ga door met vraag 3

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v1	1 = a
	2 = b

- 2 Hoe vaak bemonstert u per jaar?

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	antwoordmogelijkheid
v2	numeriek veld waar het aantal in staat

- 3 Maakt u bij de voorjaarsbemesting onderscheid in het aantal kuubs drijfmest voor een maai- of weidesnede?
- Ja
 - Nee
 - Geen mening

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v3	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 4 Maakt u voor de hoogte van de aanvullende kunstmestgift onderscheid tussen een weide- of maaisnede?
- Ja
 - Nee
 - Geen mening

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v4	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 5 Als de graslandopbrengst afwijkt van de verwachte opbrengst, wat is daarvan de oorzaak? Meer antwoorden mogelijk
- Geen afwijking
 - Het weer
 - Verkeerde inschatting
 - Grasland niet berijdbaar
 - Anders, nl.

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v5_1	1 = a
v5_2	1 = b
v5_3	1 = c
v5_4	1 = d
v5_5	1 = e
v5a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 6 Denkt u de afstemming van de bemesting in relatie tot de grasopbrengst te kunnen verbeteren?
- Ja, ga door met vraag 8
 - Nee, ga door met vraag 7
 - Weet niet, ga door met vraag 9

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v6	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 7 Waarom denkt u de afstemming niet te kunnen verbeteren? <<antwoorden oplezen>>
- Niet voldoende hulpmiddelen
 - Geen tijd
 - Kosten
 - Geen interesse
 - Anders, nl.

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v7	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
	5 = e
	6 = f
v7a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 8 Wat is voor u de belangrijkste reden om de afstemming tussen bemesting en drogestofopbrengst te willen verbeteren? <<antwoorden oplezen>> één belangrijkste
- Betere mineralenbenutting
 - Betere voederwaarde
 - Betere opname door het vee
 - Betere gezondheid van het vee
 - Minder weide- en veldverliezen
 - Anders, nl...

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v8	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
	5 = e
v8a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

Grasteelt

- 9 Gebruikt u een hulpmiddel bij het bepalen van uw graslandopbrengst?
- Ja, grashoogtemeter
 - Ja, ander hulpmiddel
 - Nee
 - Weet niet
 - Anders, nl

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v9	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
	5 = e
v9a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 10 Waarom wilt u de drogestofopbrengst weten?
- Om de groeisnelheid van gras te kennen
 - Om te gebruiken als invoercijfer in het graslandmanagementsysteem
 - Om het juiste tijdstip van inscharen te kunnen bepalen
 - Om het juiste tijdstip van maaien te kunnen bepalen
 - Combinatie van bovenstaande
 - Wil ik niet weten
 - Anders, nl.....

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v10	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
	5 = e
	6 = f
	7 = g
v10a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

Weiden

- 11 Welk beweidingstelsel hanteert u? <<antwoorden oplezen>>
- Omweiden
 - Standweiden
 - Zomerstalvoeding
 - Summerfeeding <<het hele jaar kuilvoer (ingekuild gras en maïs, etc.) voeren >> Ga naar vraag 14
 - Rantsoenbeweiding <<schrikdraad 1 of 2 maal daags verzetten; koeien lopen op reeds beweide gras>>
 - Stripgrazing << schrikdraad verzetten; koeien grazen alleen op nieuw gras>>

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v11	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
	5 = e
	6 = f

- 12 Welke criteria hanteert u bij het inscharen van melkvee en ook bij maaien?
- Reeds toegediende mestgiften
 - Hoogte gras m.b.v. grashoogtemeter
 - Schatting van drogestofopbrengst door uzelf
 - Tijdstip vorige maai- of weidesnede
 - Combinatie van bovenstaande
 - Anders
 - Geen criteria

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v12	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
	5 = e
	6 = f
	7 = g

- 13 Bij hoeveel kilogram droge stof schaart u de koeien in?
- < 1200
 - 1201-1700
 - >1700
 - Twee vuisten hoog
 - Laarshoogte
 - Weet niet
 - Anders, nl ..

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v13	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
	5 = e
	6 = f
	7 = g
v13a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

Maaien

- 14 Welk criterium (criteria) heeft (hebben) na het weer de grootste invloed op het tijdstip van maaien?
Antwoorden oplezen; één antwoord mogelijk
- Groeitrappen aanleggen
 - Grashoogte
 - Gegeven N-gift
 - Berijdbaarheid bodem
 - Het plannen van de beweiding << maaien in dienst van de beweiding>>
 - Drogestofopbrengst
 - Anders, nl.

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v14	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
	5 = e
	6 = f
	7 = g
v14a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 15 Indien via satellietbeelden informatie over de grasopbrengst van uw percelen te verkrijgen zou zijn, zou u de informatie gebruiken?
- Ja
 - Nee
 - Weet nog niet

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v15	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 16 Indien er een snel een gemakkelijk hanteerbaar apparaat beschikbaar komt voor bepaling van de drogestofopbrengst van vers gras, gaat u dit apparaat dan gebruiken?
- Ja, ga door met vraag 17
 - Nee, ga door met vraag 19
 - Weet niet, ga door met vraag 19

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v16	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 17 Als er een snelle meetmethode zou zijn voor het bepalen van de drogestofopbrengst van vers gras hoe snel wilt u daar dan over beschikken? <<antwoorden oplezen>>
- Binnen 5 minuten
 - Binnen een uur
 - Binnen een halve dag
 - Binnen een dag
 - Anders, nl.....

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v17	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
	5 = e
v17a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 18 Als er een snelle meetmethode zou zijn voor het bepalen van de drogestofopbrengst van vers gras, heeft u hier geld voor over?
- Ja, direct
 - Ja, afhankelijk van de prijs
 - Nee
 - Anders, nl.

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v18	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
v18a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 19 Indien er een snel een gemakkelijk hanteerbaar apparaat beschikbaar komt voor bepaling van de energie- en eiwitwaarden van vers gras, gaat u dit apparaat dan gebruiken?
- Ja, ga door met vraag 20
 - Nee, ga door met vraag 22
 - Weet niet, ga door met vraag 22

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v19	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 20 Als er een snelle meetmethode zou zijn voor de energie- en eiwitwaarden van vers gras, heeft u hier geld voor over? (energie =VEM)
- Ja, direct
 - Ja, afhankelijk van de prijs
 - Nee
 - Anders, nl.

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v20	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
v20a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 21 Hoe snel wilt u de energie- en eiwitwaarden waarden tot uw beschikking hebben? <<antwoorden oplezen>>
- Binnen 5 minuten
 - Binnen een uur
 - Binnen een halve dag
 - Binnen een dag
 - Anders, nl.....

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v21	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
	5 = e
v21a	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 21a Kuilt u in met een toevoegmiddel? << zuur, melasse, bacteriepreparaat>>
- Ja, ga door met vr 2
 - Nee
 - Soms, ga door met vr 2

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v21aa	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 21b Waarop let u als u een toevoegmiddel gebruikt?
- Het drogestofgehalte van gras
 - Het suikergehalte van gras
 - Anders, nl.
 - Weet niet

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v21b	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
v21ba	tekstveld : met beschrijving waarom anders

Vervoederen

- 22 Voert u de melkkoeien volgens een vooraf berekend rantsoen?
- Ja
 - Nee
 - Weet niet

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v22	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 23 Weegt u regelmatig de verschillende ruwvoersoorten?
- Ja
 - Nee
 - Weet niet

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v23	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 24 Als er een snelle meetmethode zou zijn voor het bepalen van de te verstrekken hoeveelheid drogestof aan kuilvoer, heeft u hier geld voor over?
- Ja, direct
 - Ja, afhankelijk van de prijs
 - Nee
 - Anders, nl.

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v24	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
v24	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 25 Als er een snelle meetmethode zou zijn voor het bepalen van de energie- en eiwitwaarden van kuilvoer, heeft u hier geld voor over?
- Ja, direct
 - Ja, afhankelijk van de prijs
 - Nee
 - Anders, nl.

In systeem verwerkt als:	
--------------------------	--

vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v25	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
v25	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 26 Hoe vaak wilt u over de voederwaardecijfers van kuilvoer beschikken? <<antwoorden oplezen>>
- Elke dag
 - Twee keer per week
 - Één keer per week
 - Anders, nl

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v26	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d
v26	tekstveld : met beschrijving waarom anders

- 27 Gaat u de voederwaardecijfers gebruiken voor de rantsoenberekening als deze op een snelle manier zijn gemeten?
- Ja
 - Nee
 - Weet niet

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v27	1 = a
	2 = b
	3 = c

algemene vragen

- 28 Heeft u een volledig melkveebedrijf of een gemengd bedrijf? << één tak of meer>>
- Melkveebedrijf
 - Gemengd bedrijf, nl. melkvee + varkens/kippen/akkerbouw/toerisme/overig

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v28	1 = a
	2 = b

- 29 Denkt u dat uw bedrijf over 10 jaar nog bestaat?
- Ja, ga door met vraag 30
 - Nee, ga door met vraag 31
 - Weet niet, ga door met vraag 30

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v29	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 30 Heeft u een bedrijfsopvolger?
- Ja
 - Nee
 - Weet (nog) niet

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v30	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 31 Hoeveel melkkoeien heeft u op uw bedrijf?

...

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v31	numeriek veld met het aantal

- 32 Hoeveel hectare grasland ten behoeve van melk- en jongvee heeft u voor uw bedrijfsvoering?

.....

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v32	numeriek veld met het aantal

- 33 Hoeveel hectare voedergewassen, anders dan gras, ten behoeve van melk- en jongvee heeft u voor uw bedrijfsvoering?

.....

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v33	numeriek veld met het aantal

- 34 Doet u aan planning van het graslandgebruik?
- Ja
 - Nee
 - Weet niet

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v34	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 35 Maakt u gebruik van een managementsysteem (bijv. COMVEE, AGIS) op uw bedrijf?
- Nee, ga door met vraag 36
 - Ja, ga door met vraag 37
 - Weet niet, ga door met vraag 36

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v35	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 36 Denkt u in de toekomst gebruik te gaan maken van een managementsysteem?
- Ja
 - Nee
 - Weet niet

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v36	1 = a
	2 = b
	3 = c

- 37 Wat is uw opleiding?
- MBO
 - HBO
 - Universitair
 - Overig

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v37	1 = a
	2 = b
	3 = c
	4 = d

- 38 Mag ik vragen naar uw leeftijd?
.....

In systeem verwerkt als:	
vraagnr	nummer = antwoordmogelijkheid
v38	numeriek veld met het aantal

Hartelijk dank voor uw medewerking!

Bijlage 6 Toegezonden brief

Geachte heer/mevrouw,

Het is mogelijk dat u in de komende week/weken wordt gebeld door ons met de vraag of u wilt meewerken aan een enquête, waarin aspecten van grasland- en voermanagement aan de orde komen.

Graag vragen wij daarvoor uw medewerking.

Onderzoek naar grasland- en voermanagement

U als veehouder staat dagelijks voor veel beslissingen. Wanneer maai ik het gras? Op welk moment schaar ik mijn melkkoeien in? Zal ik kuilanalyses nemen? En zo ja, hoe frequent en wanneer? Hoeveel krachtvoer moet ik voeren? Hierbij kunt u soms gebruik maken van een aantal hulpmiddelen. Voor het bepalen van de samenstelling van mest, vers gras en graskuil kunt u een analyse laten uitvoeren. Voor het bepalen van de drogestofopbrengst van het grasland kunt u de grashoogtemeter gebruiken of op uw ervaring de drogestofopbrengst inschatten.

Dankzij de voortschrijdende techniek zijn de laatste jaren diverse nieuwe meetmethoden ontwikkeld en soms al in onderzoek toegepast. Deze enquête is vertrekpunt van een project dat tot doel heeft om hulpmiddelen bij het graslandmanagement en de veevoeding voor de boer (agrarische ondernemer) toepasbaar te maken. We gaan daarbij uit van de behoefte van de agrarische praktijk, waarbij het snel kunnen beschikken over de droge stof en de voederwaarde van gras en graskuil steeds belangrijker wordt.

Het project waarvan deze enquête onderdeel is, wordt gefinancierd door het Productschap Zuivel en uitgevoerd door medewerkers van drie instituten van Wageningen UR.

Telefonische vragenlijst

De beantwoording van de vragenlijst zal maximaal 15 minuten duren. Naast algemene bedrijfsgegevens en aspecten over bemesting, grasland en kuilvoer, vragen we u enkele bedrijfsgetallen over 2003. Als dit niet mogelijk is graag de bedrijfsgetallen van 2002.

Uiteraard zullen wij uw gegevens anoniem verwerken.

Wat levert het op?

De resultaten van de enquête zullen vermeld worden in een rapport dat omstreeks 15 november 2004 is in te zien op de website van het Praktijkonderzoek van Wageningen UR: www.asg.wur.nl/po. Hopelijk lukt het om de ontwikkeling van enkele hulpmiddelen in gang te zetten.

We hopen u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd. Mocht u nog vragen of suggesties hebben, dan kunt u contact opnemen met ondergetekende.

Met vriendelijke groet,

G.J. Kasper,
Onderzoeker Grasland en voedergewassen
Tel. : 0320-293414
e-mail : gerrit.kasper@wur.nl

Bijlage 7 Frequentietabellen**Tabel 18** Invloed van het maken van een graslandplanning en rantsoenberekening en beweidingssysteem op de behoefte aan verschillende meetmethoden. Aantal ondernemers dat wel of geen (wel / geen) behoefte heeft aan een snelle meetmethode. De aantallen antwoorden “weet niet” in andere tabellen zijn m.b.v. tabel 18 terug te rekenen.

Meetmethode	Graslandplanning		Rantsoenberekening		Beweidingssysteem*					
	Ja	Nee	Ja	Nee	O	Stan	Z	Sum	R	Str
Satellietinformatie (vraag 15)	122/97	90/118	182/153	32/64	127/124	27/42	8/10	20/16	26/22	5/3
Graslandopbrengst (vraag 16)	126/103	86/133	173/175	40/63	131/135	27/43	9/9	16/23	24/24	5/4
Eiwit en energie van vers gras (vraag 19)	175/61	120/106	241/121	54/49	182/94	45/28	10/6	19/18	32/20	7/4
Hoeveelheid kuilvoer** (vraag 24)	106/141	91/146	169/210	29/79	122/168	23/51	8/11	17/24	22/30	5/6
Energie en eiwit van kuilvoer*** (vraag 25)	165/86	124/112	239/142	52/57	182/107	35/40	12/7	27/15	28/26	6/5

- * O=Omweiden, Stan=Standweiden, Z=Zomerstalvoeren, Sum=summerfeeding, R=Rantsoenweiden, Str=Stripgrazen
 ** Verschillende aantallen antwoorden komen voort uit antwoorden “weet niet”
 *** Antwoorden “Ja” en “Ja, afhankelijk van prijs” zijn vertaald als “er is behoefte aan”, “Nee” is vertaald als “geen behoefte aan”

Tabel 19 Invloed van bedrijfsomvang, leeftijd van de ondernemer en intensiteit op de behoefte aan meetmethoden. Aantal ondernemers dat wel of geen (wel / geen) behoefte heeft aan meetmethode. De aantallen antwoorden "weet niet" zijn m.b.v tabel 18 terug te rekenen

Meetmethode	Gebied	Aantal melkkoeien												Leeftijd ondernemer					Intensiteit (melkkoeien/ha)				
		1	2	3	4	5	0-30	30-60	60-90	90-120	>120	0-30	30-40	40-50	50-60	60-70	<1.0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	>2,5		
Satellietinformatie (vraag 15)	40 / 49	60 / 60	34 / 41	44 / 27	36 / 40	25 / 27	79 / 96	74 / 60	25 / 24	11 / 9	14 / 8	69 / 54	68 / 83	45 / 56	18 / 15	12 / 17	64 / 68	101 / 97	26 / 23	11 / 11			
Graslandopbrengst (vraag 16)	49	58 / 59	37 / 46	42 / 37	30 / 47	21 / 35	92 / 93	65 / 74	25 / 24	10 / 11	15 / 10	60 / 65	70 / 91	50 / 53	18 / 18	16 / 16	61 / 75	97 / 111	30 / 21	9 / 15			
Eiwit en energie van vers gras (vraag 19)	61 / 34	82 / 39	46 / 38	59 / 26	48 / 33	26 / 30	128 / 71	96 / 45	34 / 15	12 / 8	22 / 13	84 / 46	97 / 67	70 / 38	23 / 15	17 / 14	93 / 51	139 / 79	33 / 17	14 / 8			
Hoeveelheid kuilvoer** (vraag 24)	36 / 61	60 / 71	33 / 58	40 / 47	29 / 53	16 / 45	82 / 123	64 / 83	22 / 30	13 / 9	11 / 15	56 / 81	72 / 106	42 / 67	16 / 21	11 / 20	57 / 92	92 / 138	25 / 27	12 / 13			
Energie en eiwit van kuilvoer*** (vraag 25)	66 / 34	82 / 49	53 / 36	49 / 38	41 / 43	24 / 37	123 / 81	94 / 56	35 / 18	14 / 8	17 / 8	83 / 53	110 / 68	59 / 53	21 / 18	13 / 19	95 / 55	139 / 90	29 / 25	14 / 11			

* Verschillende aantallen antwoorden komen voort uit antwoorden "weet niet"

** Antwoorden "Ja" en "Ja, afhankelijk van prijs" zijn vertaald als "er is behoefte aan", "Nee" is vertaald als "geen behoefte aan"

Tabel 20 Aantal volledig ingevulde antwoorden per combinatie van 2 vragen

Meetmethode	Graslandplanning	Rantsoenberekening	Beweidingsstelsel	Gebied	Aantal melkkoeien	Leeftijd ondernemer	Intensiteit
Satellietinformatie (vraag 15)	496	495	495	496	496	496	496
Graslandopbrengst (vraag 16)	498	498	497	498	498	498	498
Eiwit en energie van vers gras (vraag 19)	498	498	497	498	498	498	498
Hoeveelheid kuilvoer (vraag 24)	497	497	496	497	497	497	497
Energie en eiwit van kuilvoer (vraag 25)	497	497	496	497	497	497	497

Bijlage 8 Factoren voor product specificatie en ontwerp (Naar Pugh, 1991)

Factor	Typische vraag
1. Performance	Meet planten(delen) of plant plus omgeving Snelheid, geschikt voor on-line of off-line Meet grootheden direct/indirect
2. Omgeving	Werkt in zonlicht, afgeschermd. Gevoelig voor stof, regen, breuk Ervaring / training nodig voor gebruik
3. Levensduur	Aantal jaren
4. Onderhoud	Onderhoudsgevoeligheid Is regulair onderhoud nodig / gewenst Bestaat er een onderhoudsnetwerk
5. Kosten product	Wat heeft de markt er voor over (1) Wat levert het product de gebruiker op (2) Kan het voor die prijs gemaakt worden voor een prijs binnen de grenzen van (1) of (2)
6. Verpakking, verzending, Installatie	Is verpakking vereist? Kosten ervan. Vraagt versturen of installeren speciale eisen.
7. Nationaal/Internationaal	Alleen voor thuismarkt of ook internationaal van belang
8. Kwaliteit m.b.t. productie	Massa, batch of stuks productie. Zijn productie faciliteiten aanwezig of moet erin geïnvesteerd worden
9. Afmetingen en gewicht	Te licht, te zwaar, te groot, te klein
10. Esthetisch / voorkomen	Ziet het product er aantrekkelijk uit in ogen klant
11. Materiaal	Zijn er beperkingen t.a.v. materiaal gebruik
12. Levensverwachting	Wat is de economische levensduur van het product. Komen er vervangende producten
13. Standaards en specificaties	Moet het product voldoen aan (inter)nationale standaards
14. Ergonomie	Kan de gebruiker en gemakkelijk mee omgaan. Bedieningseenvoud/complexiteit. Instelbaarheid. Storingsgevoeligheid. Koppelbaar met standaard software componenten. Beschrijf de interactie product – gebruiker
15. Gebruiker	Functionele voorkeuren / wensen gebruiker
16. Concurrentiepositie.	Aard en omvang nu en in toekomst
17. Kwaliteit / betrouwbaarheid	Meet nauwkeurig/kwantitatief of onnauwkeurig/kwalitatief Stabiliteit. Kans op fouten door verkeerd gebruik Risico fouten: 1 kosten o.a. fouten verkeerd gebruik Risico fouten: 2 kosten o.a. nauwkeurigheidfouten
18. Houdbaarheid	Kan een grote serie opgezet worden of is dit riskant i.v.m. veranderende eisen / wensen vanuit de markt of door verwachte innovaties
19. Productie proces	Vereist productie hoog of laag kennisniveau.
20. Testen	Moet elk exemplaar na productie getest worden of is testen van samples voldoende. Zijn speciale testvoorzieningen vereist? Wie keurt het product goed / wat is de procedure van goedkeuring of afkeuring
21. Veiligheid	Verplichte en/of gewenste veiligheidseisen. Wordt de inzetbaarheid beperkt door aspecten van veiligheid?
22. Sector aspecten	Verbeterd het product de concurrentie positie van de sector? Past het product binnen de schaalgrootte van de sector.
23. Markt-aspecten	Is het product integreerbaar t.b.v. management(systeem). Is het product zelfstandig te gebruiken. Kan het product voor gebruik meelopen met een bestaande actie of bewerking? Is het product te integreren in bestaande apparatuur/machines Is de sector gereed voor een sprong in technologie
24. Rechten	Wordt toepassing bemoeilijkt door bestaande patenten Is patentering nodig / gewenst.

Bijlage 9 List of figures

Figure 4 Direct measuring of the EC (Veris, Tech 1999 in www.precisionag.org/html/ch10.html)

Figure 5 Angle of the reflectometer (Künnemeyer et al., 2001)

Figure 6 LED emission spectra and characteristic grass reflection (Künnemeyer et al., 2001)

List of tables

Table 1 Measuring methods and parameters to be measured as to standing or mown grass.

Table 2 Measuring methods and parameters to be measured of ensiled grass

Table 3 Results of conceptual spectroscopy for grassland on peat

Table 4 Results of conceptual spectroscopy for grassland on clay and sandy soil

Table 5 Results of the FW sensor for grassland on peat

Table 6 Calibration and validation results of the spectrophotometer (FW sensor) with the “sand and clay” dataset

Table 7 Mean prediction error (RMSEP) for the “peat” and “sand and clay” datasets of different sensors in combination with the 3CCD sensor

Table 8 Distribution of groups of farmers over the regions

Table 9 Characteristics of entrepreneurs and farms: percentages of all responses to the question concerned

Table 10 Averages and characteristics per cluster

Table 11 Averages and characteristics per region

Table 12 Characteristics of grassland and farm management: percentages of all responses to the question concerned

Table 13 Need for quick measuring methods: percentages of the responses to

Table 14 Percentage of the number of entrepreneurs who need a measuring method (in which entrepreneurs who have responded with “do not know” were left out) for different “clusters” of entrepreneurs

Table 15 Per measuring method the percentage of the number of entrepreneurs who need a measuring method (in which entrepreneurs who have responded with “do not know” were left out) in relation to making use/no use of grassland planning, ration computation and different grazing systems

Table 16 Percentage of the number of entrepreneurs who need a measuring method (in which entrepreneurs who have responded with “do not know” were left out) distinguished as to region (see table 8 for a description of the regions) and classes of the number of dairy cows, age of entrepreneurs and farm intensity

Table 17 Evaluation and selection of relevant available techniques.

Literatuur

- Barthram G.T., 1986.* Experimental techniques: the Hfro Sward Stick. Hill Farming Research Organisation Biennial Report 184-85, p. 29-30
- Beldman, A.C.G., 1997.* Management op duurzame melkveebedrijven. MDM publicatie 6, Praktijkonderzoek PR, Lelystad, 119 pp.
- Carton, O.T. and J.J. Lenehan, 1997.* Optimal use of animal slurries for input reduction and protection of the environment in sustainable agricultural systems, SWAMP (Sustainable Waste Application Management Project), final report of EU project AIR-CT 94 1276, 292 pp
- Cheng-Wen Chang, David A. Laird, Maurice J. Mausbach and Charles R. Hurburgh, Jr., (2001).* Near-Infrared Reflectance Spectroscopy-Principal Components Regression Analysis of Soil Properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 480-490 (2001)
- Den Boer, D.J., R.F. Bakker en W.N. Vergeer, 2002.* Minder verliezen door betere benutting. Bemesting 'Koeien & Kansen 1999-2001. Koeien & Kansen Rapport 13, 68 pp
- Doolittle, J.A.; Sudduth, K.A.; Kitchen, N.R.; Indorante, S.J., 1994.* Estimating depths to claypans using electromagnetic induction methods, J. Soil and Water Conservation. 49(6)572-575, November/December, 1994.
- Duru M. & L. Bossuet, 1992.* Estimating herbage mass by the Sward Stick method. Preliminary results. Fourrages. No.131, p. 283-300.
- Early D.F. & A.A. McGowan, 1979.* Evaluation and calibration of an automated rising plate meter for estimating dry matter yield of pasture. Austr. J. Exp. Anim. Husb. 19, p. 337-343
- Givens, D.I., Moss, A.R., Baker, C.W., and Adamson, A.H. (1992).* Influence of growth type and season on the prediction of the metabolisable energy content of herbage by near infrared reflectance spectroscopy. Animal Feed Science and Technology 37, 281-296.
- Ehsani, M.R.; Upadhyaya, S.K.; Slaughter, D.; Shafii, S.; Pelletier, M., 1999.* A NIR technique for rapid determination of soil mineral nitrogen. Precision Agriculture, 1, 27-234, 1999.
- Genstat, 1998.* Genstat 5 Release 4.1, fifth edition. Genstat Committee, Rothamsted. Institute for Arable Crops Research Harpenden, Hertfordshire. Clarendon Press, Oxford, UK.
- Givens, D.I. and E. R. Deaville. (1999).* The current and future role of near infrared reflectance spectroscopy in animal nutrition: a review. Australian Journal of Agricultural Research 50, 1999, 1131 – 1145.
- Gonzalez M.A., M.A. Hussey & B.E. Conrad, 1990.* Plant height, disk and capacitance meters used to estimate Bermuda grass herbage mass. Agronomy Journal 89, p. 861-672
- Groot, J.C.J en M. Stuiver, 2003.* Strooi goed! : bouwstenen voor de verbreding van de 'adviesbasis bemesting grasland en de voedergewassen' anno 2003. Praktijkcijfers (2), Wageningen UR, Wageningen, 87 pp.
- Hogeveen H. & Meijering, 2000.* Robotic milking. Proc. of International Symposium, Lelystad, The Netherlands, 17-20 August 2000. Wageningen Academic Publishers, PO Box 220, NL-6700 AE, Wageningen, The Netherlands, 302pp.
- Hummel, J.W. Gaultney, L.D.; Sudduth, K.A., 1996.* Soil property sensing for site-specific crop management Computers and Electronics in Agriculture 14(1996): 121-136.
- Hutchings N.J., 1991.* Spatial heterogeneity and other sources of variance in sward height as measured by the Sonic and Hfro Sward Sticks. Grass and Forage Science 46, p. 277-282
- Hutchings N.J., 1992.* Factors affecting sonic Sward Stick Measurements - the Effect of different leaf characteristics and the area of sward sampled. Grass and Forage Science 47, p. 153-160

- Kamrunnahar Islam, Balwant Singh and Alex McBratney (2003).* Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible and near-infrared reflectance spectroscopy. Australian Journal of Soil Research, 2003,nr.41, p1101-1114
- Keith D. Shepherd and Markus G. Walsh. (2002).* Development of Reflectance Spectral Libraries for Characterization of Soil Properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: p. 988-998 (2002)
- Künnemeyer, R, P.N. Schaare and M.M. Hanna, 2001.* A simple reflectometer for on-farm pasture assessment. Computers and Electronics in Agriculture 31 (2001) pp 125 - 136
- Lokhorst C. & G.J. Kasper, 1998.* Site specific grassland management: measuring techniques, spatial- and temporal variation in grass yields. VDI berichte 1449, 209-214
- McNeill, J.D., 1980.* Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical note TN-6, Geonics Limited, Mississauga, Ontario, 1980.
- Meuleman, J., J.G. Kornet, G.J. Molema & A.G.T. Schut. (2004).* Beeldvormende spectroscopie in het veld. Technische documentatie. In voorbereiding.
- Meuleman, J & G.J. Molema (2004)* Quickscan naar de mogelijkheden van het on-line meten van gewassenmerken voor gewasafhankelijke toediening van gewasbeschermingsmiddelen. In voorbereiding.
- Middelhoek, 1984.* In: Sensors and actuators: research, development and application: proceedings S and A Symposium of the Twente University of Technology, Enschede, the Netherlands, November 1-2, 1984\Bergveld, P.\1984
- Molema G.J., J. Meuleman, J.G. Kornet, A.G.T. Schut & J.J.M.H. Ketelaars, 2003.* A mobile imaging spectroscopy system as tool for crop characterization in agriculture. A. Werner & A. Jarfe (Eds), 4th European conference on precision agriculture, Berlin, p.499-500
- Olson K.C. & R.C. Cochran, 1998.* Radiometry for predicting tallgrass prairie biomass using regression and neural models. Journal of Range Management 51, 186-192
- Oord, L. van & P. Schieven, 2003.* Onderwijsmeter 2003. Een opdracht van het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen, Den Haag.
- Paul C., 1991.* Application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for forage evaluation. G. Pahlow&H. Honig (Eds), Forage conservation towards 2000, Braunschweig-Voelkenrode, p. 470
- Paul C., M. Rode & U. Feuerstein, 2000.* From Laboratory to harvester: forage analysis by NIRS diode array instrumentation. K. Sørgaard, C. Ohlsson, J. Sehested, N.J. Hutchings & T. Kristensen (Eds), Grassland farming. Balancing environmental and economic demands, Aalborg, Denmark, 22-25 May 2000, p. 259-261
- Paul C., F. Dietrich & M. Rode, 2002A.* Influence of sample temperature on the assessment of quality characteristics in undried forages by Near Infrared Spectroscopy (NIRS). Landbauforschung Völkenrode 52, p 229-237
- Paul C. & A. Häusler, 2002B.* Developing the NIRS Harvest Line concept for forage trials. J.L. Durand, J.C. Emile, C. Huyghe&G. Lemaire (Eds), Multi-function grasslands, La Rochelle, France, 27-30 May, 2002, p. 464-465
- Pelletier, M.G.; Upadhyaya, S.K.; Slaughter, D.C., 1996.* Sensing soil moisture using NIR spectroscopy, Phoenix, 1996 ASAE meeting.
- Pugh, S.,1991.* Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering, Wokingham: Addison-Wesley, 1991
- Rayburn E.B. & S.B. Rayburn, 1998.* A standardized plate meter for estimating pasture mass in on-farm research trials. Agronomy Journal 90, p. 238-241

- Ritchie, G.L. 2003.* "Use of ground-based canopy reflectance to determine radiation capture, nitrogen and water status, and final yield in wheat" Thesis submitted in partial fulfillment for the requirements of the degree of Master of Science in Plant Science (Crop Physiology) at Utah State University. 143 pp.
- Schut A.G.T., J.J.M.H. Ketelaars, M.M.W.B. Hendriks, J.G. Kornet & C. Lokhorst. 2003.* Comparison of grass sward dry matter yield assessment with imaging spectroscopy, disk plate meter and CropScan, S. Cox (Ed.) Precision Livestock Farming, Berlin, p. 149-154.
- Schut A.G.T., 2003.* Imaging spectroscopy for characterisation of grass swards, Proefschrift, Wageningen University, Wageningen.
- Schut, A.G.T., F.K. van Evert, G.W.A.M. van der Heijden, P. Henstra, J. Meuleman & G.J. Molema. (2005).* Beeldvormende spectroscopie in het veld. Handleiding voor beeldverwerking en dataopslag. Plant Research International, nota 332.
- Schut A.G.T., M.M.W.B. Hendriks, G.W.A.M. Van Der Heijden, F. Van Evert, W. De Visser, M.W.J. Stienezen, I. Hoving, G. Holshof, H.J. Smit, G.J. Molema & J. Meuleman, 2004* (in press). Non-destructive assessment of dry matter yield, nutrient content and feeding value of grass swards with imaging spectroscopy. Seventh International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management. Minneapolis, Minnesota, USA, July 25-28, 2004.
- Shibusawa, Sakae,* Op www.agsci.kvl.dk/~dw/ISTVS/newsletter_Jan2004.html is een vertaling te vinden van het artikel "On-line Real time Soil Sensor" dat Shibusawa enkele jaren daarvoor alleen onder kennissen verspreid heeft. Het artikel is verder alleen in het Japans beschikbaar.
- Sudduth, K.A., J.W. Hummel. 1991.* Evaluations of reflectance methods for soil organic matter sensing. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers.* 34, 4: 1900-1909.
- Sudduth, K.A.; Kitchen, N.R., 1993.* Electromagnetic induction sensing of claypan depth. ASAE international meeting, Chicago, 1993. ASAE number: 931550
- Tamminga, S., A. Bannink, H. Valk, G. André, L. Šebek, G. van Duinkerken en F. Aarts, 2004.* Het melkureumgehalte als voorspeller van N excreties in melkkoeien. Deskstudie in opdracht van LNV, ASG Wageningen/Lelystad rapport in druk.
- Thenkabail, P.S., Smith, R.B., and De Pauw, E, 2002.* Evaluation of narrowband and broadband vegetation indices for determining agricultural crop characteristics. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, p. 607-621.
- Thenkabail, P.S., 2003.* Biophysical and yield information for precision farming from near-real-time and historical Landsat TM image. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, vol. 24, no 14, p. 2879-2904.
- Valk, H., 2002.* Nitrogen and phosphorus supply of dairy cows. Proefschrift, Rijksuniversiteit Utrecht, 204 pp
- Vickery P.J., I.L. Bennett & G.R. Nicol, 1980.* An improved electronic capacitance meter for estimating herbage mass. *Grass and Forage Sci.*, 35, p. 247-252
- Voertaal, 2003.* Voorlichtingsblad van ABCTA maart 2003- jaargang 27, p.11.
- Walraven N. D.A.J. Starmans, 1999.* Ontwikkeling van een prototype veldkit voor de bepaling van het gehalte aan N, P en K in drijfmest. IMAG nota P99-121, ..pp
- Walraven N. D.A.J. Starmans, 1999.* Optimalisatie en realisatie van een marktrijpe veldkit voor de bepaling van het gehalte aan N en P in drijfmest. IMAG nota P99-122.
- Williams, P. & Norris, K. (1987).* Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota. Second edition, 2001.