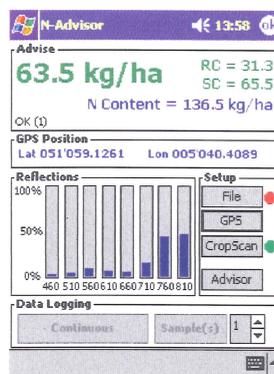




On-line N-bijmestadvisering

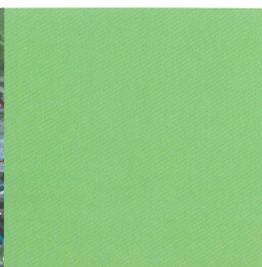
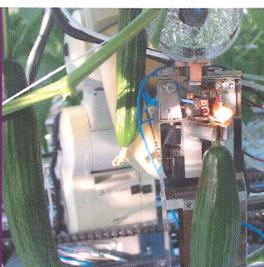
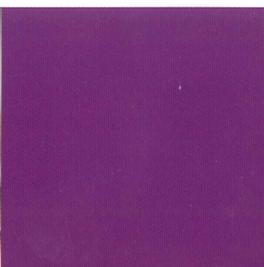
Ontwikkeling en implementatie van een systeem op basis van de CropScan reflectiemeter



Ir. V.T.J.M. Achten¹
Dr. G.J. Molema¹
Ing. E.J.J. Meurs²
D. Uenk²

¹Agrotechnology and Food Innovations (A&F), ²Plant Research International (PRI)

Report 283



On-line N-bijmestadvisering

Ontwikkeling en implementatie van een systeem op basis van de CropScan reflectiemeter

Ir. V.T.J.M. Achten¹

Dr. G.J. Molema¹

Ing. E.J.J. Meurs²

D. Uenk²

¹Agrotechnology and Food Innovations (A&F), ²Plant Research International (PRI)

Rapport 283

Colofon

Dit onderzoek is uitgevoerd voor het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) binnen programma 398-I 'Ontwikkeling van maatregelen om mineralenverliezen te beperken'. Programma 398 beoogt onder meer kennisproducten op te leveren die landbouwbedrijven in staat stellen om te voldoen aan overheidsdoelstellingen om de stikstofbelasting op grond- en oppervlaktewater terug te dringen en tevens handreikingen te bieden om verdergaande normering op bedrijfsniveau mogelijk te maken.

Wageningen, 30 november 2004

Titel	On-line N-bijmestadviesing; Ontwikkeling en Implementatie van een systeem op basis van de CropScan reflectiemeter
Auteur(s)	Achten, V.T.J.M., G.J. Molema, E.J.J. Meurs & D. Uenk
A&F nummer	283
ISBN-nummer	90-6754-849-9
Publicatiedatum	november 2004
Vertrouwelijk	-
Project code.	630.51421.01

Agrotechnology & Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© Agrotechnology & Food Innovations B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.

Dit rapport is goedgekeurd door: J.F.M. Huijsmans



Het kwaliteitsmanagementsysteem van Agrotechnology & Food Innovations B.V. is gecertificeerd door SGS International Certification Services EESV op basis van ISO 9001:2000.

Abstract

As a result of the European nitrogen guidelines farmers are forced to match the nitrogen fertilisation to the requirement of the crop. A tool that enables the farmer to control nitrogen fertilisation would be very useful.

An advisory system is available for additional fertilisation of nitrogen based on the CropScan Multi Spectral Radiometer (MSR). Using the spectral reflection of a crop (*e.g.* potatoes and leek) the reflection characteristic is calculated. This characteristic is related to the nitrogen content of the crop: the so-called nitrogen status. An additional nitrogen fertilisation can be calculated based on the nitrogen status and a mathematic crop model. This CropScan advisory fertilisation system helps the farmer to prevent sub- and supra-optimal nitrogen application.

The advisory system uses the commercially available CropScan system for collecting field data. These data are processed off-line (on a desktop computer) with the aid of a spreadsheet to create a fertilisation advise.

A measurement system for an on-line (in the field) generation of a fertilisation advise, based on the CropScan MSR and models, was developed. This system reduces the time between measurement and advise drastically. Because a Global Positioning System (GPS) is used, the new system is also capable of recording differences in nitrogen status **within** the field, allowing site specific treatment of the crop.

The newly developed system was tested by comparing it to the current system. The results of the measurements show that the on-line system generates comparable results to the 'conventional' system.

Keywords: Fertilisation, Nitrogen, Spectral Reflection, CropScan, GPS

Inhoudsopgave

Abstract	3
1 Inleiding	5
2 Systemeisen	7
3 Componenten	8
3.1 CropScan meetkop	9
3.2 Microcontroller	10
3.3 PDA	11
3.4 DGPS	12
3.5 Meetframe	13
3.6 Accu	13
3.7 Integrale meetsysteem	14
4 Implementatie	15
4.1 Procesbeschrijving	15
4.2 Hoofdscherm	16
4.3 File scherm	17
4.4 GPS scherm	19
4.5 CropScan scherm	20
4.6 Advisor scherm	21
4.7 Output file	22
5 Integrale test	23
5.1 Inleiding	23
5.2 Opzet en uitvoering	23
5.3 Resultaten en discussie	23
5.4 Praktijkervaringen	24
6 Conclusies en aanbevelingen	26
Literatuur	27
Samenvatting	29
Bijlagen	30

1 Inleiding

Gedurende de afgelopen decennia is de productiviteit in de land- en tuinbouw sterk gestegen. In de jaren tachtig werd het de samenleving al steeds meer duidelijk dat deze verhoogde productiviteit gepaard ging met negatieve effecten op het milieu. Emissie van nutriënten, zoals stikstof in de vorm van nitraat, vraagt in dit verband grote aandacht (Vos *et al.*, 1994). De toediening van stikstof in de teelt is vooral een belangrijk maatschappelijk aandachtspunt vanwege de belasting van het grondwater (Schröder, 2000).

Stikstof (N) is een essentieel onderdeel van een gewas. In vergelijking met andere nutriënten reageren vrijwel alle gewassen dan ook sterk op stikstofbemesting, zowel in opbrengst als in kwaliteit (Smit, 1994). Stikstof is daarmee een van de belangrijkste nutriënten.

In het verleden werd de hoogte van de N-gift voornamelijk bepaald op grond van economische motieven (financiële opbrengst per hectare). De relatief lage prijs van stikstofmeststoffen maakte dat zelfs supra-optimale N-giften gerechtvaardigd waren gezien het risico van opbrengst- en kwaliteitsverlies van het gewas bij een te lage gift. De schadelijke gevolgen van te hoge giften werden echter steeds duidelijker: via uitspoeling van de niet-benutte stikstof trad N-verrijking van het oppervlaktewater en de Noordzee op en stegen op veel plaatsen nitraatgehalten in het drinkwater boven de norm van 50 mg per liter (EU, 1980).

Daarom zijn door de overheid concrete doelstellingen geformuleerd om de N-belasting van grond- en oppervlaktewater terug te dringen. De nitraatrichtlijn van de EU (EU, 1980) en de Europese Kaderrichtlijn Water (EU, 2000) zijn ontwikkelingen, waar door telers rekening mee moet worden gehouden.

Telers hebben daarom steeds meer behoefte aan een instrumentarium dat hen in staat stelt om de N-bemesting te sturen en te controleren. Het doel is om overmatige N-bemesting te voorkomen en toch voldoende rendement te halen met betrekking tot opbrengst en productkwaliteit. Er zal dus scherper gestuurd moeten worden, waarbij het risico toeneemt dat er een keer te weinig bemest zal worden. Het instrumentarium moet erop gericht zijn om deze risico's voor de telers beheersbaar te maken.

Dit instrumentarium wordt gebundeld in de term geleide bemesting. Het betreft systemen waarbij de toediening van stikstof als 'verzekeringsstrategie' wordt vervangen door een in tijd en ruimte gedifferentieerde bemesting, teneinde de N-benutting te verbeteren en de emissie van stikstof naar het milieu te minimaliseren (Lokhorst *et al.*, 2003).

Het in tijd differentiëren van bemesting heeft onder meer tot doel de bemesting aan te passen aan de momentane behoefte van het gewas. Het in de ruimte differentiëren van bemesting heeft onder meer tot doel de bemesting aan te passen aan de ruimtelijke variatie van het gewas. Hierbij moet niet alleen gedacht worden aan verschillen tussen percelen, maar ook aan verschillen binnen percelen.

De CropScan reflectiemeter is in de periode 1975-1985 ontwikkeld. Het primaire doel van de ontwikkeling van de CropScan reflectiemeter was om beter zicht te krijgen op plantgezondheid en gewasopbrengst (CropScan Inc., 2003). De CropScan kan worden geleverd met onder meer

een datalogger. Deze datalogger wordt gekoppeld aan de reflectiemeter en is in staat om de gemeten signalen te digitaliseren en op te slaan.

Op basis van de CropScan reflectiemeter zijn systemen ontwikkeld voor N-bijmestadvies in een aantal gewassen, waaronder prei en aardappel (Booij *et al.*, 2001; Booij & Meurs, 2002). Aan de hand van de spectrale reflectie van het gewas wordt een reflectiekaracteristiek van het gewas berekend. Deze vertoont een relatie met de N-inhoud van het gewas, de zogenaamde stikstofstatus. Op grond van deze stikstofstatus en een rekenmodel wordt een N-bijmestadvies geformuleerd voor het gewas. Om reflectiegegevens van het gewas in het veld te verzamelen wordt gebruik gemaakt van het commercieel beschikbare systeem van CropScan. Daarna wordt de verzamelde data (off-line) verwerkt in een spreadsheet tot een N-bijmestadvies.

Nadeel van het systeem is dat niet direct (in het veld) een N-bijmestadvies kan worden gegeven. Naast het ontbreken van de mogelijkheid om on-line een N-bijmestadvies te bepalen kent het huidige ('gangbare') data-acquisitie systeem nog een aantal nadelen:

- het systeem kan de informatie niet plaatsgebonden vastleggen;
- calibratie is bewerkelijk;
- continue metingen zijn niet mogelijk;
- controle op het juist functioneren is in het veld nauwelijks mogelijk. Wanneer de ruwe signaaldata getoond zou kunnen worden tijdens het meten kan een goede indruk verkregen worden over het functioneren van het systeem. Hierdoor kunnen verrassingen (foutieve metingen etc.) bij het verwerken van de data voorkomen worden.

Doel van dit onderzoek is om een meetsysteem te ontwikkelen dat in staat is om on-line de N-status en een N-bijmestadvies van een gewas te bepalen aan de hand van metingen met de CropScan meetkop¹. Daarnaast moet het systeem de hierboven genoemde nadelen van het gangbare systeem ondervangen. De resultaten van het te ontwikkelen systeem moeten vergelijkbaar zijn met die van het gangbare systeem.

In hoofdstuk 2 worden de systeemeisen opgesteld waaraan het te ontwikkelen meetsysteem moet voldoen. Aan de hand hiervan worden de componenten voor het meetsysteem gekozen. Deze worden in hoofdstuk 3 beschreven. De daadwerkelijke integratie van de componenten en het ontwikkelen van de benodigde software wordt beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt een integrale test van het ontwikkelde ('nieuwe') systeem beschreven door de resultaten te vergelijken met die van het gangbare systeem. Besloten wordt met conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

¹Binnen dit onderzoek is alleen gebruik gemaakt van de sensor (reflectiemeter). Er is geen gebruik gemaakt van de standaard apparatuur die bij de sensor kan worden geleverd (zoals een datalogger).

2 **Systeemeisen**

Om een nieuw systeem te ontwikkelen op basis van het bestaande N-bijmeststelsel zijn allereerst de eisen op een rijtje gezet. Naast het on-line genereren van een N-bijmestadvies moet het te ontwikkelen systeem voldoen aan een aantal nevenvoorwaarden:

- het systeem moet in staat zijn de informatie tijd- en plaatsgebonden vast te leggen;
- de calibratie van het meetsysteem moet eenvoudig in het veld zijn uit te voeren;
- het systeem moet kunnen werken voor meerdere gewassen en cultivars;
- de verzamelde informatie moet eenvoudig verwerkt kunnen worden in bijvoorbeeld een spreadsheet;
- de ruwe signaaldata moet uit te lezen zijn zodat het functioneren van het apparaat eenvoudig kan worden beoordeeld;
- de bediening moet eenvoudig en duidelijk zijn;
- het systeem moet draagbaar zijn.

Aan de hand van deze systeemeisen is een nieuw meetsysteem ontworpen op basis van de CropScan meetkop en rekenregels voor bijbemesting. Naast de bovengenoemde eisen moet het nieuw te ontwikkelen systeem uiteraard meetresultaten genereren vergelijkbaar met die van het gangbare, beproefde meetsysteem.

3 Componenten

Om een systeem op te zetten dat aan de gestelde eisen (hoofdstuk 2) voldoet zijn een aantal hard- en software componenten nodig. De software komt in hoofdstuk 4 aan bod; de benodigde hardware is hieronder samengevat. Het systeem moet bestaan uit:

- een sensor die lichtreflectie vertaalt naar meetbare signalen;
- een 'digitizer' die sensorsignalen vertaalt naar digitaal verwerkbaar signalen;
- een user interface dat de communicatie tussen de gebruiker en het systeem verzorgt. Het user-interface moet voldoende grafische mogelijkheden bieden;
- een systeem dat de digitale sensorsignalen vertaalt via een N-Status naar een N-bijmestadvies;
- een medium dat wordt gebruikt voor het opslaan van de door het systeem gebruikte en gegenereerde informatie;
- een plaatsbepalingssysteem om informatie plaatsgebonden vast te leggen;
- een frame waaraan alle componenten worden bevestigd;
- een spanningsbron om het systeem van energie te voorzien.

Voor het meten van invallend en gereflecteerd licht bij diverse golflengten wordt een 8-kanaals CropScan meetkop gebruikt. Vanwege het grote aantal sensorsignalen (16), afgegeven door de meetkop, is digitaliseren met behulp van een microcontroller een voor de hand liggende oplossing. Een microcontroller is een minicomputer met tal van mogelijkheden om te communiceren met de 'buitenwereld' zoals sensoren en actuatoren. Het koppelen van een grafisch user interface (met voldoende grafische mogelijkheden) en een opslagmedium aan een microcontroller is zeer bewerkelijk. Een combinatie van een microcontroller met een computer met grafische- en opslagmogelijkheden ligt dus voor de hand. Sinds enkele jaren zijn er zogenaamde Personal Digital Assistants (PDA's) op de markt. Een PDA is in principe de elektronische versie van de papieren zakagenda. De meeste PDA's hebben een helder touch-screen met zeer goede grafische mogelijkheden. Daarnaast hebben deze PDA's legio opslagmogelijkheden zoals RAM, SecureDigital (SD) en CompactFlash (CF). Bovendien zijn de meeste PDA's vrij programmeerbaar en de prijs is aantrekkelijk. Het ligt dus voor de hand een PDA te gebruiken voor het user interface en de opslag van data. Voor de plaatsbepaling is het gebruik van het Global Position System (GPS) de beste oplossing. Het systeem is eenvoudig en betrouwbaar en daarnaast relatief goedkoop. Om het totale meetsysteem van spanning te voorzien is het gebruik van een accu het meest praktisch. Deze moet voldoende capaciteit bezitten om een hele dag metingen te kunnen verrichten.

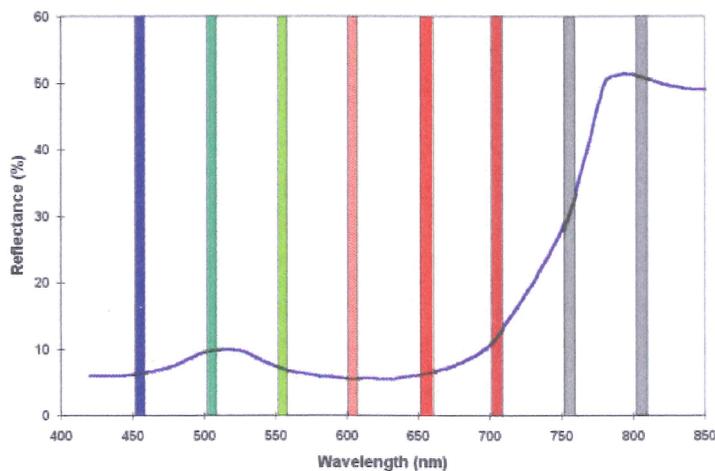
3.1 CropScan meetkop

Het meetsysteem maakt gebruik van de CropScan MSR87 sensor (Figuur 1). In een aluminium meetkop zijn lichtgevoelige sensoren ondergebracht die invallend licht (fotonen) vertalen naar een elektrische stroom.



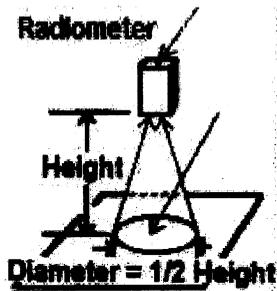
Figuur 1 De aluminium CropScan meetkop (bovenaanzicht) (CropScan Inc., 2003).

In de meetkop zijn acht paar silicium fotodioden geplaatst. Van ieder paar is één fotodiode omhoog (naar de hemel) gericht en één omlaag (naar het gewas). Voor elk paar fotodioden is zowel voor de naar boven als de naar beneden gerichte diode een smalle bandfilter geplaatst (CropScan Inc., 1995). Dit filter laat alleen licht door in een smalle golflengteband rond de nominale golflengte. De nominale golflengten zijn 460, 510, 560, 610, 660, 710, 760 en 810 nm. In Figuur 2 zijn de smalle banden rond deze nominale golflengten weergegeven. De bandbreedte is *ca.* 10 nm. In deze figuur is ook een typische reflectiecurve voor een groene vegetatie weergegeven. De reflectie bij een bepaalde golflengte kan worden bepaald door de verhouding te bepalen van de gereflecteerde straling van het gewas (op de diode aan de onderkant) en de invallende straling van de zon (op de diode aan de bovenkant).



Figuur 2 Een typische reflectiecurve voor groene vegetatie met daarin de smalle banden rond de nominale golflengten van de CropScan reflectiemeter (CropScan Inc., 2003).

Het invallende zonlicht wordt aan de bovenzijde opgevangen door een diffuus verstrooiend melkglas. Hierdoor heeft de sensor aan de bovenzijde een openingshoek van 180 graden. Aan de onderzijde bevindt zich geen melkglas; de openingshoek wordt daar bepaald door de constructie van de sensor. De openingshoek aan de onderzijde bedraagt 28 graden. Bij deze openingshoek is de diameter van de gemeten oppervlakte ongeveer de helft van de hoogte waarop de meetkop wordt gehouden. Figuur 3 geeft dit schematisch weer.



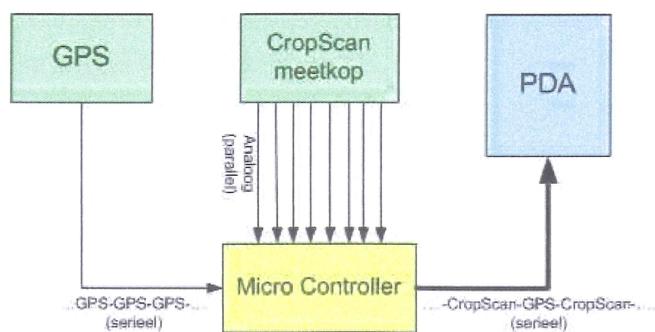
Figuur 3 Het bemeten oppervlak is afhankelijk van de hoogte van de CropScan boven het gewas (CropScan Inc., 2003).

Het invallende licht wordt door de fotodiode opgevangen en omgezet in een elektrisch signaal. Dit signaal wordt in de CropScan meetkop versterkt met een lineaire operationele versterker tot een signaal tussen de 0 Volt (weinig lichtinval) en 5 Volt (veel lichtinval). De sensor heeft een 25 pins connector (printerstekker) waaraan een datalogger gekoppeld kan worden om deze signalen op te slaan of te verwerken.

3.2 Microcontroller

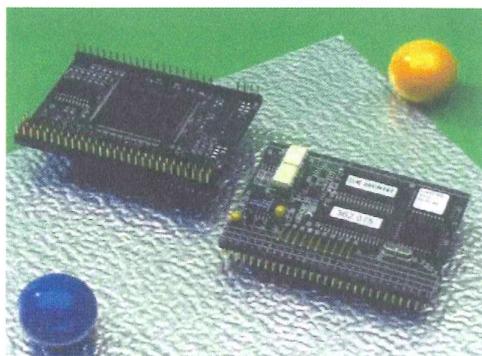
Om de analoge signalen uit de CropScan meetkop te vertalen naar digitaal verwerkbaar getallen moeten de signalen worden omgezet. In het meetsysteem wordt dit uitgevoerd door een microcontroller. De gedigitaliseerde signalen worden vervolgens verwerkt op een PDA. De seriële (RS232) aansluiting van de PDA wordt gebruikt om de signalen in te lezen. Dit betekent dat de microcontroller de (parallele) analoge signalen van de fotodioden in de CropScan meetkop om moet zetten naar een serieel signaal.

Omdat de PDA in het meetsysteem ook gebruik maakt van een plaatsbepalingssysteem moeten ook de seriële berichten van dit systeem naar de PDA worden gestuurd. Omdat niet zonder meer twee apparaten parallel op één seriële verbinding gezet kunnen worden moeten de berichten van het plaatsbepalingssysteem tussen de CropScan waarnemingen door worden gestuurd. Dit is de tweede taak voor de microcontroller. Figuur 4 geeft beide taken weer.



Figuur 4 Communicatie binnen het meetsysteem.

De microcontroller die gebruikt wordt voor het meetsysteem is een Infineon C167. Deze microcontroller kan geleverd worden op een zogenaamde 'basic stamp' waarop de meeste basisvoorzieningen (RAM, EEPROM, etc.) al zijn aangebracht (Figuur 5).



Figuur 5 De 'basic stamp' (gezien vanaf de boven- en onderzijde) met daarop de Infineon C167 microcontroller (Micro-key, 2003).

De C167 microcontroller beschikt over 16 analoog/digitaal (A/D) converters. Dit is voldoende om de 16 analoge signalen van de CropScan om te zetten naar digitale signalen. Ook is er ruimschoots ervaring met deze microcontroller en zijn alle ontwikkel-tools beschikbaar om de controller te programmeren. De microcontroller wordt geprogrammeerd in de programmeertaal 'C'. Het programma wordt via een speciale 'bootloader' in de microcontroller geladen.

3.3 PDA

De PDA vormt het hart van het systeem (Figuur 6). De PDA is het gebruikersinterface, verantwoordelijk voor de vertaling van de sensorsignalen naar een N-bijmestadvies en verantwoordelijk voor de dataopslag.

De PDA die gebruikt wordt in het meetsysteem is een Compaq Ipaq 3850 Pocket PC. Deze PDA heeft een helder LCD kleurenscherm dat prima geschikt is als gebruikersinterface. Daarnaast zijn er talloze mogelijkheden om data op te slaan: in het RAM geheugen, op een SD- of CF kaart.



Figuur 6 De PDA (Compaq Ipaq 3850).

Omdat de PDA weinig weegt en relatief gemakkelijk te programmeren is, is deze uitermate geschikt voor het meetsysteem. Het besturingssysteem van de Compaq Ipaq is MicroSoft Pocket PC 2002. Dit biedt mogelijkheden om via DLL's (Dynamic Link Libraries) modules aan programma's toe te voegen. In het meetsysteem kunnen op deze wijze N-advies modules aan het systeem worden toegevoegd, zonder het 'hoofdprogramma' te wijzigen.

De software voor het meetsysteem is geschreven met behulp van de MicroSoft Embedded Visual C++ compiler. De functionaliteit van de ontwikkelde software wordt nader toegelicht in hoofdstuk 4.

3.4 DGPS

Om bij een meting niet alleen de tijd vast te leggen maar ook de plaats is een plaatsbepalingssysteem noodzakelijk. Het meetsysteem is hiervoor voorzien van een DGPS (Differential Global Positioning System) ontvanger. Deze ontvanger maakt het mogelijk om betrouwbaar en relatief eenvoudig de plaats van de meting te bepalen. De gebruikte DGPS ontvanger is een Garmin e-Trex Venture (Figuur 7).



Figuur 7 De Garmin e-Trex Venture DGPS ontvanger.

Een 'normale' GPS ontvanger heeft een plaatsbepalingsnauwkeurigheid tot *ca.* 5 m. De gebruikte DGPS ontvanger is in staat om gebruik te maken van correctiesignalen van het Europese

EGNOS (European Geostationary Overlay System). Hierdoor neemt de nauwkeurigheid van de ontvanger toe tot *ca.* 1,5 m.

De ontvanger is licht en handzaam en stuurt één keer per twee seconden zijn positie uit via een serieel bericht. Deze berichten zijn gestandaardiseerd in de NMEA-0183 standaard (NMEA, 2000). De GPS berichten worden door de microcontroller ingelezen en tussen de CropScan berichten doorgestuurd naar de PDA waar de berichten worden verwerkt.

3.5 Meetframe

Om het systeem draagbaar te maken en om alle componenten van het systeem te bevestigen is een 'kapstok' nodig. Voor het 'nieuwe' CropScan meetstelsel wordt gebruik gemaakt van de door CropScan geleverde meetstok (Figuur 8). Deze meetstok biedt plaats aan de componenten, is uitschuifbaar en heeft een waterpas voor de vlakstelling in het veld.



Figuur 8 De CropScan meetstok met meetkopbevestigingslip, componentenplateau en waterpas (CropScan, 2003).

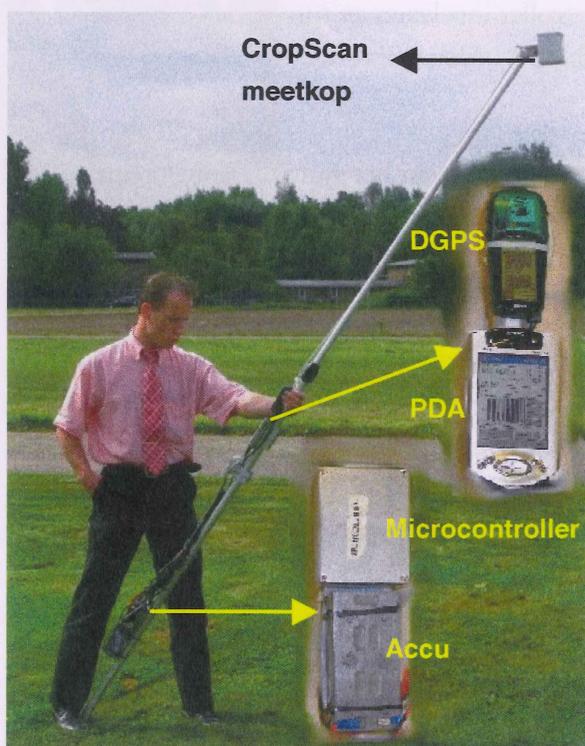
Boven aan de meetstok bevindt zich een bevestigingslip voor de CropScan meetkop. De meetstok kan worden uitgeschoven van *ca.* 1,5 m tot *ca.* 3,0 m. De meetstok is gemaakt van aluminium en daarmee licht en gemakkelijk te dragen.

3.6 Accu

Om het systeem van energie te voorzien is een spanningsbron nodig. Het systeem is daarom voorzien van een accu. De voedingsspanning van het systeem bedraagt 12 V nominaal omdat alle componenten op deze spanning kunnen worden aangesloten. De accu moet voldoende capaciteit hebben om het meetstelsel gedurende minimaal één dag van energie te voorzien. De nominale stroom die de componenten van het systeem tezamen vragen is *ca.* 300 mA. Om een (lange) meetdag van 8 uur te kunnen meten is dus een capaciteit van minimaal 2,4 Ah nodig. De accu op het systeem is een 12V/3,5Ah accu en heeft voldoende capaciteit om het systeem twee 'normale' meetdagen van energie te voorzien. Het gewicht van de accu is *ca.* 1,5 kg waardoor het systeem prima draagbaar blijft.

3.7 Integrale meetsysteem

Alle componenten zijn geplaatst op de meetstok (Figuur 9). Deze zijn zo geplaatst dat het bedieningsgemak optimaal is. De accu is onderaan op de meetstok geplaatst zodat de meetstok in balans is en de PDA en GPS binnen handbereik liggen.



Figuur 9 Het meetsysteem met de componenten.

Het meetsysteem heeft een totaalgewicht van 5,2 kg en is daarmee goed hanteerbaar in het veld. Eventueel kan een draagband gemonteerd worden, zodat tijdens het lopen het systeem op de schouder wordt gedragen.

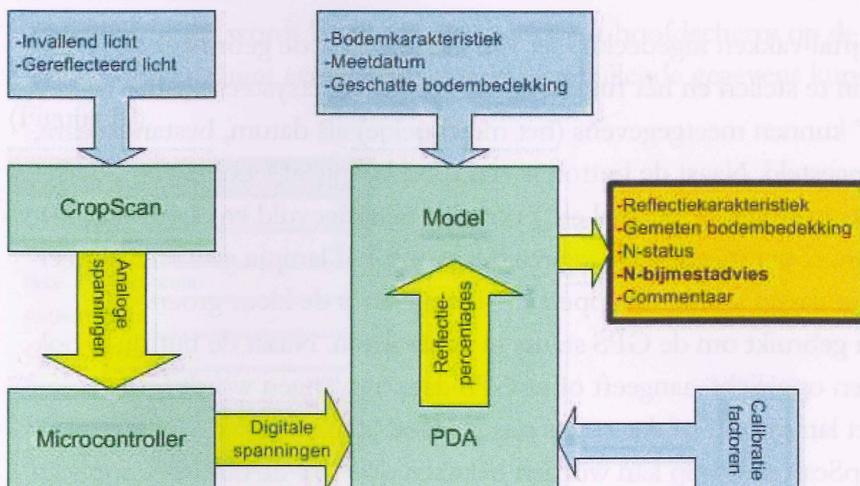
4 Implementatie

Om van de in hoofdstuk 3 beschreven componenten een werkend systeem te maken is software ontwikkeld voor zowel de microcontroller als de PDA. De software in de microcontroller verricht de basistaken (het digitaliseren van de CropScan signalen, het ontvangen van GPS berichten en het doorsturen van CropScan en GPS data). De spil van het systeem is echter de software in de PDA. Deze software zorgt ervoor dat de informatie die van de microcontroller komt vertaald wordt in een N-bijmestadvies. Daarnaast biedt de software onder meer de mogelijkheid om de gemeten waarden te visualiseren en op te slaan.

De manier waarop dit gedaan wordt, wordt uitgelegd aan de hand van een procesbeschrijving. Vervolgens wordt aan de hand van het user-interface de functionaliteit van de ontwikkelde software onder de loep genomen. Als laatste wordt de structuur van de bestanden waarin de gemeten data wordt opgeslagen beschreven.

4.1 Procesbeschrijving

Om van invallend licht op een fotodiode tot een N-bijmestadvies te komen zijn een aantal stappen nodig. Figuur 10 geeft de stappen schematisch weer in een processchema.

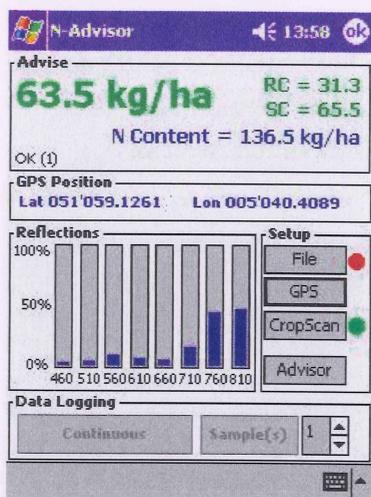


Figuur 10 Het processchema om van een hoeveelheid invallend licht tot een N-bijmestadvies te komen.

Door de CropScan meetkop wordt het invallende en gereflecteerde licht op de fotodioden vertaald naar 16 analoge spanningen. Deze spanningen worden geconverteerd door de microcontroller tot digitale spanningen. De PDA vertaalt deze spanningen met calibratiefactoren naar reflectiepercentages in de verschillende golflengtebanden. Met behulp van een model (Booij *et al.*, 2001; Booij & Meurs, 2002) en parameters zoals gewassoort, bodemkarakteristiek en meetdatum worden de reflectiepercentages vertaald naar een zogenaamde reflectiekarakteristiek, een berekende bodembedekking, een N-status en een N-bijmestadvies. Naast deze getallen wordt door het model ook tekst met commentaar bij het resultaat geleverd.

4.2 Hoofdscherm

De software start met het tonen van het hoofdscherm. Hierop kunnen in één oogopslag de belangrijkste parameters worden afgelezen. Figuur 11 geeft het hoofdscherm weer.



Figuur 11 Hoofdscherm van de voor de PDA ontwikkelde software.

Het hoofdscherm is in een vijftal vakken ingedeeld. Het vak 'Setup' geeft de gebruiker de mogelijkheid om parameters in te stellen en het functioneren van het meetsysteem nader te bekijken. Met de button 'File' kunnen meetgegevens (het meetboekje) als datum, bestandsnaam, locatie en calibratie worden ingesteld. Naast de button is een rood lampje afgebeeld. Dit betekent dat 'het meetboekje' (gegevens over gewas, perceel etc.) nog niet zijn ingevuld en dat er nog niets kan worden opgeslagen. Wanneer het meetboekje ingevuld is wordt het lampje geel en wanneer er daadwerkelijk gegevens opgeslagen worden knippert het lampje en is de kleur groen.

De button 'GPS' kan worden gebruikt om de GPS status te controleren. Naast de button is ook een lampje geplaatst dat, indien opgelicht, aangeeft of er GPS data ontvangen wordt (groen knipperend; in de figuur is het lampje uit) of dat er iets mis is (rood lampje).

Het functioneren van de CropScan meetkop kan worden bekeken door op de button 'CropScan' te drukken. Het lampje naast de button knippert groen wanneer er data ontvangen wordt en is rood wanneer er niets wordt ontvangen.

Het systeem berekent een N-bijmestadvies door gebruik te maken van adviesmodules. Om een adviesmodule in te stellen kan de gebruiker op de button 'Advisor' drukken.

Om gemeten data op te slaan kan op de knop 'Continuous' worden gedrukt in het vak 'Data Logging'. De meetdata (van ruwe data tot N-bijmestadvies) wordt dan met een frequentie van 5 Hz opgeslagen. Naast een continue meting kan de gebruiker ook een aantal samples nemen van een bepaalde plek door op de button 'Sample(s)' te drukken. Het aantal metingen kan worden ingesteld in de 'spin control' ernaast. Op het scherm zijn de knoppen in het vak grijs ('disabled'), wanneer de meetgegevens ingesteld zijn (via de button 'File') worden deze zwart ('enabled').

Uit de digitale spanningen van de 16 CropScan kanalen wordt met behulp van een calibratiefactor per golflengteband een reflectiepercentage berekend. Deze reflectiepercentages worden grafisch

weergegeven in het vak 'Reflections'. Hierin worden de percentages in een staafdiagram per golfteband afgebeeld.

Om vast te leggen waar een meting heeft plaatsgevonden is het systeem uitgerust met een GPS ontvanger die data via de microcontroller naar de PDA stuurt. Deze data wordt vertaald naar een positie; deze is weergegeven in het vak 'GPS Position'. De positie is uitgedrukt in een breedte- en lengtegraad in het WGS84-systeem. WGS84 (World Geodetic System 1984) is de internationale standaard voor het uitdrukken van coördinaten.

Aan het systeem kunnen softwaremodules gekoppeld worden voor N-bijmestadvies. Met een dergelijke adviesmodule is het systeem in staat om een N-bijmestadvies uit te rekenen voor een bepaald gewas. Het bijmestadvies wordt in het vak 'Advise' in grote groene cijfers weergegeven. Daaronder staat de actuele N-status ('N-content') in het blauw weergegeven. De groene getallen aan de rechterkant van het vak geven respectievelijk de reflectiekenmerken ('RC', Reflection Characteristics) en de berekende bodembedekking ('SC', Soil Coverage) weer. Het door de adviesmodule gegenereerde commentaar wordt onderin het vak aangegeven ('OK (1)').

4.3 File scherm

Het 'meetboekje' wordt bijgehouden door in het hoofdscherm op de knop 'File' te drukken. Vervolgens verschijnt een scherm waarin verschillende gegevens kunnen worden ingesteld (Figuur 12).

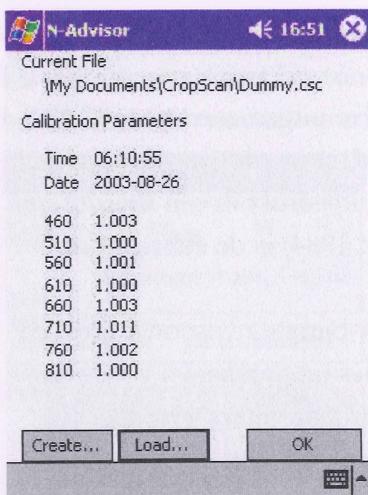
File Name	measurement1.csd
Date	24-Sep-03
Place	Wageningen
PartField	B-11
Crop	Potato
Comment	Weed infested
Calibration	My Documents\CropScan\Achten

Create / Modify Calibration

Cancel OK

Figuur 12 Instellen van diverse gegevens voor de meting.

In de invoervelden kunnen gegevens als bestandsnaam, datum, plaats, perceel, gewas, commentaar en calibratiefile worden ingevoerd. Deze gegevens worden bovenaan in het meetbestand met de gelogde data weergegeven. Door op de button 'Create/Modify Calibration' te drukken kan een calibratiefile geladen of zelfs gecreëerd worden (Figuur 13).



Figuur 13 Selectie van een calibratiefile.

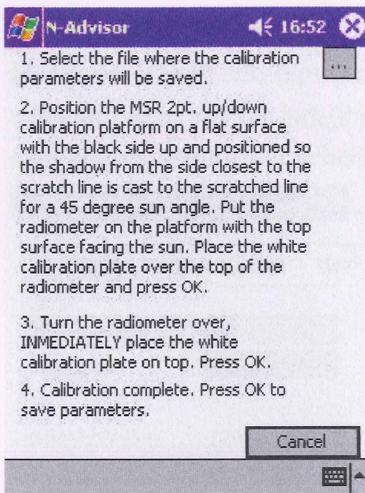
Het scherm geeft naast de bestandsnaam van de huidige calibratiefile de calibratietijd en -datum van het bestand. De calibratiefactor van elke golflengte staat daaronder afgebeeld. De calibratiefactoren zijn nodig om van invallend en gereflecteerd licht een reflectiepercentage te berekenen:

$$\text{reflectie}_{\lambda} = \frac{V_{\lambda, \text{onder}}}{V_{\lambda, \text{boven}}} \cdot \text{calibratie}_{\lambda} \cdot 100\% \quad (1)$$

waarbij $\text{reflectie}_{\lambda}$ het reflectiepercentage bij golflengte λ is, $V_{\lambda, \text{onder}}$ de (versterkte) spanning afgegeven door de fotodiode aan de onderzijde met golflengte λ , $V_{\lambda, \text{boven}}$ de (versterkte) spanning afgegeven door de fotodiode aan de bovenzijde met golflengte λ en $\text{calibratie}_{\lambda}$ de calibratiefactor voor het paar fotodiodes (boven- en onderzijde) bij golflengte λ .

De calibratiefactor corrigeert onder meer voor het verschil (gevoeligheid, optiek, versterking) in de sensoren van gelijke golflengte aan de boven- en onderzijde. Calibratiefactoren verschillen per meetkop en het is dus van belang om altijd de calibratiefile te gebruiken die voor de gebruikte meetkop is gemaakt.

De button 'Load...' aan de onderzijde van het scherm biedt de mogelijkheid om een calibratiefile te laden; met de button 'Create...' kan een calibratiefile worden gecreëerd (Figuur 14).

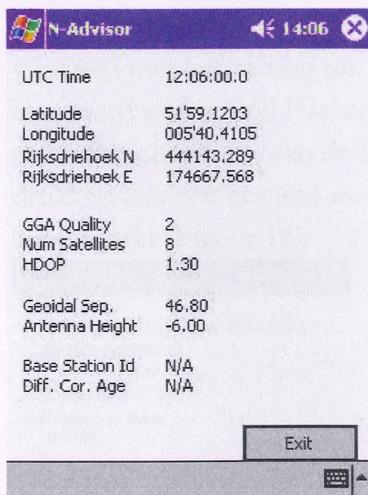


Figuur 14 Calibratie van de meetkop volgens de '2Pt. Up/Down' methode.

Het calibreren van de meetkop gebeurt door het volgen van het stappenplan in Figuur 14. Dit stappenplan zorgt ervoor dat een calibratie volgens de '2Pt. Up/Down' (CropScan Inc., 1995) methode wordt uitgevoerd. De parameters worden opgeslagen in een bestand en dit bestand wordt automatisch geselecteerd als actieve calibratie.

4.4 GPS scherm

Door in het hoofdscherm op de knop 'GPS' te drukken kan de inkomende data van de GPS ontvanger worden bekeken (Figuur 15).



Figuur 15 GPS scherm met daarop GPS-informatie.

Het scherm geeft alle informatie weer die door de GPS ontvanger naar de PDA wordt verzonden. De velden met 'N/A' geven aan dat de informatie niet beschikbaar is ('Not Available'). De GPS verzendt informatie via het gestandaardiseerde NMEA-GGA (NMEA, 2000) bericht. Dit bericht bevat naast de WGS84 positie informatie over het functioneren van de

ontvanger. In het scherm wordt ook de Rijksdriehoek (Kadaster, 2000) positie weergegeven. Deze wordt on-line berekend aan de hand van de WGS84 positie. De velden van het GPS scherm en hun betekenis zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Velden van het GPS scherm en hun betekenis.

Veld	Betekenis
UTC Time	'Coordinated Universal Time'; is gelijk aan GMT (Greenwich Mean Time) (uitgedrukt in uren, minuten en seconden)
Latitude	WGS84 breedtegraad (in booggraden en -minuten)
Longitude	WGS84 lengtegraad (in booggraden en -minuten)
Rijksdriehoek N	Noordcomponent van de Rijksdriehoek coördinaat (in meters)
Rijksdriehoek E	Oostcomponent van de Rijksdriehoek coördinaat (in meters)
GGA Quality	Kwaliteit van het ontvangen GPS signaal (0=geen signaal, 1=GPS, 2=DGPS)
Num Satellites	Aantal satellieten gebruikt voor de positiebepaling (0-12 satellieten)
HDOP	Horizontal oplossend vermogen (maat voor precisie)
Geoidal Sep.	Hoogte van het gemiddelde zeeniveau boven een WGS84 ellipsoïde (in meters)
Antenna Height	Hoogte van de GPS-antenne boven gemiddeld zeeniveau (in meters)
Base Station Id	Identificatienummer van het DGPS basisstation
Diff. Cor. Age	Tijd sinds de laatst ontvangen differentieële correctie (in seconden)

4.5 CropScan scherm

De 'ruwe' voltages van de CropScan meetkop kunnen worden bekeken door op de knop 'CropScan' te drukken in het hoofdscherm.

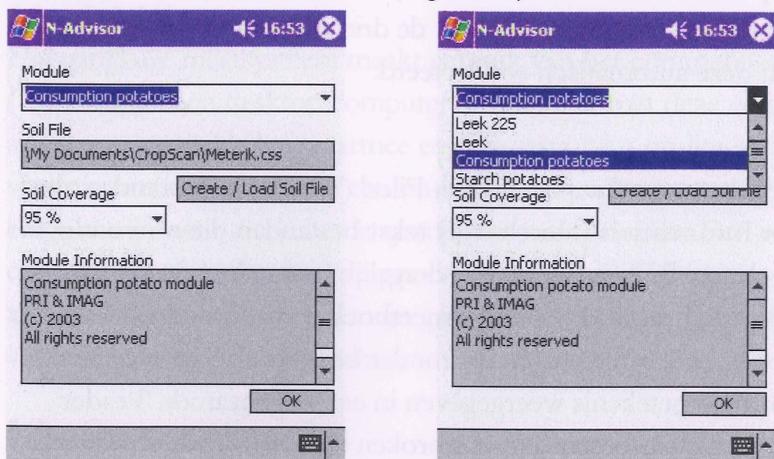
Channel	Volt	Reflect.	Calib.
460up	1.108	2.46%	1.397
460dn	0.020		
510up	1.284	4.10%	1.347
510dn	0.039		
560up	1.274	9.58%	1.316
560dn	0.093		
610up	1.260	6.63%	1.316
610dn	0.063		
660up	1.270	5.68%	1.338
660dn	0.054		
710up	1.162	16.39%	1.258
710dn	0.151		
760up	1.265	45.80%	1.348
760dn	0.430		
810up	1.167	48.72%	1.213
810dn	0.469		

Figuur 16 CropScan scherm met daarop de 'ruwe' voltages.

Aan de linkerkzijde van het scherm (Figuur 16) staan de CropScan kanalen onder elkaar opgesomd; elke golflengte heeft een naar boven en een naar beneden gericht kanaal. Naast elk kanaal staat het gemeten voltage. Uit de twee voltages wordt voor iedere golflengte een reflectiepercentage berekend; deze staan in de derde kolom. In de vierde kolom staan de calibratiefactoren uit het actuele calibratiebestand die gebruikt zijn voor het berekenen van de reflectiepercentages.

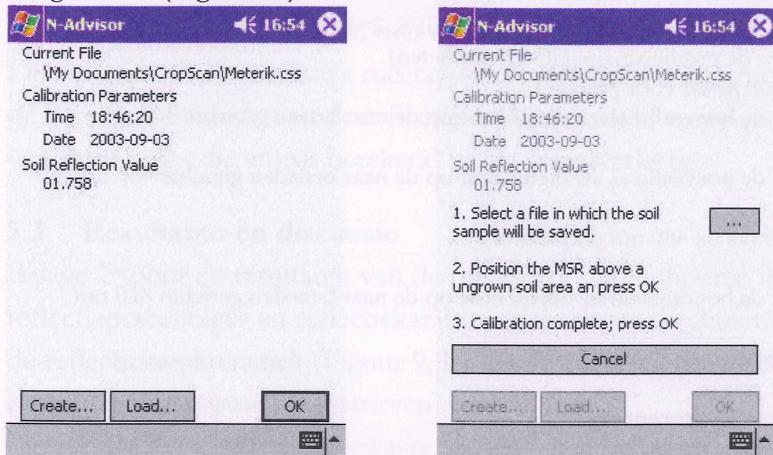
4.6 Advisor scherm

Het generen van een bijmestadvies op basis van reflectiepercentages gebeurt door een adviesmodule aan het programma te koppelen. Door in het hoofdscherm op de knop 'Advisor' te drukken verschijnt het scherm (Figuur 17) waarin adviesmodules kunnen worden gekoppeld.



Figuur 17 Scherm om de adviesmodule aan het programma te koppelen. Via een drop-down box (links) kan een module gekozen worden.

Boven in het scherm kan met behulp van een drop-down box een module worden gekozen. In deze box staan alle adviesmodules die in de PDA zijn opgeslagen. De lijst kan eenvoudig worden uitgebreid door adviesmodules op de PDA te kopiëren. Informatie over de geselecteerde module kan onder in het scherm worden afgelezen. Omdat de module van informatie moet worden voorzien met betrekking tot bodemkarakteristiek en geschatte bodembedekking kan deze worden ingevoerd onder 'Soil File' en 'Soil Coverage'. De informatie over de meetdatum wordt door de module rechtstreeks van de PDA klok afgelezen. Door op de button 'Create/Load Soil File' te drukken kan een bestand met daarin de bodemkarakteristiek worden geladen of worden aangemaakt (Figuur 18).



Figuur 18 Scherm waarin een bodemfile kan worden bekeken (links) en kan worden geladen of gecreëerd (rechts).

Het linker scherm geeft de huidige bodemfile met de tijd en datum van creatie weer. De voor de bodem karakteristieke reflectiewaarde staat daaronder vermeld. Eventueel kan een bestaande bodemfile geladen worden door op de knop 'Load...' te drukken. Een nieuwe bodemfile kan worden aangemaakt door op de knop 'Create...' te drukken. Onder in het scherm verschijnt dan de procedure waarmee een bodemfile wordt aangemaakt. Door de drie stappen te volgen wordt een nieuwe file aangemaakt en wordt deze automatisch geselecteerd.

4.7 Output file

De meetdata wordt opgeslagen in zogenaamde 'CropScan Data Files' (*.csd). De bestanden zijn ASCII (American Standard Code for Information Interchange) tekst bestanden die eenvoudig in een spreadsheet kunnen worden ingelezen. Bijlage 1 geeft een dergelijk bestand weer.

Het bestand bestaat uit twee delen: bovenin bevindt zich het 'meetboekje' met daarin onder meer plaatsnaam, perceelsnaam, calibratiefile, bodemfile etc. en daaronder bevindt zich de meetdata in kolommen. Boven iedere kolom wordt de betekenis weergegeven in een zogenaamde 'header'. Elke keer dat er wordt geschreven in hetzelfde bestand (onderbroken meting) wordt een nieuwe 'header' in het bestand geschreven. Hierdoor zijn achteraf de verschillende metingen gemakkelijk te onderscheiden. De betekenis van de data in de verschillende kolommen wordt in Tabel 2 beschreven.

Tabel 2 De betekenis van de kolommen in de CropScan Data (.csd) bestanden.

Kolom	Betekenis
SysHr	Uurstand van de systeemklok van de PDA (in uren)
SysMin	Minutenstand van de systeemklok van de PDA (in minuten)
SysSec	Secondenstand van de systeemklok van de PDA (in seconden)
GpsHr	Uurstand van de GPS (in uren)
GpsMin	Minutenstand van de GPS (in minuten)
GpsSec	Secondenstand van de GPS (in seconden)
Lat	WGS84 breedtegraad (in booggraden en -minuten)
Lon	WGS84 lengtegraad (in booggraden en -minuten)
RD X	Oostcomponent van de Rijksdriehoek coördinaat (in meters)
RD Y	Noordcomponent van de Rijksdriehoek coördinaat (in meters)
GGA	Kwaliteit van het ontvangen GPS signaal (0=geen signaal, 1=GPS, 2=DGPS)
nSVS	Aantal satellieten gebruikt voor de positiebepaling (0-12 satellieten)
HDOP	Horizontaal oplossend vermogen (maat voor precisie)
460up	Voltage dat overeenkomt met de hoeveelheid invallend licht op de naar boven gerichte 460 nm fotocel (in Volt)
460dn	Voltage dat overeenkomt met de hoeveelheid invallend licht op de naar beneden gerichte 460 nm fotocel (in Volt)
r_460	Reflectiepercentage van het gewas bij 460 nm (in procent)
...	
810dn	Voltage dat overeenkomt met de hoeveelheid invallend licht op de naar beneden gerichte 810 nm fotocel (in Volt)
r_810	Reflectiepercentage van het gewas bij 810 nm (in procent)
RefChar	Reflectie karakteristiek van het gewas
SoilCov	Bodembedekking van het gewas (in procenten)
NContent	N-inhoud (N-status) van het gewas (in kg/ha)
NAdvise	Het N-bijmestadvies (in kg/ha)
Comment	Commentaar bij de meting, gegenereerd door de adviesmodule

5 Integrale test

Om het functioneren van het ontwikkelde meetsysteem te beoordelen is het systeem onderworpen aan een integrale test. Deze wordt hier beschreven.

5.1 Inleiding

Het gangbare meetsysteem maakt gebruik van het commercieel beschikbare meetsysteem van CropScan en een desktop computer. Omdat het met deze componenten niet mogelijk is om een systeem te ontwikkelen waarmee een bijmestadvies on-line gegenereerd kan worden is op basis van 'nieuwe' componenten een on-line meetsysteem ontwikkeld. De CropScan meetkop is de enige component die in beide systemen wordt gebruikt. Een integrale test is uitgevoerd om 1) te controleren of de nieuwe componenten goed functioneren en 2) na te gaan of de rekenregels voor N-bijbemesting correct zijn geïmplementeerd en 3) vergelijkbare resultaten worden verkregen met beide systemen.

5.2 Opzet en uitvoering

Beide systemen zijn in een proefperceel met consumptie aardappelen (PRI, Renkum) vergeleken. Het perceel bestond uit ruim honderd objecten van *ca.* 3 bij 3 meter. De objecten verschilden nogal van elkaar qua gewaskleur, wat het perceel bij uitstek geschikt maakte voor een indicatieve vergelijking.

Kort na elkaar is eerst met het conventionele systeem gemeten en vervolgens met het nieuwe systeem. Op basis van uitgevoerd vooronderzoek mag worden aangenomen dat de beide meetkoppen onder dezelfde omstandigheden vergelijkbare signalen afgeven. De CropScan meetkop van beide systemen was bij de metingen op een hoogte van 2,1 m boven de grond geplaatst. Bij beide metingen is het objectnummer opgeslagen zodat metingen van overeenkomstige objecten naderhand konden worden vergeleken. De meting vond plaats op 18 juli 2003 onder zonnige omstandigheden waarbij af en toe een wolkje voor de zon schoof. Een deel van de objecten was reeds (gedeeltelijk) afgestorven (Phytophthora). Deze objecten zijn grotendeels overgeslagen; de meer vitale objecten zijn gebruikt voor de vergelijking. In totaal zijn de resultaten van 56 objecten met elkaar vergeleken.

De evaluatie van het nieuwe meetsysteem vond plaats door per object de gemeten reflecties van de 8 golflengtebanden en de reflectiekaracteristiek te vergelijken. De reflectiekaracteristiek is een vegetatie-index die wordt berekend uit de gewasreflectie.

5.3 Resultaten en discussie

Bijlage 2 toont de resultaten van de metingen. Uit de figuren in deze bijlage blijkt dat de reflectiepercentages en reflectiekaracteristiek tussen de gemeten objecten behoorlijk variëren. Uit de reflectiekaracteristiek (Figuur 9, Bijlage 2) blijkt uit de relatief lage waarden dat de objecten 16 en 18 nagenoeg waren afgestorven.

De verschillen in gemeten gewasreflectie tussen het nieuwe en gangbare meetsysteem zijn gering. De gewasreflecties in alle golflengten vertonen dezelfde trend. Met andere woorden: wanneer het ene meetsysteem een relatief lage waarde meet dan meet het andere systeem dat ook. Er zijn

echter verschillen in reflectiepercentages. Deze verschillen kunnen worden verklaard door het feit dat beide metingen hoogstwaarschijnlijk niet op exact dezelfde positie boven het object zijn uitgevoerd. Het bemeten oppervlak is bij een meethoogte van 2,1 m en een gewashoogte van 0,5 m *ca.* 0,5 m². Het CropScan meetsysteem is door dit relatief geringe bemeten oppervlak locatiegevoelig, vooral bij heterogene gewassen.

Daarnaast is het mogelijk dat de weersomstandigheden een rol hebben gespeeld. Beide metingen zijn immers niet simultaan uitgevoerd; op sommige momenten schoof er een wolkje voor de zon. De weersomstandigheden zouden in principe geen verschillend meetresultaat tot gevolg mogen hebben, omdat de meting een verhoudingsmeting is tussen licht dat direct invalt aan de bovenzijde van de meetkop en licht dat gereflecteerd wordt van het gewas en aan de onderzijde van de meetkop wordt gemeten. Echter bij een laag signaalniveau (weinig licht door bewolking) is de signaal-ruis verhouding ongunstiger en kan de meting minder zuiver zijn.

De kleine verschillen in reflectiepercentages komen terug in de berekende reflectiekenmerken (Figuur 9). Omdat de reflectiekenmerken afgeleid wordt van gemeten reflectiepercentages kunnen de kleine verschillen eveneens worden toegeschreven aan dezelfde factoren. In Figuur 10 is de reflectiekenmerken van het nieuwe en gangbare systeem tegen elkaar uitgezet. Hierbij is ook de determinatiecoëfficiënt weergegeven. De waarde van 0.93 geeft aan dat er een zeer sterk verband is tussen de metingen met de twee verschillende systemen.

Verschillen die er zijn kunnen worden verklaard uit het feit dat de metingen niet onder exact dezelfde omstandigheden hebben plaatsgevonden. Alhoewel verschillende hardware-componenten zijn gebruikt bij het nieuwe en het gangbare systeem mag verwacht worden dat de invloed op het meetresultaat gering zal zijn. Om hier uitsluitel over te geven zou in een labopstelling gemeten moeten worden waarbij alle factoren (zoals gewas en belichting) constant zijn. Dan is ook een statistische analyse op zijn plaats.

5.4 Praktijkervaringen

Uit de vergelijkende proef is gebleken dat het ontwikkelde CropScan meetsysteem goed functioneert en vergelijkbare meetresultaten levert als het gangbare meetsysteem. Het systeem is enthousiast ontvangen door de gebruikers van het conventionele systeem. Uit deze reacties en door het uitvoeren van proeven met het nieuw ontwikkelde systeem zijn een aantal verbeterpunten naar voren gekomen:

- het meetsysteem heeft zoals elk meetsysteem last van ruis. Dit veroorzaakt een ‘zenuwachtig’ gedrag van het weergegeven N-bijmestadvies. Voor handmetingen met het meetsysteem is het beter dat de metingen gemiddeld worden gedurende *ca.* 2 seconden en dat dit gemiddelde vervolgens wordt weergegeven op het scherm;
- op het hoofdscherm moeten alle relevante gegevens worden weergegeven. Het staafdiagram met de reflectiepercentages kan beter naar de ‘achtergrond’ verplaatst worden, zodat overige bedieningsvlakken vergroot kunnen worden;
- de letters en bedieningsbuttons op het scherm mogen groter; dit vereenvoudigt de bediening;

- het toepassen van een nieuwe generatie Pocket PC met een nog helderder scherm vergroot de leesbaarheid bij fel zonlicht;
- bij het meten van veel verschillende objecten moet telkens de filenaam worden gewijzigd. Een incrementele ‘filecounter’ is in dergelijke gevallen erg handig. Achter de bestandsnaam wordt dan een getal ‘geplakt’ dat telkens met één wordt verhoogd;
- aan het einde van een meting moet het gemiddelde van die meting op het scherm blijven staan totdat het systeem weer in een continue modus wordt gezet door de gebruiker;
- na een meting is het handig dat meteen de gemiddelden van de variabelen in het gegenereerde bestand worden gezet;
- de basis-print layout van de microcontroller is nog experimenteel. Het ontwerpen van een nieuwe, definitieve print waarop microcontroller en spanningsregelaars (voor PDA en GPS) zijn geïntegreerd verdient de voorkeur. Hiermee wordt de bedrijfszekerheid van het systeem vergroot;
- de bedrading, connectoren en bevestiging van de componenten op de meetstok zou verbeterd kunnen worden.

Bovenstaande verbeterpunten bieden een basis voor de vertaling van het nu gereed zijnde prototype systeem naar een 0-serie die uitgebreid in de praktijk beproefd kan worden.

6 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de CropScan reflectiemeter is een gebruiksvriendelijk systeem ontwikkeld waarmee **on-line** op basis van de N-Status bijmestadviezen kunnen worden gegenereerd aan de hand van reflectiemetingen en een adviesmodule. De tijd tussen meting en N-bijmestadvies wordt enorm verkort ten opzichte van de gangbare methode. Het vertalen van CropScan signalen naar een bijmestadvies, dat voorheen op een bureau PC plaatsvond, vindt nu in het veld plaats. Daarnaast is de controle op de werking en de calibratie van het systeem vergemakkelijkt. Het systeem kan door de modulaire opzet worden ingezet in verschillende gewassen en cultivars van gewassen op voorwaarde dat rekenregels beschikbaar zijn. Met het systeem kunnen data plaats- en tijdgebonden worden vastgelegd. Hierdoor wordt automatisch een beeld verkregen van de ruimtelijke variabiliteit **binnen** percelen, zodat beter kan worden vastgesteld of er voldoende meetpunten verzameld zijn om tot een goed gemiddeld perceelsadvies te komen.

Met deze informatie kan tevens een plaatsspecifiek bijmestadvies worden gegeven waardoor, vooral bij heterogene percelen, een betere verdeling van N-meststof mogelijk is ten opzichte van het huidige bijmestadvies dat voornamelijk op perceelsniveau plaatsvindt. Wanneer een op perceelsniveau vastgesteld bijmestadvies is afgestemd op de plekken die meer N nodig hebben zal het perceelsadvies relatief hoog zijn en wordt op de plekken die minder N nodig hebben in feite overbemest. Door in te spelen op de ruimtelijke variabiliteit kunnen de specifieke plekken meer worden bemest zonder dat overbemesting op andere plekken plaatsvindt. Ook is het mogelijk om plekken te identificeren waar om specifieke redenen een groeiachterstand is (bijvoorbeeld door structuurbederf), maar waar hogere bemesting geen zin heeft. Dit laatste vereist nog een extra interpretatieslag van de metingen.

Uit een vergelijkende proef in consumptieaardappelen is gebleken dat het systeem naar behoren functioneert. De kleine verschillen die werden waargenomen kunnen worden verklaard uit het feit dat de metingen niet op exact dezelfde positie boven het object konden worden uitgevoerd en dat de hoeveelheid zonlicht tussen metingen verschilde. Geconcludeerd kan worden dat het nieuwe en het gangbare systeem vergelijkbare resultaten produceren. De functionaliteit van het nieuwe systeem met betrekking tot bedieningsgemak, advisering, opslag-, controle- en calibratiemogelijkheden is enorm toegenomen ten opzichte van het gangbare systeem.

Literatuur

Booij, R., D. Uenk, C. Lokhorst & C. Sonneveld, 2001. Monitoring crop nitrogen status in potatoes, using crop light reflection. G. Grenier, S. Blackmore and J. Steffe (eds.), Proceedings 3rd European Conference on Precision Agriculture, p. 893-897.

Booij, R. & B. Meurs, 2002. Supplementary nitrogen application in leeks, based on determination of crop nitrogen status. Acta Horticulturae (ISHS) 571, p. 155-162.

CropScan Inc., 1995. Multispectral radiometer (MSR) user's manual, Rochester, Verenigde Staten, 1995, 118 pp.

CropScan Inc., 2003. CropScan Inc. Home Page, <http://www.cropscan.com>.

EU, 1980. Richtlijn van de raad van 15 juli 1980 betreffende de kwaliteit voor menselijke consumptie bestemd water. Richtlijn 80/778/EEG. Brussel:Europese Gemeenschap.

EU, 2000. Richtlijn van de raad tot vaststelling van een kader voor de communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Brussel: Europese Gemeenschap.

Kadaster, 2000. Het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting en het European Terrestrial Reference System 1989 - Gebruik en definitie -. Versie 1.0, Apeldoorn, Nederland, 44 pp.

Lokhorst, C., P. Dekker, K. Grashoff, T. Guiking & S. van 't Riet, 2003. Perspectieven geleide bemesting in de open teelten: van deskstudie naar onderzoek. Nota 2003-51, IMAG, Wageningen, Nederland, 43 pp.

Micro-key, 2003. Micro-key 20CN Series Micro Modules, <http://www.microkey.nl>

NMEA, 2000. National Marine Electronics Association 0183 standaard, versie 3.01, Verenigde Staten [document verkrijgbaar via NEN]

Schröder, J., 2000. Nut en noodzaak van vlinderbloemigen in de biologische akkerbouw. Ekoland 2, p. 17-19.

Smit, A.L., 1994. Stikstofbenutting. Haverkort A.J., Zwart K.B., Struik P.C. en Dekker P.H.M. (eds.), Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. PAGV themaboekje 18, PAGV Lelystad, 111 pp.

Vos G. J. M., I. M. J. Bergevoet, J. C. Védý & J. A. Neyroud, 1994. The fate of spring applied fertilizer N during the autumn-winter period: comparison between winter-fallow and green manure cropped soil. *Plants and soil* 160, p. 201-213.

Samenvatting

Vanwege de negatieve effecten op het milieu moet de emissie van nutriënten, zoals stikstof (N) in de vorm van nitraat, zoveel mogelijk voorkomen worden. Daarom zijn door de overheid concrete doelstellingen geformuleerd om de N-belasting van grond- en oppervlaktewater terug te dringen. Stikstof is een essentieel onderdeel van een gewas en gewassen zijn daarom gebaat bij een goede stikstofvoorziening. Om nutriëntenverliezen te beperken is een efficiëntere toediening van nutriënten gewenst, bijvoorbeeld via geleide bemesting. Hieronder worden kennis en technieken verstaan die gebaseerd zijn op het geleid (in tijd en/of in ruimte) toedienen van meststoffen, zodanig dat het N-aanbod zo goed mogelijk in overeenstemming is met de N-opname en N-behoefte van het gewas.

Op basis van de CropScan reflectiemeter is een systeem ontwikkeld voor N-bijmestadvies in onder meer prei en aardappel. Aan de hand van de spectrale reflectie van het gewas wordt een reflectiekaracteristiek berekend. Deze vertoont een relatie met de N-inhoud van het gewas, de zogenaamde stikstofstatus. Op grond van de N-status en een rekenmodel wordt een bijmestadvies voor het gewas berekend. Om reflectiegegevens van het gewas in het veld te verzamelen wordt gebruik gemaakt van het commercieel beschikbare systeem van CropScan. Daarna wordt de verzamelde data (off-line) verwerkt in een spreadsheet tot een N-bijmestadvies. Een nieuw meetstelsel is ontwikkeld om on-line de N-status en een N-bijmestadvies van een gewas te bepalen aan de hand van metingen met de CropScan meetkop.

Dit systeem is naast de CropScan meetkop onder meer voorzien van een PDA (Personal Digital Assistent, 'elektronische zakagenda') en een GPS (Global Positioning System) ontvanger. Hiermee kunnen **on-line** N-Status en bijmestadviezen worden gegenereerd aan de hand van reflectiemetingen en een adviesmodule. De tijd tussen meting en N-bijmestadvies wordt met dit nieuwe systeem enorm verkort ten opzichte van de gangbare methode. Daarnaast is de controle op de werking en de calibratie van het systeem vereenvoudigd. Het systeem kan door de modulaire opzet worden ingezet in verschillende gewassen en cultivars van gewassen op voorwaarde dat rekenregels beschikbaar zijn.

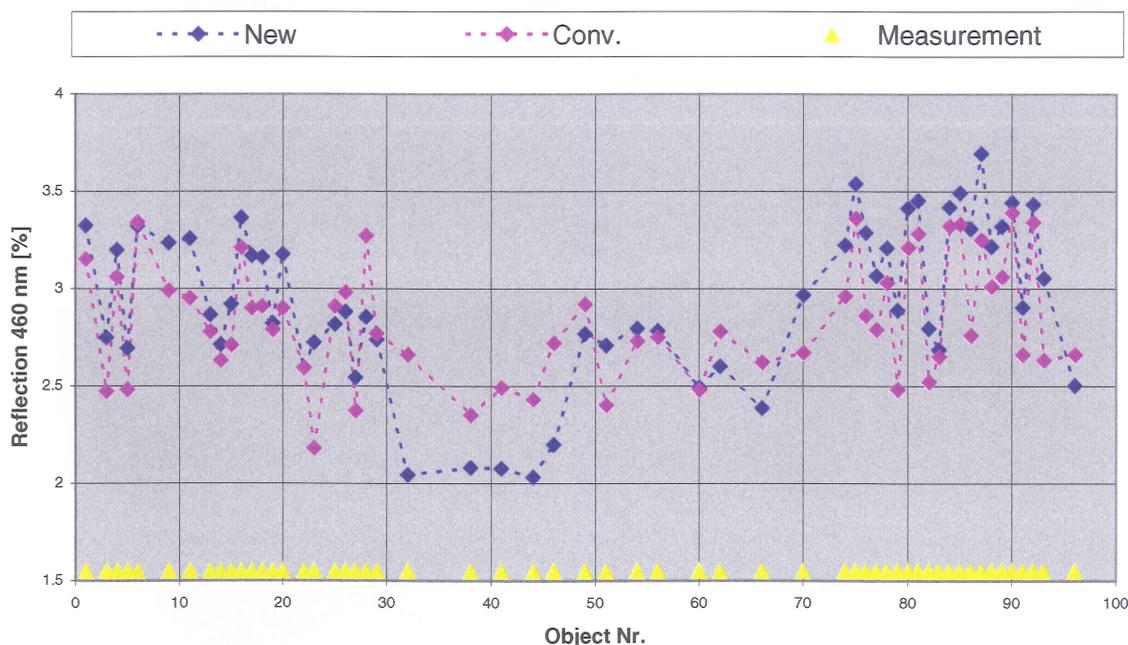
Met het systeem kunnen data plaats- en tijdgebonden worden vastgelegd. Hierdoor wordt automatisch een beeld verkregen van de ruimtelijke variabiliteit **binnen** percelen. Met deze informatie wordt in feite een plaatsspecifiek bijmestadvies gegeven waardoor, vooral bij heterogene percelen, een betere verdeling van N-meststof mogelijk is ten opzichte van het bijmestadvies van het gangbare systeem dat voornamelijk op perceelsniveau plaatsvindt.

Uit een vergelijkende proef in consumptieaardappelen is gebleken dat het systeem naar behoren functioneert. De kleine verschillen die werden waargenomen kunnen worden verklaard uit het feit dat de metingen niet op exact dezelfde positie boven het object konden worden uitgevoerd en dat de hoeveelheid zonlicht tussen metingen verschilde. Geconcludeerd kan worden dat het nieuwe en het gangbare systeem vergelijkbare resultaten produceren. De functionaliteit van het nieuwe systeem met betrekking tot bedieningsgemak, advisering, opslag-, controle- en calibratiemogelijkheden is enorm toegenomen ten opzichte van het gangbare systeem.

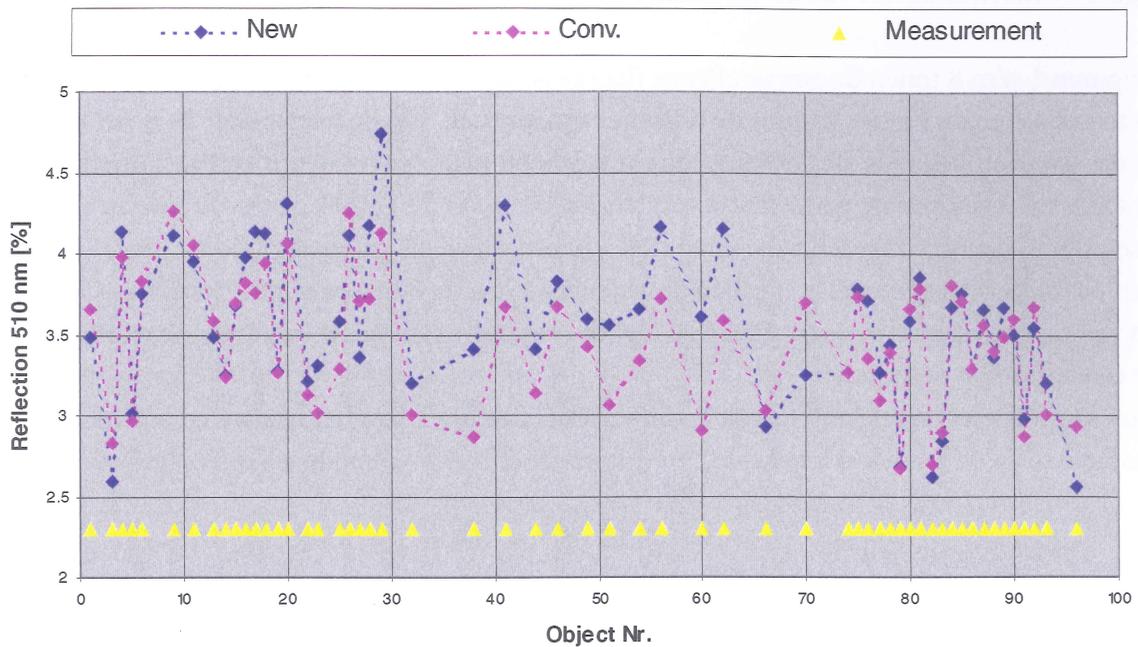
Bijlage 2 Meetresultaten van de functionele test in consumptieaardappelen

De Figuren 1 t/m 8 tonen de gewasreflectie (let op: schalen y-as variëren) per golflengte voor de gemeten objecten en Figuur 9 toont de reflectiekaracteristiek. Op de horizontale as is het object nummer uitgezet. Voor elk object waar een meting heeft plaats gevonden is een geel driehoekje geplot om het lezen van de grafieken te vergemakkelijken. In de grafiek geven de blauwe en de paarse punten de meetwaarden van nieuw ('New') respectievelijk gangbaar ('Conv.') meetsysteem. Boven elk object dat gemeten is (geel driehoekje) bevinden zich dus twee meetwaarden. Om het lezen van de grafieken te vergemakkelijken zijn de metingen van nieuw en gangbaar meetsysteem door een stippellijn verbonden.

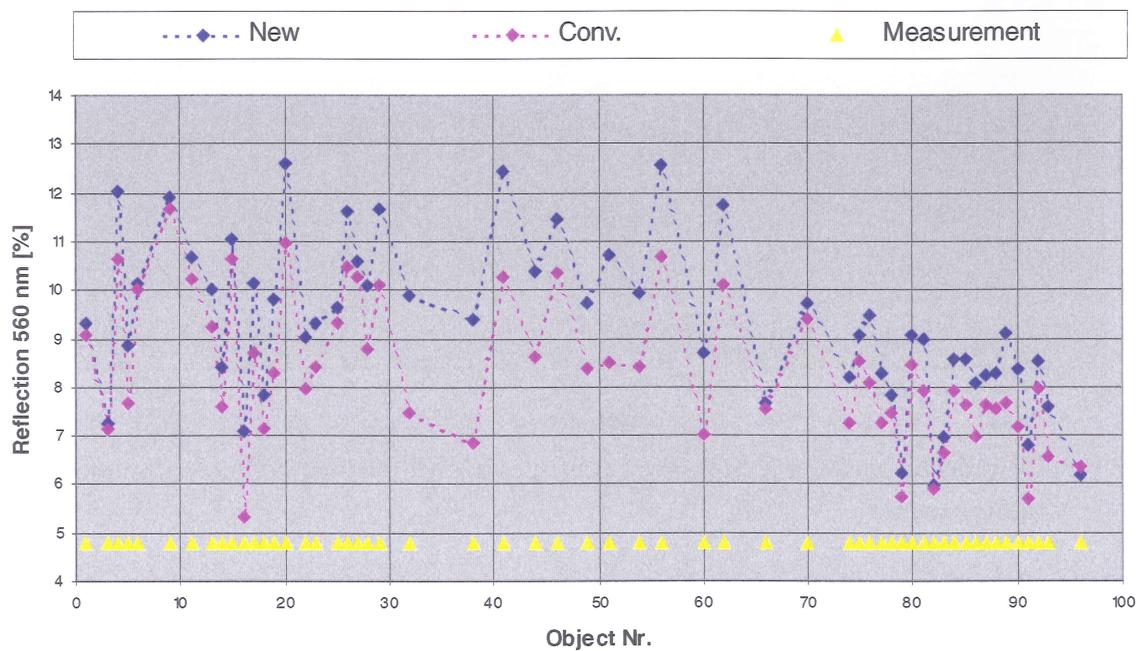
Figuur 10 geeft een vergelijking tussen de reflectiekaracteristiek van het nieuwe en conventionele meetsysteem. In de grafiek is tevens de determinatiecoëfficiënt (r -kwadraat) weergegeven.



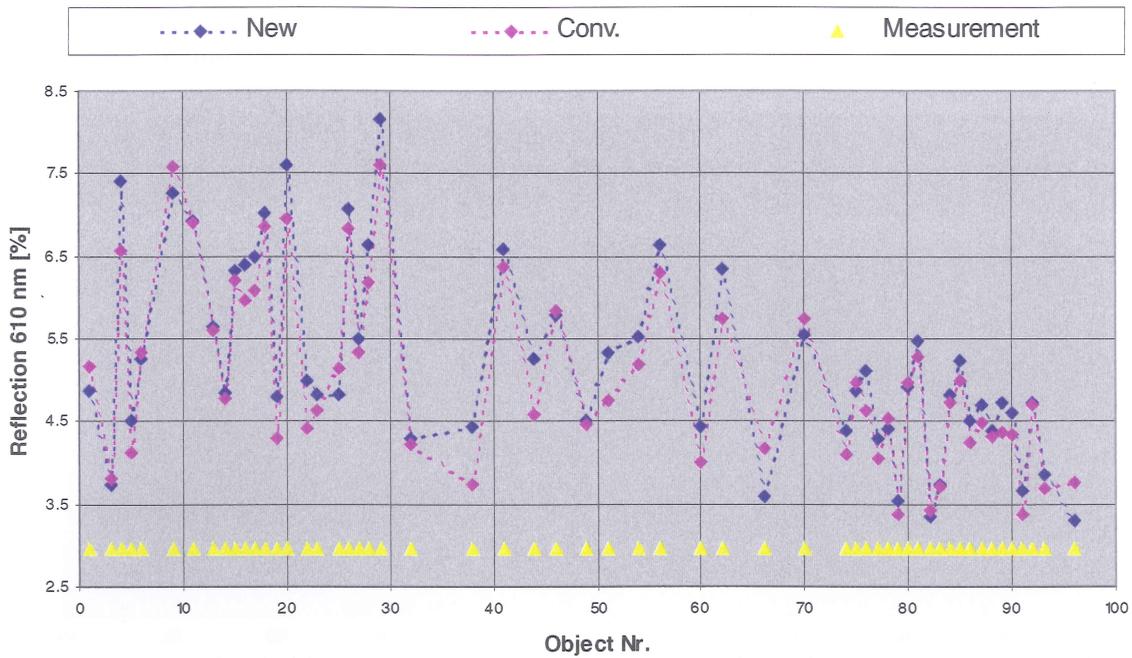
Figuur 1 De reflectie bij 460 nm per object, gemeten met het 'nieuwe' en het 'conventionele' meetsysteem.



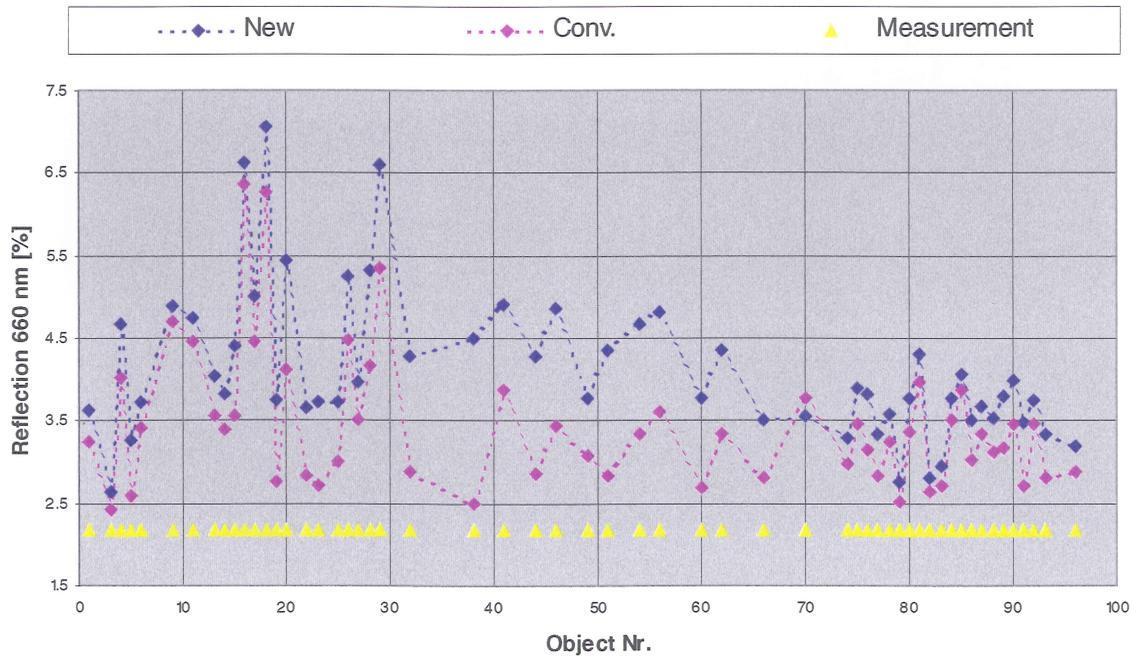
Figuur 2 De reflectie bij 510 nm per object, gemeten met het ‘nieuwe’ en het ‘conventionele’ meetsysteem.



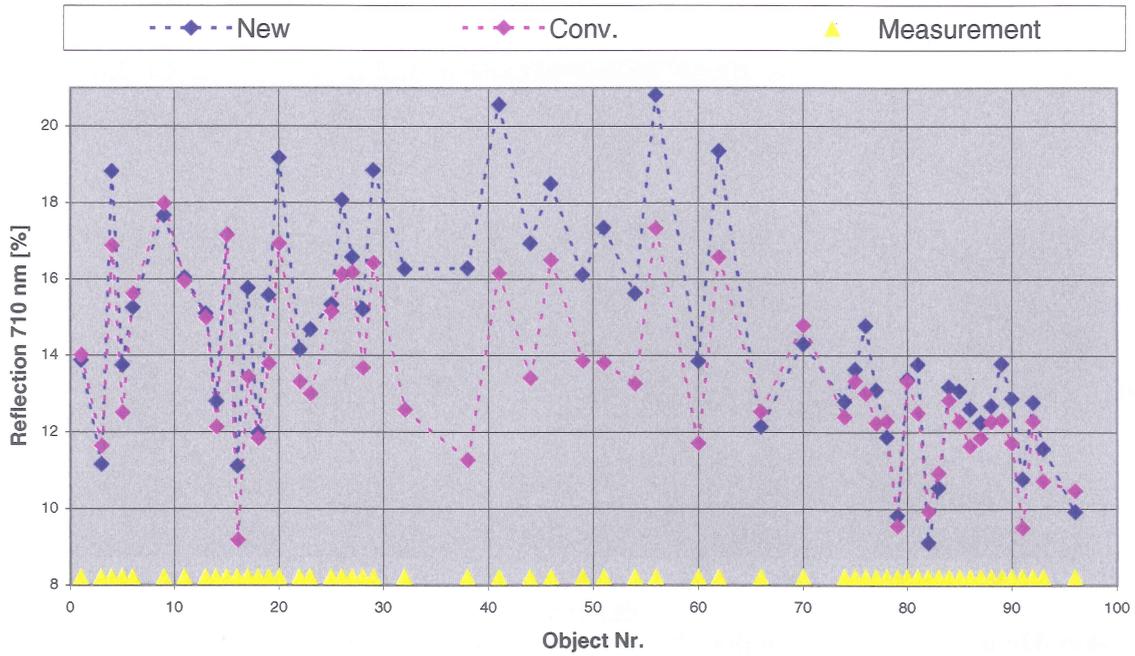
Figuur 3 De reflectie bij 560 nm per object, gemeten met het ‘nieuwe’ en het ‘conventionele’ meetsysteem.



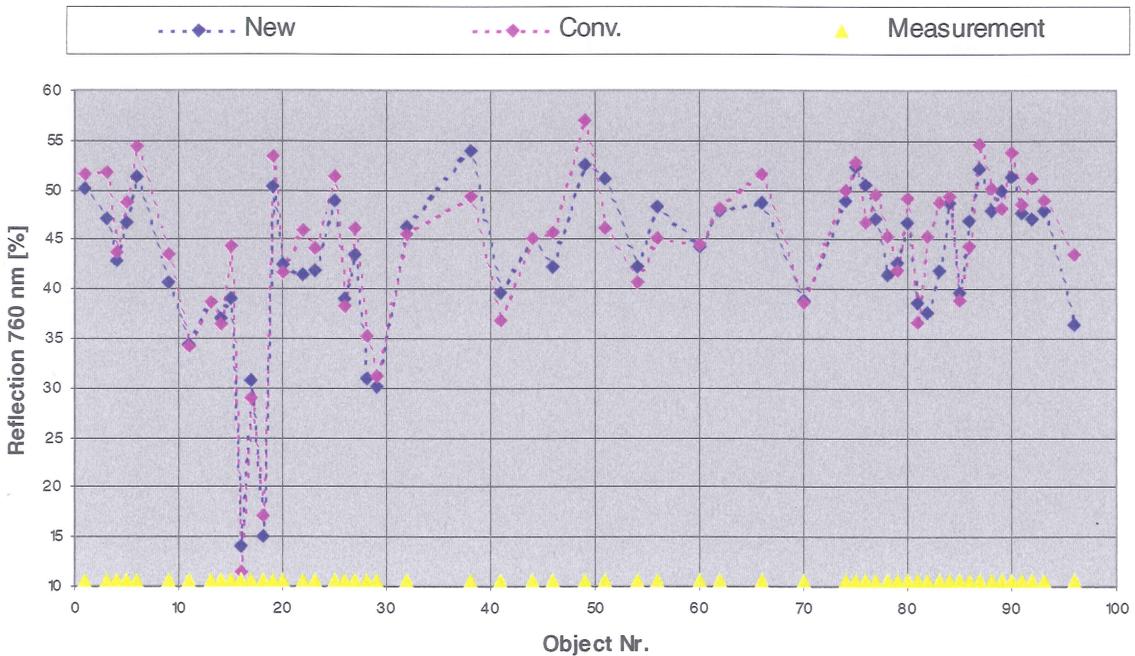
Figuur 4 De reflectie bij 610 nm per object, gemeten met het 'nieuwe' en het 'conventionele' meetsysteem.



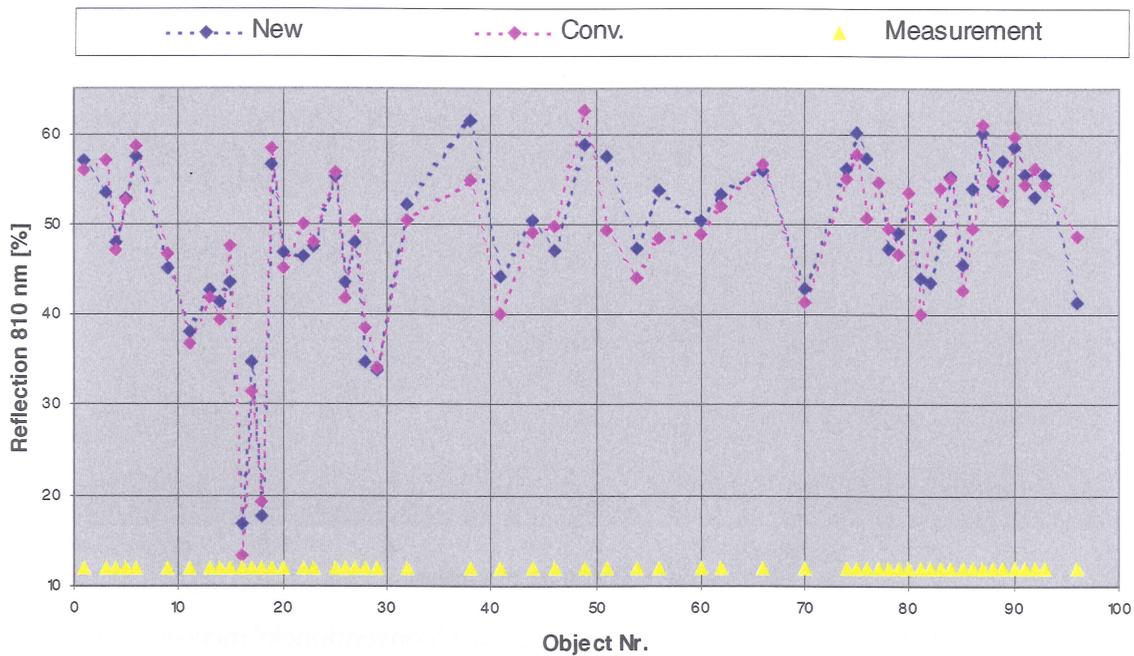
Figuur 5 De reflectie bij 660 nm per object, gemeten met het 'nieuwe' en het 'conventionele' meetsysteem.



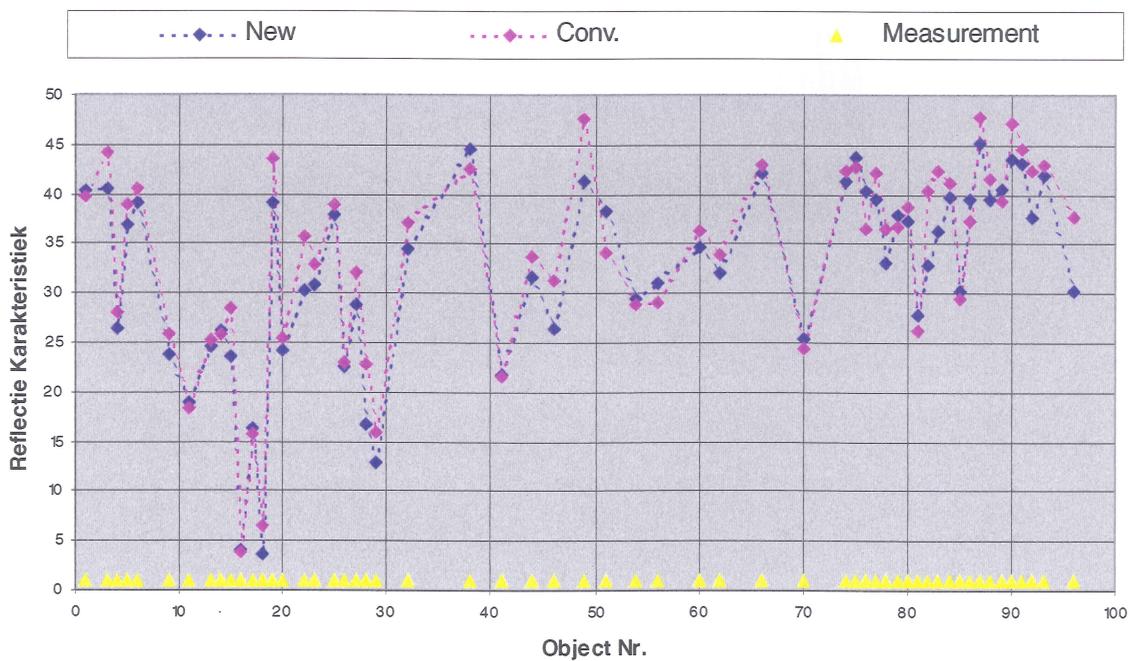
Figuur 6 De reflectie bij 710 nm per object, gemeten met het ‘nieuwe’ en het ‘conventionele’ meetsysteem.



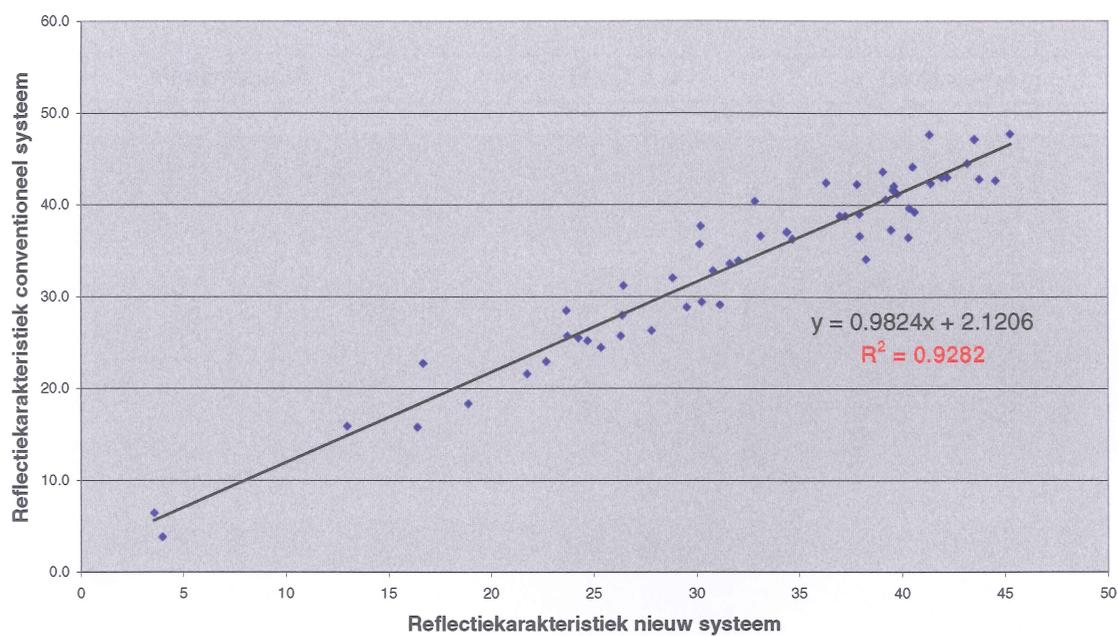
Figuur 7 De reflectie bij 760 nm per object, gemeten met het ‘nieuwe’ en het ‘conventionele’ meetsysteem.



Figuur 8 De reflectie bij 810 nm per object, gemeten met het ‘nieuwe’ en het ‘conventionele’ meetsysteem.



Figuur 9 De reflectiekarakteristiek per object, gemeten met het ‘nieuwe’ en het ‘conventionele’ meetsysteem.



Figuur 10 De reflectiekarakteristiek van het ‘nieuwe’ en het ‘conventionele’ meetsysteem tegen elkaar uitgezet. De determinatiecoëfficiënt (R^2) is in de grafiek weergegeven.