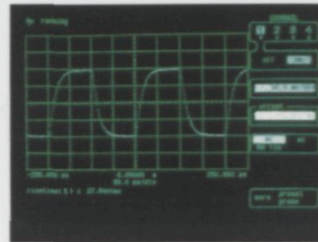




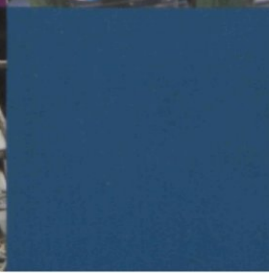
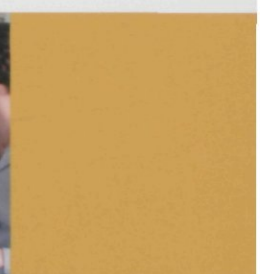
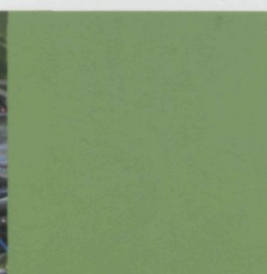
Rijdend meten met de CropScan reflectiemeter

Bepaling van de reactiesnelheid onder laboratorium- en veldomstandigheden



Ir. V.T.J.M. Achten
Dr. G.J. Molema

Report 284



Rijdend meten met de CropScan reflectiemeter

Bepaling van de reactiesnelheid onder laboratorium- en veldomstandigheden

Ir. V.T.J.M. Achten
Dr. G.J. Molema

Rapport 284

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, 1 december 2004

Titel	Rijdend meten met de CropScan reflectiemeter; bepaling van de reactiesnelheid onder laboratorium- en veldomstandigheden
Auteur(s)	Achten, V.T.J.M. & G.J. Molema
A&F nummer	284
ISBN-nummer	nvt
Publicatiedatum	december 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 veelevoudigd, 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). The measurement system is used to perform stationary measurements only. A few samples of a field are used to generate a fertilisation advice. In order to generate site-specific fertilisation advices a lot of samples have to be taken stationary. To automate this, the samples could be taken from a mobile platform. The question arises whether the CropScan radiometer is suited for dynamic measurements.

This study focused on determining the behaviour of the CropScan MSR under dynamic conditions. Experiments were conducted in a laboratory and a field situation. The laboratory experiments pointed out that the CropScan's output needs 50 ms to stabilise, regardless of the transition. The maximum driving speed can be calculated using the sensor dynamics and the measurement height.

The laboratory experiments were verified by scanning a test field with alternating grass and bare soil blocks. Tests were performed with the sensor attached to an agricultural tractor at different heights and driving speeds. The experiments pointed out that the CropScan MSR can be used to perform measurements in the field while driving, even at high speeds.

Keywords: spectral reflection, CropScan, dynamic behaviour, fertilisation, nitrogen

Inhoudsopgave

Abstract	3
1 Inleiding	5
2 Materialen en methoden	6
2.1 CropScan reflectiemeter	6
2.2 Bepaling van de reactiesnelheid onder laboratoriumomstandigheden	8
2.3 Bepaling van de reactiesnelheid onder veldomstandigheden	9
3 Resultaten en discussie	10
3.1 Reactiesnelheid van de reflectiemeter onder laboratoriumomstandigheden	10
3.2 Reactiesnelheid van de reflectiemeter onder veldomstandigheden	14
4 Conclusies	16
Literatuur	17
Samenvatting	18
Dankbetuiging	19

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.

Door onder meer de EU-nitraatrichtlijn (EU, 1980) hebben telers steeds meer de behoefte om met name de stikstofbemesting van gewassen beter te sturen en te controleren. Om de N-gift op de N-behoefte te laten aansluiten zijn verschillende zowel destructieve als non-destructieve meetmethoden ontwikkeld. Voor de bepaling van de stikstofbehoefte op perceelsniveau aan de hand van puntmetingen zijn zowel destructieve als non-destructieve meetmethoden te gebruiken. Voor snelle plaats specifieke monitoring van de N-behoefte met een relatief hoge monsterdichtheid zijn non-destructieve methoden het meest interessant. Destructieve methoden berusten veelal op laboratoriumanalyses die over het algemeen tijdrovend en kostbaar zijn. Voor het non-destructief bepalen van gewaseigenschappen wordt vaak de gewasreflectie gemeten. Binnen het onderzoek van Wageningen-UR wordt hiervoor vaak de CropScan reflectiemeter gebruikt. Metingen met dit multi-spectrale meetinstrument worden vrijwel altijd vanuit stilstand gedaan. Dat wil zeggen: de CropScan reflectiemeter wordt boven een gewas gepositioneerd en wordt niet bewogen tijdens de meting.

Om het mogelijk te maken om grotere arealen met de CropScan reflectiemeter te scannen ligt het voor de hand om deze aan een bewegend platform te bevestigen. Omdat dan bewegend (dynamisch) wordt gemeten rijst de vraag of de eigenschappen van de sensor dit toestaan. Centrale vraag is hierbij of de CropScan reflectiemeter snel genoeg reageert op veranderingen in gewasreflectie?

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van de dynamische eigenschappen (reactiesnelheid) van de CropScan reflectiemeter¹. Uit de dynamische eigenschappen kan vervolgens worden afgeleid wat de maximale voortbewegingssnelheid tijdens het meten kan zijn.

In hoofdstuk 2 wordt de CropScan reflectiemeter beschreven en de opzet van de metingen toegelicht. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van de metingen weer. Dit hoofdstuk bevat tevens een discussie over de gemeten resultaten. Besloten wordt met conclusies van dit onderzoek (hoofdstuk 4).

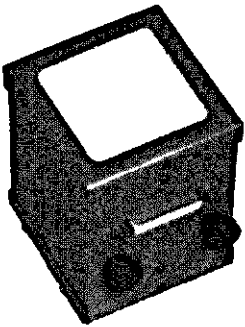
¹ Het onderzoek heeft alleen betrekking op de sensor (de reflectiemeter); binnen dit onderzoek is geen gebruik gemaakt van de standaard apparatuur die bij de sensor geleverd kan worden (zoals een datalogger).

2 Materialen en methoden

De dynamische eigenschappen van de CropScan reflectiemeter zijn op twee manieren onderzocht: 1) onder laboratorium omstandigheden en 2) onder veldomstandigheden. De opzet van beide experimenten wordt in dit hoofdstuk toegelicht. Voor de volledigheid wordt gestart met een beschrijving van de CropScan reflectiemeter.

2.1 CropScan reflectiemeter

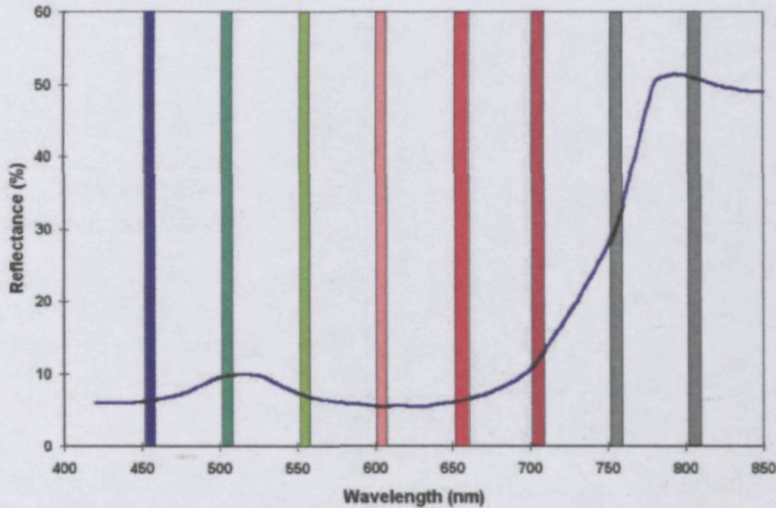
De CropScan reflectiemeter (Figuur 1) is in de periode 1975-1985 ontwikkeld. Het primaire doel van de ontwikkeling van de CropScan reflectiemeter was om beter zicht te krijgen op plantgezondheid en gewasopbrengst (CropScan Inc., 2003). De reflectiemeter die voor het onderzoek is gebruikt, is van het model MSR87 (serienummer 028).



Figuur 1 De aluminium CropScan MSR87 reflectiemeter, gezien vanaf de bovenzijde (CropScan Inc., 2003).

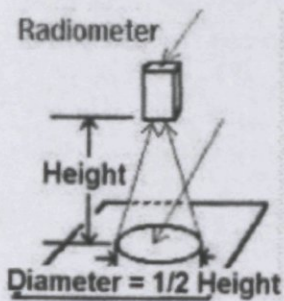
In de aluminium reflectiemeter zijn acht paar silicium fotodioden geplaatst. Van ieder paar is één fotodiode omhoog (naar de hemel) en één omlaag (naar het gewas) gericht. De omhoog gerichte fotodioden vangen het invallende zonlicht op en de omlaag gerichte dioden het gereflecteerde zonlicht. De fotodioden vertalen het invallende licht naar een elektrisch signaal. Dit signaal wordt in de CropScan reflectiemeter versterkt met een lineaire operationele versterker tot een signaal in de range van 0-5 V. Voor elk paar fotodioden is zowel voor de naar boven als de naar beneden gerichte diode een smalle bandfilter geplaatst. 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 \approx 10 nm. In deze figuur is ook een typische reflectiecurve voor een groene vegetatie weergegeven.

De reflectie bij een bepaalde golflengte wordt bepaald door de verhouding te nemen 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).

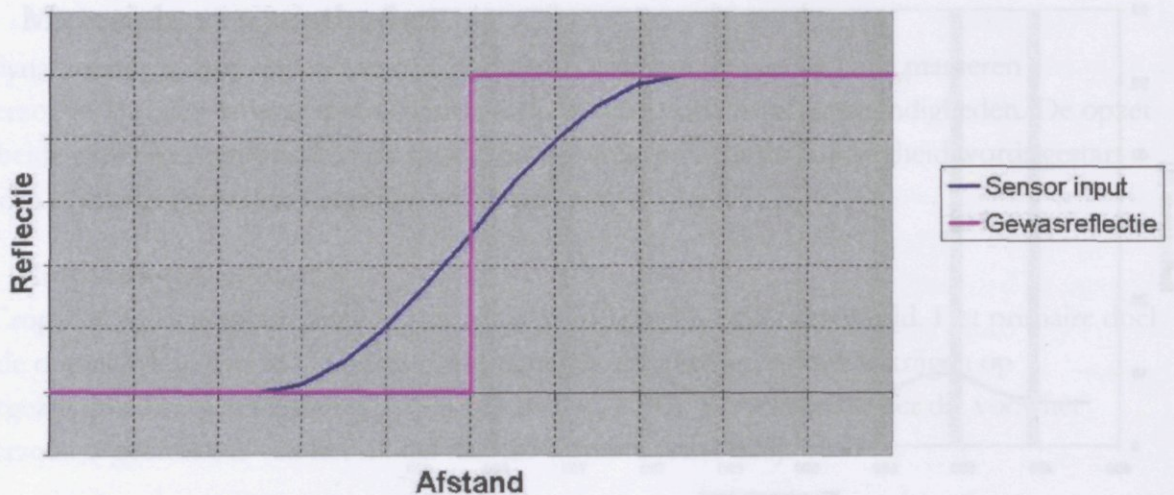
Het invallende zonlicht wordt aan de bovenzijde opgevangen door een diffuus verstrooiend melkglas. Hierdoor heeft de sensor aan de bovenzijde een openingshoek van 180 graden. Aan de onderzijde bevindt zich geen melkglas. De openingshoek aan de onderzijde is 28 graden. Bij deze openingshoek is de diameter van het bemeten oppervlak ongeveer de helft van de hoogte waarop de reflectiemeter wordt gehouden. Figuur 3 geeft dit schematisch weer.



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

De CropScan reflectiemeter meet een cirkelvormig gebied aan de onderzijde van de sensor. Dit betekent dat de sensor een waarde geeft voor de gemiddelde reflectie van het cirkelvormige gebied. Wanneer rijdend met de CropScan wordt gemeten zal de outputwaarde van de sensor slechts geleidelijk veranderen tengevolge van een wijziging in gewasreflectie.

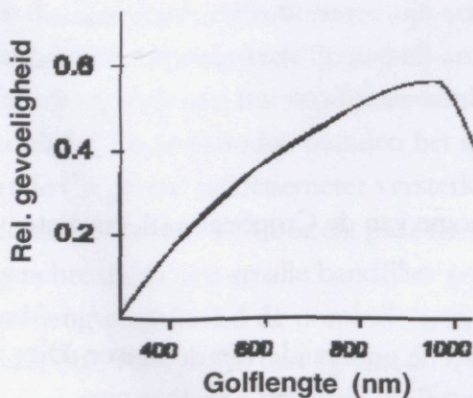
Wanneer er, theoretisch gezien, sprake is van een stapsgewijze verandering in de gewasreflectie zal het inputsignaal voor de reflectiemeter als gevolg van de grootte van het meetgebied een sinusoïde zijn. Figuur 4 geeft de stapsgewijze verandering in gewasreflectie en het inputsignaal van de reflectiemeter weer. De stijging van het inputsignaal is maximaal wanneer de CropScan reflectiemeter zich midden boven de overgang bevindt.



Figuur 4 Een overgang in de gewasreflectie en het daarbij horende inputsignaal voor de reflectiemeter (theoretisch) bij het rijdend meten over de overgang. Een stapvormige verandering in de gewasreflectie geeft een sinusoïde als inputsignaal voor de sensor.

2.2 Bepaling van de reactiesnelheid onder laboratoriumomstandigheden

Omdat de optische vermogens die worden gemeten door de siliciumdioden relatief gering zijn wordt het signaal van de fotodioden versterkt met behulp van inwendige operationele versterkers. Dit leidt onherroepelijk tot het 'traag' worden van de CropScan reflectiemeter (een effect van zogenaamde RC-filtering in het versterkingscircuit). De gevoeligheid van een fotodiode hangt af van de golflengte van het invallend licht. De typische gevoeligheidscurve van een silicium fotodiode is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 Een typische gevoeligheidscurve van een silicium fotodiode.

Om de reactiesnelheid van de reflectiemeter te onderzoeken is gebruik gemaakt van een functiegenerator en monochromatische LED's. De LED's zijn gemaakt van halfgeleidermateriaal dat licht uitzendt als er een stroom door loopt. De intrinsieke snelheid (de tijd van inschakelen tot volledig branden en vice versa) van de LED's is erg hoog en dus niet de snelheidsbepalende factor voor dit experiment. De gebruikte LED's hebben een nominale golflengte van 660 nm. Deze golflengte bevindt zich in het midden van het spectrum van de reflectiemeter (460-810 nm).

De meting is uitgevoerd in een donkere ruimte. De LED's zijn voor de fotodioden van de reflectiemeter geplaatst. Metingen zijn verricht aan zowel de naar boven als de naar beneden gerichte fotodioden. Een functiegenerator is gebruikt om de LED's periodiek aan en uit te schakelen door deze van een blokspanning te voorzien. De respons van de reflectiemeter is gemeten bij verschillende frequenties van de functiegenerator. De output van de reflectiemeter is op twee manieren vastgelegd: met behulp van een oscilloscoop en met behulp van een datalogger. De gebruikte datalogger is een Compaq Ipaq Personal Digital Assistent (PDA) die ook bij veldmetingen wordt ingezet (Achten *et al.*, 2004). Met behulp van deze PDA en een microcontroller (Infineon C167) zijn de uitgangsspanningen met een meetfrequentie van 50 Hz vastgelegd. De metingen met de oscilloscoop zijn vastgelegd door een digitale foto van het beeldscherm te maken.

2.3 Bepaling van de reactiesnelheid onder veldomstandigheden

Om de laboratoriumexperimenten te valideren is de reactiesnelheid van de reflectiemeter beoordeeld onder veldomstandigheden. Hiervoor werd een proefveld met een aantal objecten van zwarte grond en gras aangelegd op het toenmalige IMAG terrein te Wageningen. Het proefveld (Figuur 6) is aangelegd in bestaand grasland. De objecten van zwarte grond zijn aangelegd door deze gedeelten te frezen; hierbij is zoveel mogelijk rekening gehouden met de afmetingen zoals vermeld in Figuur 6.



Figuur 6 Het proefveld met de objecten gras en zwarte grond.

Om de sensor over het proefveld te bewegen is deze aan een trekker te bevestigd. Allereerst is de reflectie boven de verschillende objecten stilstaand (statisch) gemeten, daarna is rijdend (dynamisch) gemeten. Met behulp van het Global Positioning System (GPS) is de locatie van de sensor tijd- en plaatsgebonden vastgelegd. De gebruikte GPS ontvanger is een Real Time Kinematic Differential GPS (RTK-DGPS) ontvanger waarmee een plaatsbepalingsnauwkeurigheid van 1 á 2 cm kan worden bereikt. Met behulp van de Ipaq datalogger (Achten *et al.*, 2004) is de output van de CropScan reflectiemeter en de GPS data opgeslagen in één meetbestand.

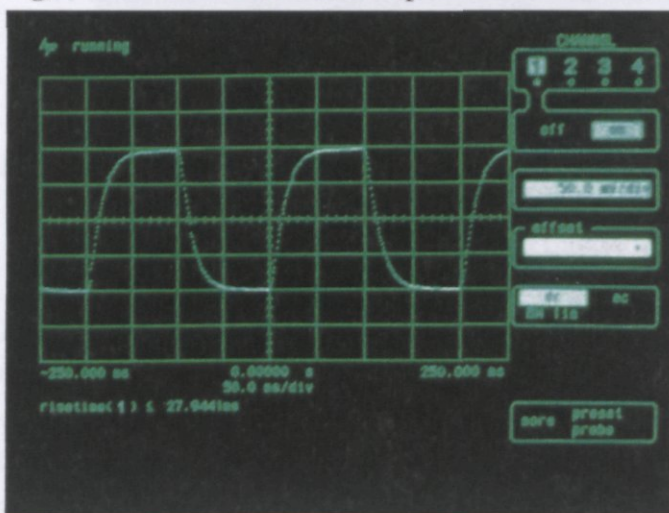
Bij de proeven zijn de hoogte van de reflectiemeter en de rijsnelheid gevarieerd. Er is gemeten op 2 en 3 meter hoogte en bij rijsnelheden van 1,2 en 3 m s⁻¹ in drie herhalingen.

3 Resultaten en discussie

De reactiesnelheid van de CropScan reflectiemeter is gemeten onder laboratorium- en veldomstandigheden. De resultaten van de metingen worden in dit hoofdstuk toegelicht.

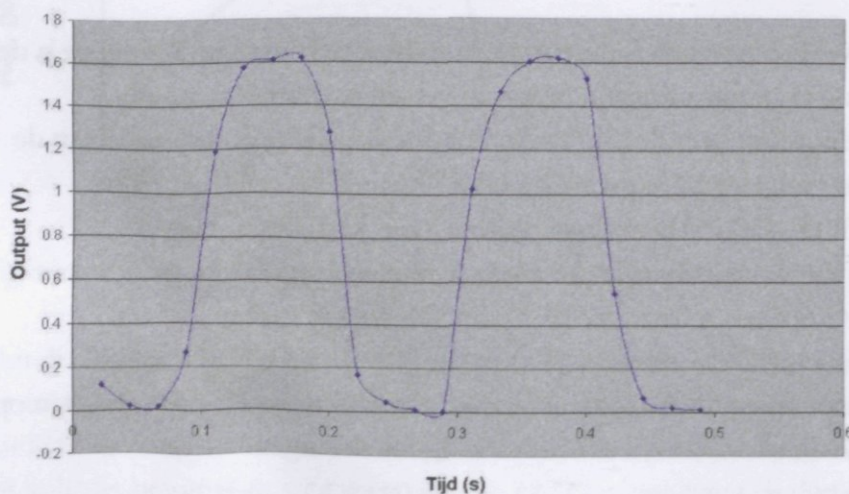
3.1 Reactiesnelheid van de reflectiemeter onder laboratoriumomstandigheden

De metingen in het laboratorium zijn op twee manieren vastgelegd: 1) met de oscilloscoop en 2) met de Ipaq datalogger. Figuur 7 geeft een typische responsecurve weer van de CropScan reflectiemeter voor een overgang van donker (LED's uit) naar licht (LED's aan). De figuur is een digitale foto van het oscilloscoopbeeld.



Figuur 7 Een typische responsecurve van de CropScan reflectiemeter voor een aantal overgangen van donker naar licht (x-as = ms, y-as = mV).

De output van de Ipaq datalogger is een digitaal bestand met meetwaarden dat kan worden verwerkt met een spreadsheet. Figuur 8 geeft een responsecurve weer, vastgelegd met de Ipaq datalogger.



Figuur 8 Een responsecurve van de reflectiemeter voor een aantal overgangen van donker naar licht, vastgelegd met de Ipaq datalogger.

De responscurven die worden vastgelegd met de oscilloscoop hebben een hogere resolutie omdat de bemonsteringsfrequentie (200 MHz) vele malen groter is dan die van de datalogger (50 Hz). Dit is ook terug te zien in Figuur 7 en 8. De meetfrequentie van de datalogger voldoet ruimschoots voor veldmetingen, maar voor de verwerking van de laboratoriumresultaten is het gemakkelijker om de oscilloscoopbeelden te gebruiken.

Uit Figuur 7 en 8 blijkt dat de responscurve de vorm heeft die bij een exponentiële functie hoort. De responscurve kan dan ook worden vergeleken met een functie voor exponentiële begrensde groei. Voor de CropScan reflectiemeter kan de volgende vergelijking worden opgesteld:

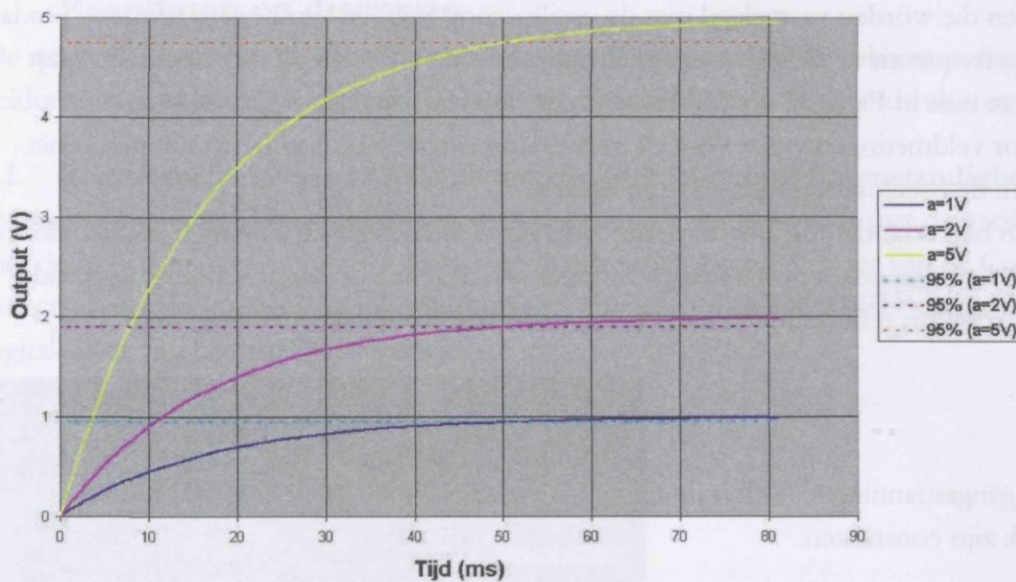
$$V(t) = a(1 - ce^{-kt}) \quad (1)$$

waarbij V de uitgangsspanning in Volt, t de tijd in seconden en a de eindwaarde in Volt weergeeft; c en k zijn constanten.

De constanten c en k bepalen de dynamiek van de reflectiemeter. Deze eigenschappen worden bepaald door de fotodiode en de versterkingselektronica.

De term $1 - ce^{-kt}$ in vergelijking 1 kan als een 'constante term' worden gezien. De vorm van de responscurve wordt bepaald door de variabele 'a'. De variabele 'a' kan worden gezien als de drijvende kracht van het systeem.

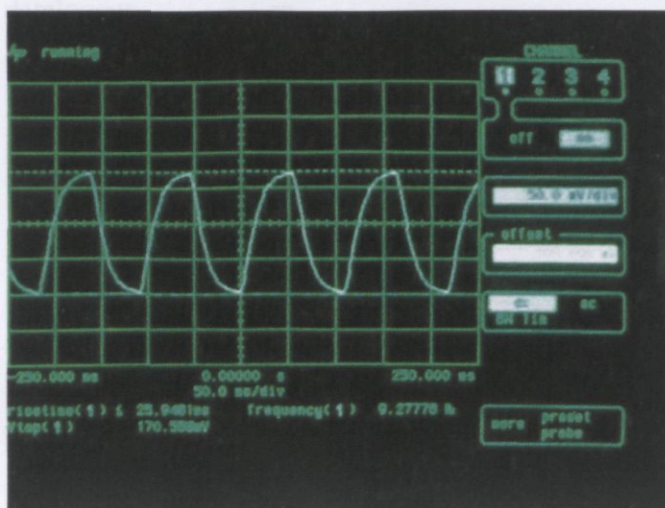
Wanneer de fotodiode wordt belicht zal de uitgangsspanning eerst snel toenemen en daarna langzaam stijgen tot een stabiele eindspanning. De tijd tot stabilisatie (van het systeem is onafhankelijk van de grootte van de drijvende kracht. Dit betekent dat de tijd die het systeem er over doet om bijvoorbeeld tot een bepaald percentage van de stabiele eindspanning te komen constant is. Figuur 9 geeft een aantal fictieve curven weer met een variërende a en een constante c en k . In de grafiek zijn ook de lijnen voor de 95%-waarden van de stabiele eindspanning geplot.



Figuur 9 Theoretische outputcurven van de CropScan reflectiemeter voor verschillende a 's ($c=1$ en $k=0,06$).

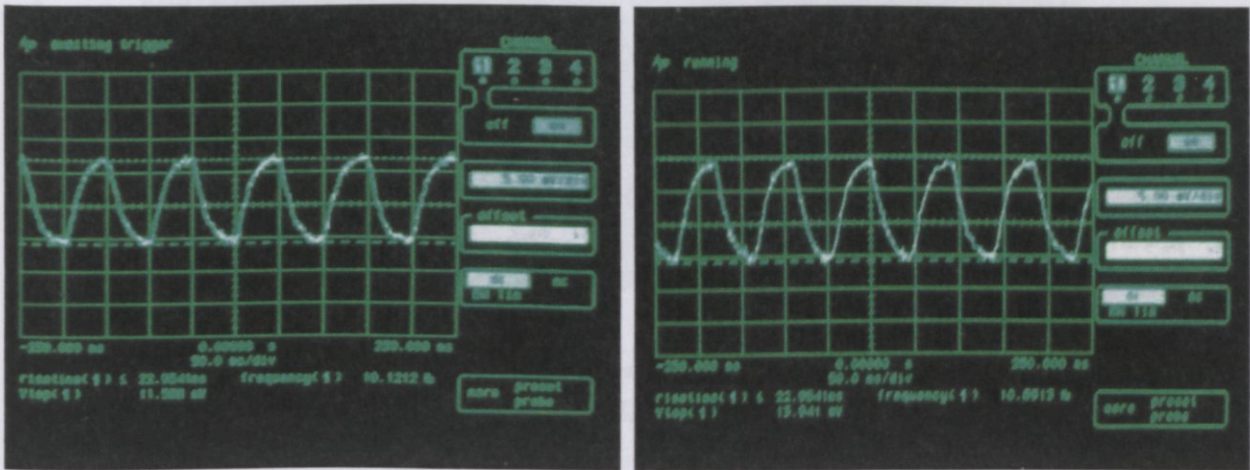
In Figuur 9 wordt duidelijk geïllustreerd dat de tijd (in dit geval 50 ms) die dit (fictieve) systeem er over doet om bijvoorbeeld 95% van de stabiele eindspanning te bereiken onafhankelijk is van de drijvende kracht.

Tijdens de laboratoriummetingen is de drijvende kracht (de hoeveelheid licht dat op de fotodioden terecht komt) gevarieerd door wel of niet een melkglas op de reflectiemeter te leggen. De tijd tot het bereiken van een stabiele eindspanning kan worden afgeleid door in de verschillende oscilloscoopbeelden de tijd te bepalen die het systeem er over doet om de stabiele eindspanning te bereiken. In Figuur 10 is output van de sensor afgebeeld bij een inputfrequentie van 18,55 Hz.



Figuur 10 De output op de oscilloscoop bij een inputfrequentie van 18,55 Hz (x-as = ms, y-as = mV).

De stijgtijd (25,9481 ms, linksonder in Figuur 10) en de frequentie (9,27778 Hz, midden-onder in Figuur 10) zoals die door de oscilloscoop wordt berekend moet met 2 worden vermenigvuldigd omdat het signaal alleen een positieve spanningscomponent kent. De scope 'verwacht' normaal gesproken een sinussignaal met zowel een positieve als een negatieve spanningscomponent. De stippellijn in de grafiek geeft de stabiele eindspanning weer. Deze is gelijk aan de spanning die door de reflectiemeter wordt afgegeven wanneer de LED's continu aan staan. Uit Figuur 10 blijkt dat de eindspanning bereikt wordt bij een frequentie van 18,55 Hz. Figuur 11 toont de output van de CropScan reflectiemeter bij 20,24 Hz en 21,78 Hz.



Figuur 11 De output op de oscilloscoop bij een inputfrequentie van 20,24 Hz (links) en 21,78 Hz (rechts) (x-as = ms, y-as = mV).

Uit de linker afbeelding in Figuur 11 blijkt dat de eindspanning nog maar net wordt bereikt. In de rechter grafiek wordt de eindspanning niet meer bereikt. Hieruit kan worden afgeleid dat bij frequenties lager dan 20 Hz de stabiele eindspanning altijd wordt bereikt. De frequentie van 20 Hz komt overeen met een stijgtijd van 50 ms. Deze karakteristieke stijgtijd is, zoals eerder vermeld, onafhankelijk van de grootte van de drijvende kracht.

Omdat de CropScan reflectiemeter een cirkelvormig oppervlak meet is het ingangssignaal aan de onderzijde van de sensor een gemiddelde voor de gewasreflectie in dat gebied. Hierdoor zal ook het ingangssignaal niet abrupt veranderen bij het meten van een overgang (Figuur 4).

Om bewegend te kunnen meten met de CropScan reflectiemeter is het van belang dat de sensor het ingangssignaal kan volgen. De stijging van het ingangssignaal is maximaal wanneer de CropScan zich midden boven een overgang in gewasreflectie bevindt (Figuur 4).

De stijgsnelheid van het ingangssignaal is afhankelijk van de voortbewegingssnelheid. Wanneer sneller over de overgang wordt bewogen zal ook de stijgsnelheid van het ingangssignaal van de reflectiemeter toenemen. Daarnaast is de stijgsnelheid van het ingangssignaal afhankelijk van de hoogte van de reflectiemeter boven het gewas. Als de reflectiemeter hoog boven het gewas wordt gehouden is het bemeten gebied groter en wordt de stijgsnelheid lager bij een gelijk blijvende voortbewegingssnelheid.

De reflectiemeter doet er 50 ms over om tot een stabiel outputsignaal te komen. Deze waarde is onafhankelijk van de grootteverandering van hetingangssignaal. Deze stijgtijd is dus constant, maar de stijgsnelheid van de sensor hangt af van de grootteverandering (stijgsnelheid) van het inputsignaal. De stijgsnelheid van hetingangssignaal is op haar beurt weer afhankelijk van de voortbewegingsnelheid en de hoogte van de reflectiemeter boven het gewas.

De maximale voortbewegingsnelheid van de reflectiemeter is een functie van de hoogte van de sensor boven het gewas en de karakteristieke stijgtijd van de sensor. Deze kan als volgt worden uitgedrukt:

$$v_{\max} = \frac{h_{cs}}{2 \cdot \tau_{cs}} \quad (2)$$

waarbij v_{\max} de maximale voortbewegingsnelheid in m s^{-1} , τ_{cs} de karakteristieke stijgtijd van de CropScan reflectiemeter in seconden en h_{cs} de hoogte van de sensor boven het object in meters weergeeft.

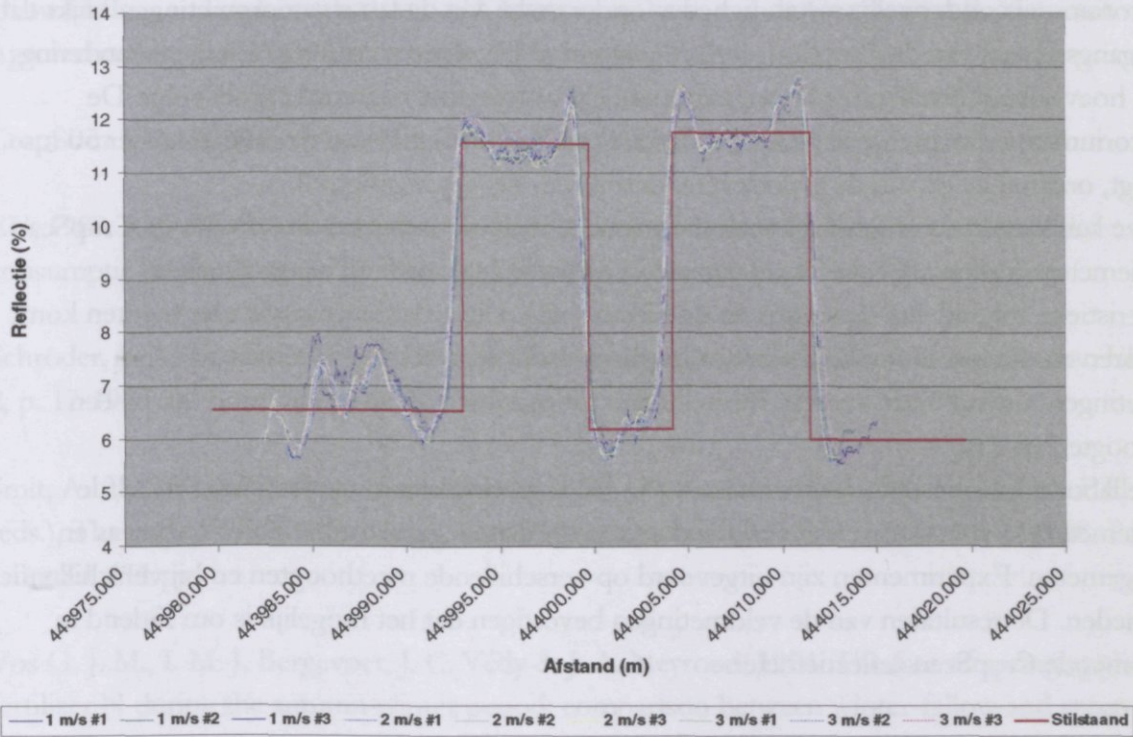
Wanneer een gemiddelde meethoogte van 2 m wordt gehanteerd, dan bedraagt de maximum meetsnelheid 20 m s^{-1} ofwel 72 km h^{-1} . In de praktijk ligt de snelheid waarmee wordt gemeten veel lager.

Het is ook mogelijk om andersom te redeneren: hoe groot zou de karakteristieke stijgsnelheid van de CropScan reflectiemeter moeten zijn om te kunnen reageren op schommelingen in gewasreflectie? Omdat de CropScan reflectiemeter wordt gebruikt in het veld zou deze moeten worden gemonteerd op een landbouwvoertuig om rijdend te meten. De maximum snelheid van dergelijke voertuigen bedraagt zo'n 40 km h^{-1} . Omstandigheden in het veld laten het vaak niet toe om harder te rijden dan $\approx 15 \text{ km h}^{-1}$ vanwege oneffenheden. Desalniettemin wordt bij de berekening uitgegaan van een voortbewegingsnelheid van 40 km h^{-1} . De hoogte tijdens het meten bedraagt in de praktijk tussen de 1,5 en 3 m. Om een worst-case scenario uit te werken wordt van een meethoogte van 1,5 m uitgegaan. De stijgtijd van de CropScan reflectiemeter mag dan maximaal 67,5 ms bedragen; uit de laboratoriummetingen blijkt dat de werkelijke stijgtijd kleiner is (50 ms). De CropScan reflectiemeter is daarmee geschikt voor het rijdend meten in het veld.

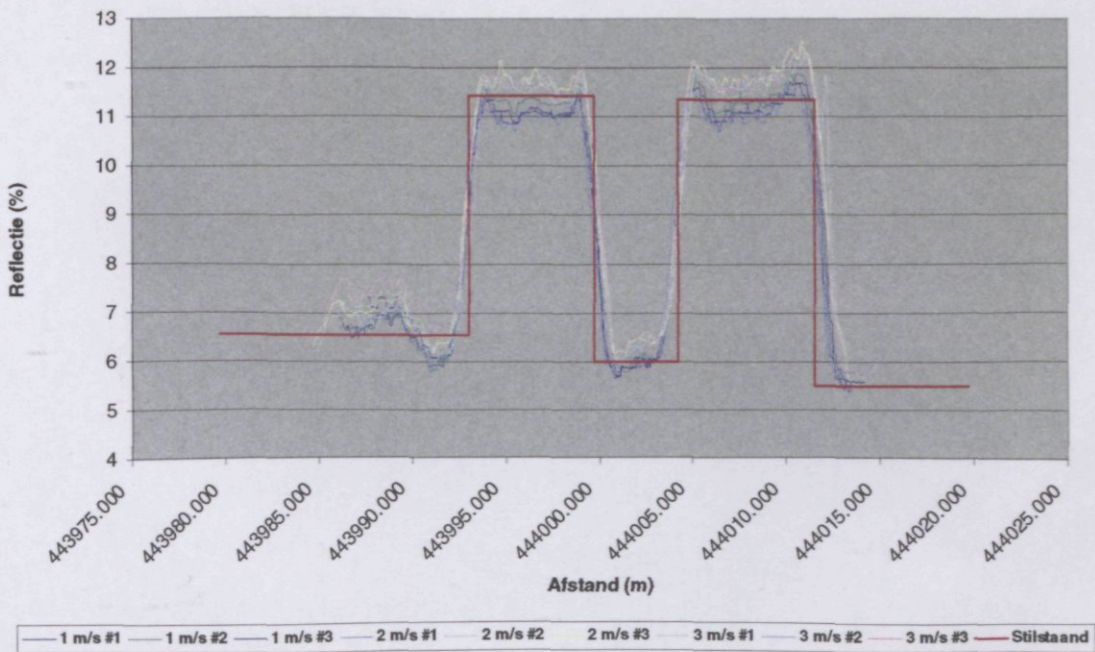
3.2 Reactiesnelheid van de reflectiemeter onder veldomstandigheden

Uit de laboratoriummetingen blijkt dat de CropScan reflectiemeter geschikt is voor het rijdend meten in het veld. Dit is gevalideerd met veldmetingen. Daarbij zijn de hoogte van de reflectiemeter en de rijnsnelheid gevarieerd. Er is gemeten met de reflectiemeter op 2 en 3 m hoogte en bij rijnsnelheden van 1,2 en 3 m s^{-1} in drie herhalingen. In de Figuren 12 en 13 zijn de resultaten van de veldmetingen voor een sensorhoogte van respectievelijk 2 en 3 m grafisch weergegeven. In beide grafieken zijn zowel de stilstaande als de rijdende metingen afgebeeld. Uit de figuren blijkt dat de CropScan reflectiemeter bij alle rijnsnelheden de veranderende reflecties

volgt. Het effect van de hoogte van de CropScan reflectiemeter is ook waar te nemen; de opgaande en neergaande flanken zijn iets steiler bij de lagere meetpositie (Figuur 12).



Figuur 12 De reflectie van verschillende objecten in het proefveld, rijdend en stilstaand gemeten bij een meethoogte van 2 meter (3 herhalingen).



Figuur 13 De reflectie van verschillende objecten in het proefveld, rijdend en stilstaand gemeten bij een meethoogte van 3 meter (3 herhalingen).

4 Conclusies

Het gedrag van de CropScan reflectiemeter onder dynamische omstandigheden is zowel onder laboratorium- als onder veldomstandigheden onderzocht. Uit de laboratoriummetingen blijkt dat het uitgangssignaal van de CropScan reflectiemeter ten gevolge van een plotselinge verandering van de hoeveelheid invallend licht een exponentiële functie met begrensde groei volgt. De laboratoriumexperimenten wijzen uit dat de karakteristieke stijgtijd van de reflectiemeter 50 ms bedraagt, onafhankelijk van de grootteverandering van het ingangssignaal.

Uit deze karakteristieke stijgtijd kan een theoretische maximum meetsnelheid voor de CropScan reflectiemeter worden afgeleid. De maximale voortbewegingssnelheid hangt af van de karakteristieke stijgtijd van de sensor en de meethoogte. Uit de laboratoriumexperimenten komt naar voren dat de reactiesnelheid van de CropScan reflectiemeter ruim toereikend is om veldmetingen rijdend uit te voeren. Rijsnelheden tot maximaal 20 m s^{-1} zijn mogelijk bij een meethoogte van 2 m.

Om de laboratoriumresultaten te verifiëren zijn veldexperimenten uitgevoerd met dezelfde reflectiemeter. Met de sensor zijn al rijdend een aantal aaneengeschakelde objecten gewas en grond gemeten. Experimenten zijn uitgevoerd op verschillende meethoogten en bij verschillende rijsnelheden. De resultaten van de veldmetingen bevestigen dat het mogelijk is om rijdend te meten met de CropScan reflectiemeter.

Literatuur

Achten, V.T.J.M., G.J. Molema, E.J.J. Meurs & D. Uenk, 2004. On-line N-bijmestadviesing: Ontwikkeling en Implementatie van een systeem op basis van de CropScan reflectiemeter. Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen, 35 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.

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. Védy & 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

De CropScan reflectiemeter wordt binnen het onderzoek van Wageningen-UR vaak gebruikt om gewasreflectie te bepalen. Metingen met dit multi-spectrale meetinstrument worden vrijwel altijd vanuit stilstand gedaan. Om het mogelijk te maken om ook grotere arealen met de CropScan reflectiemeter te scannen ligt het voor de hand om deze aan een bewegend platform te bevestigen. Hierbij is van belang of de reflectiemeter in staat is om snel genoeg te reageren op veranderingen in gewasreflectie. In dit onderzoek is de reactiesnelheid van de CropScan reflectiemeter onderzocht.

Om de reactiesnelheid van de reflectiemeter te bepalen onder laboratoriumomstandigheden is gebruik gemaakt van een functiegenerator die monochromatische LED's met een nominale golflengte van 660 nm van een blokspanning voorzagt. De respons van de reflectiemeter is gemeten bij verschillende frequenties van de functiegenerator. Het blijkt dat het uitgangssignaal van de CropScan reflectiemeter ten gevolge van een plotselinge verandering van de hoeveelheid invallend licht een exponentiële functie met begrensde groei volgt. Uit de metingen komt naar voren dat de sensor er 50 ms over doet om tot een stabiele outputspanning te komen. Deze karakteristieke stijgtijd is onafhankelijk van de grootte van de verandering in het inputsignaal. Uit de stijgtijd kan een theoretische maximum meetsnelheid voor de CropScan reflectiemeter worden afgeleid. Deze maximale meetsnelheid is afhankelijk van de karakteristieke stijgtijd van de sensor en de meethoogte. Uit de laboratoriumgegevens kan worden berekend dat rijnsnelheden tot 20 m s^{-1} mogelijk zijn bij een meethoogte van 2 m.

Om de laboratoriumresultaten te verifiëren zijn veldexperimenten uitgevoerd met dezelfde reflectiemeter. Met de sensor zijn al rijdend een aantal aaneengeschakelde objecten gewas en grond gemeten. De resultaten van deze metingen laten zien dat de reflectiemeter de sterke overgangen goed kan volgen. Dit bevestigt de laboratoriummetingen. Het is mogelijk om rijdend te meten met de CropScan reflectiemeter.

Dankbetuiging

Hierbij danken wij Randy Wilbrink voor zijn bijdrage aan het tot stand komen van dit rapport.