PLANT RESEARCH INTERNATIONAL

Voorspellen van droogtestress bij aardappelplanten uit reflectiemetingen aan het gewas: relatie tussen bodemvocht en ratios van pieken en reflectiemetingen

P.F.G. Vereijken



PRAKTIJKONDERZOEK
PLANT & OMGEVING

Nota 167

WAGENINGEN UR

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL

Voorspellen van droogtestress bij aardappelplanten uit reflectiemetingen aan het gewas: relatie tussen bodemvocht en ratios van pieken en reflectiemetingen

P.F.G. Vereijken[1)]

[1)] Biometris is een samenwerkingsverband tussen leerstoelgroep wiskundige en statistische methoden van Wageningen Universiteit en het centrum voor Biometrie van Plant Research International

Plant Research International B.V., Wageningen
maart 2002

Nota 167

WAGENINGEN UR

© 2002 Wageningen, Plant Research International 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, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres	:	Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
	:	Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel.	:	0317 - 47 70 00
Fax	:	0317 - 41 80 94
E-mail	:	post@plant.wag-ur.nl
Internet	:	http://www.plant.wageningen-ur.nl

Inhoudsopgave

		pagina
1.	Inleiding	1
2.	Materiaal en methoden	3
3.	Statistische analyse	5
4.	Resultaten	7
5.	Discussie	9
Bijlage I.	Waargenomen bodemvocht (volume %) profielen en dagen cropscan metingen	4 pp.
Bijlage II.	Spectraal metingen en pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	8 pp.
Bijlage III.	Waargenomen bodemvocht profielen in 1999 en geschatte bodemvochtwaarden op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	3 pp.
Bijlage IV.	Waargenomen vocht volume % profielen in 2000 en voorspelde vocht % op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	3 pp.
Bijlage V.	Illustratie van de instabiliteit van veldspecifieke calibratiefuncties. 1999 data met calibratiefunctie veld KB9020dry als voorspeller voor de andere velden	3 pp.

1. Inleiding

Gedurende de teelt van aardappelen kan droogtestress optreden. Bij uitblijven van natuurlijke neerslag kan niet tijdig beregenen leiden tot opbrengstverlies. Bij telers is behoefte aan een snelle en goedkope meetmethode in het veld op grond waarvan bij uitblijven van natuurlijke neerslag het optreden van waarschijnlijke droogtestress op korte termijn kan worden voorspeld. Bij verwachte droogtestress en ongunstige weersvooruitzichten kan dan worden besloten om het gewas te beregenen. De belangrijkste onderzoeksvraag is of reflectiemetingen aan het gewas als indicator voor droogtestress kunnen worden gebruikt. Ultieme doel van het onderzoek is te komen tot een betrouwbaar signaleringssysteem voor droogtestress op grond van lichtreflectiemetingen aan het gewas in het veld.

Er is een pilot-studie uitgevoerd met 8 proefvelden. Voor elk proefveld zijn gedurende het groeiseizoen dagelijks met de environscan methode de volumepercentage water gemeten op 5 dieptes in het voor de aardappelplanten relevante deel van de bodem. Daarnaast zijn op een beperkt aantal dagen lichtreflectiemetingen bij 16 geselecteerde golflengtes gedaan met de cropscan methode. De vraag was of de bodemvocht profielen kunnen worden gereconstrueerd uit de spectrale gewasmetingen. Er zijn legio regressiemodellen in de reflectiescores mogelijk. Meer concreet was de vraag of een viertal ratios van pieken van reflectiemetingen hiervoor konden worden gebruikt.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de aanpak en de resultaten van het verrichte onderzoek naar de relatie tussen volume percentages bodemvocht en de geselecteerde pieken ratio's. Daarnaast worden een aantal opmerkingen gemaakt bij de opzet en uitvoering van de pilot-studie, alsmede bij de weg waarlangs het ultieme doel te bereiken.

2. Materiaal en methoden

De pilot-studie

De pilot-studie is in 1999 en 2000 uitgevoerd. Er was sprake van 8 proefvelden waarvan de helft gelegen op zandgrond en de andere helft op dalgrond. De codering van de proefvelden, alsmede een korte beschrijving van de proefvelden is onderstaand weergegeven:

KB9020_droog	KB9020, 1999, veld 14, droog, N1, Seresta
KB9020_beregend	KB9020, 1999, veld 23, beregend, N1, Seresta
KP9039_droog	KP9039, 1999, veld 19, droog, N1, Seresta
KP9039-beregend	KP9039, 1999, veld 17, beregend, N1, Seresta
KP9060_droog	KP9060, 2000, veld 18, droog, N2, Seresta
KP9060_beregend	KP9060, 2000, veld 20, beregend, N2, Seresta
KB9036_droog	KB9036, 2000, veld 22, droog, N2, Seresta
KB9036_beregend	KB9036, 2000, veld 13, beregend, N2, Seresta

De KB percelen betroffen zandgrond met een organische stofgehalte van 4-5% en de KP percelen betroffen veenkoloniale dalgrond met een organische stofgehalte van 10-20%.

Voor elk proefveld zijn enviroscan en cropscanmetingen op één vaste plek in het veld verricht. Middels 5 sensoren zijn bodemvochtmetingen gedaan. De eerste sensor bevond zich aan de onderkant van de zandrug (10 cm onder de top van de zandrug en net onder de gepote aardappel). De tweede, derde, vierde en vijfde sensor bevonden zich op 20, 30, 50 en 70 cm onder de top van de zandrug. De sensoren 1, 2 en 3 bestreken de wortelzone van de aardappelplant in het begin van het groeiseizoen. Rond half juni komen de wortels pas in de buurt van de vierde sensor. Voor de toplaag met de eerste sensor is het effect van instraling het grootst. De bodemvochtmetingen van de eerste sensor bevatten daarom de meeste ruis. De verwachting was dat de metingen van de sensoren 2 en 3 de meeste informatie leveren met betrekking tot de vochtvoorziening van de aardappel planten. Gedurende het groeiseizoen zijn dagelijks om het uur meermalen bodemvochtmetingen verricht. Gedurende het groeiseizoen zijn op een beperkt aantal dagen (8 tot 14) cropscan metingen verricht in de namiddag. Een overzicht van de gemeten enviroscan en cropscan- variabelen is opgenomen in de onderstaande tabel.

Variabele	Omschrijving	Eenheid
Nr.	Number	
Datum	Date enviroscan	
Tijd	Time Enviroscan	
10 cm	Soil moisture at 0 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
20 cm	Soil moisture at 5 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
30 cm	Soil moisture at 15 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
50 cm	Soil moisture at 35 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
70 cm	Soil moisture at 55 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
V0-15	Soil layer 0-15 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V15-25	Soil layer 15-25 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V25-40	Soil layer 25-40 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V40-60	Soil layer 40-60 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V60-100	Soil layer 60-100 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
CUMV0-40	Soil layer 0-40 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
CUMV0-60	Soil layer 0-60 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
DATE	Date cropscan	
TIME	Time cropscan	
ANG	Ang cropscan	
IRR	Irradiation	
460	Wavelength 460 nm, PRI	
507	Wavelength 507 nm, PRI	
559	Wavelength 559 nm, PRI	
610	Wavelength 610 nm, PRI	
661	Wavelength 661 nm, PRI	
680	Wavelength 680 nm, PRI	
710	Wavelength 710 nm, PRI	
740	Wavelength 740 nm, PRI	
760	Wavelength 760 nm, PRI	
780	Wavelength 780 nm, PRI	
810	Wavelength 810 nm, PRI	
870	Wavelength 870 nm, PRI	
950	Wavelength 950 nm, PRI	
1091	Wavelength 1091 nm, PRI	
1220	Wavelength 1220 nm, PRI	
1600	Wavelength 1600 nm, PRI	
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index green, PRI	
FINTGRN	Light interception, green, PRI	
Red Edge	Red edge index, PRI	
Labda Red Edge	Labda red edge, PRI	
WDVI-rood	Weighted Difference Vegetation Index red, PRI	
FINTRED	Light interception, red, PRI	
Rw1	R810/R1600	
Rw2	R810/R950	
Rw3	R810/R1091	

In 2000 is het filter met golflengte 1600 nm in het apparaat vervangen door een filter met golflengte 1650 nm. Omdat 1999 vrij droog was zijn op de zandgronden (KB percelen) mogelijk meer effecten van droogtestress aanwezig. De pieken ratios Rw1 (R810/R1600), Rw2 (R810/R950), Rw3 (R810/R1091) en Rw4 (R810/R1220) zijn een maat voor de vochtinhoud van het gewas en zijn gebruikt om vocht volume percentage in de verschillende bodemlagen te voorspellen.

3. Statistische analyse

Beschrijvend: per veld zijn per laag van de bodemvocht metingen daggemiddelden berekend. Grafieken met de bodemvochtprofielen van de daggemiddelden zijn per veld gemaakt voor een indruk van zowel het niveau als het verloop van bodemvocht in de diverse bodemlagen gedurende het groeiseizoen. In de grafieken met bodemvochtprofielen zijn de dagen gemarkeerd waarop cropscan metingen zijn gedaan. Dit is gedaan voor een indruk van de resolutie van de benaderende bodemvochtprofielen, welke zouden zijn verkregen wanneer bodemvocht enkel op de cropscan dagen zou zijn gemeten en voor de andere dagen bodemvocht zou zijn berekend door interpolatie van de vochtscores op de cropscan dagen. De geïnterpoleerde profielen is het beste wat men mag verwachten bij voorspellen van bodemvocht uit cropscan metingen. Door deze benaderende vochtprofielen te vergelijken met de 'volledige' profielen van de daggemiddelden ziet men wat aan locale pieken en dalen wordt gemist. Feitelijk dient eerst te worden nagegaan of uit de 'volledige' vochtprofielen en andere vereiste inputs (ontwikkelingsstadium van het gewas, bodemtype en de verwachte weersvooruitzichten, etc.) vermoedelijke periodes van droogtestress kunnen worden berekend. Vervolgens kan worden nagegaan of de resolutie van de benaderende vochtprofielen groot genoeg is voor de berekening van deze vermoedelijke periodes van droogtestress of dat meer frequente cropscan metingen wenselijk zijn. In het uiterste geval dienen dagelijks cropscan metingen te worden gedaan. Het voor de droogte stress berekening gebruikte rekenmodel laat bovendien zien welke vochtinput vereist is en of vochtgegevens in de afzonderlijke lagen perse nodig zijn.

Voorspellen van bodemvocht volume % uit reflectie ratios

Voor de beschrijving van de relatie tussen daggemiddelden van bodemvocht volume% en de pieken ratios Rw1=R810/R1600 (R810/R1650 voor de 2000 data), Rw2=R810/R950 en Rw3=R810/R1090 en Rw4=R810/R1220 is gebruik gemaakt van de volgende calibratiefunctie:

$$\text{Bodemvochtvol \%} = b0 + b1 \times Rw1 + b2 \times Rw2 + b3 \times Rw3 + b4 \times Rw4 \qquad (1)$$

In model (1) stelt b0 het niveau voor en zijn b1 tot en met b4 regressiecoëfficiënten.

Omdat beschikbaarheid van bodemvocht voor de planten als vochtopname efficiëntie afhangen van de bodemstructuur kunnen metingen van verschillende bodems niet zondermeer op een hoop worden gegooid. Voor elk veld is per laag aan de gemeten vochtdata middels lineaire regressie calibratiefunctie (1) aangepast. Daarbij is aangenomen dat de residuele bijdragen onderling onafhankelijk verdeeld zijn met gemiddelde 0 en constante variantie σ^2. Omdat per veld slechts op 8 tot 14 dagen cropscan metingen zijn gedaan is het aantal meetpunten voor het berekenen van de calibratiefunctie erg beperkt. Als maat voor de kwaliteit van veldspecifieke calibratiefuncties is de gemiddelde procentuele schattingsfout berekend. Voor een beeld van de kwaliteit van de gefitte calibratiefuncties zijn grafieken gemaakt van de gemeten vochtwaarden en de onder het model geschatte vochtwaarden. Verder is voor de 1999 data onderzocht of verschillende calibratiefuncties per veld wenselijk zijn of dat met één calibratiefunctie voor de 4 proefvelden kan worden volstaan. Hetzelfde is gebeurd voor de data uit 2000. Een indruk van de voorspelkwaliteit van een gefitte calibratiefunctie voor andere velden wordt verkregen door de gemiddelde procentuele voorspelfout te berekenen en gemeten en voorspelde vochtwaarden grafisch weer te geven.

4. Resultaten

De grafieken van de waargenomen bodemvochtprofielen zijn opgenomen in Bijlage I. Uit de grafieken blijkt dat de resolutie van de benaderende bodemprofielen, gebaseerd op de vochtmetingen op de dagen dat cropscan metingen zijn verricht, niet altijd even hoog is en dat locale pieken en dalen gemist worden. Of de afwijkingen acceptabel zijn hangt af van de grootte van de afwijkingen die acceptabel zijn bij de berekeningen van droogtestress. Of de resolutie voor het berekenen van droogtestress voldoende is dient te worden nagegaan.

In Bijlage II zijn grafieken opgenomen van de spectrale metingen per meettijdstip. Daarnaast zijn profielen opgenomen van de gemeten ratios van pieken van reflectiemetingen. De grafieken geven een beeld van het verloop in de tijd van de gebruikte variabelen in de calibratiefunctie.

Grafieken van de geschatte bodemvocht % voor de verschillende velden onder calibratiefunctie (1) en van de waargenomen bodemvochtprofielen zijn opgenomen in de Bijlagen III en IV. Op grond van de gefitte waarden lijken veld specifieke calibratiefunctie de vochtdata redelijk te kunnen reconstrueren. Bij het vergelijken van calibratiefuncties van verschillende velden is middels regressieanalyse onderzocht in hoeverre er aanwijzingen zijn voor niveau verschillen tussen velden, constante regressiecoëfficiënten voor verschillende velden en of veldspecifieke regressiecoëfficiënten. In de Tabellen 1 en 2 zijn respectievelijk voor de data uit 1999 en uit 2000 opgenomen de F ratios (verhouding van gemiddelde kwadraatsom voor te toetsen effect en gemiddelde restkwadraatsom (MSE). Tevens zijn de berekende p-waarden van de F-toetsen en de procentuele schattingsfouten opgenomen.

Tabel 1. Berekende F-ratios, mean squared error, procentuele fouten bij aanpassen van veldspecifieke calibratiefunctie aan vocht volume % data uit 1999.

Variatiebron	df	Vol% 10 cm	Vol% 20 cm	Vol% 30 cm	Vol% 50 cm	Vol% 70 cm
Veldspecifieke niveaus	3	18.6***	18.1***	10.5***	112***	507***
Constante regressiecoëfficiënten b1…b4	4	3.8**	1.7	1.8	1.7	2.8*
Veldspecifieke regressiecoëfficiënten b1…b4	12	3.0**	3.4**	5.7***	5.6***	3.3**
MSE	35	10.6	12.2	11.0	2.8	3.1
%fout KB9020dry		25	25	19	12	1.3
%fout KB9020wet		15	10	8	15	16
%fout KP9039dry		31	28	18	5	0.3
%fout KP9039wet		10	16	13	4	5

* *P< 0.05;*
** *P< 0.01;*
*** *P< 0.001, refererend aan een F verdeling, waarbij model termen in volgende rijen niet zijn meegenomen*

Tabel 2. Berekende F-ratios, mean squared error, procentuele fouten bij aanpassen van veldspecifiek calibratiefunctie aan vocht volume % data uit 2000.

Variatiebron	df	Vol% 10 cm	Vol% 20 cm	Vol% 30 cm	Vol% 50 cm	Vol% 70 cm
Veldspecifieke niveaus	3	26.7***	249***	366***	1168***	6947***
Constante regressiecoëfficiënten b1…b4	4	5.6**	4.6**	8.8***	2.2	3.0
Veldspecifieke regressiecoëfficiënten b1…b4	12	1.3	1.4	1.4	0.8	1
MSE	22	4.0	3.4	1.9	1.4	0.3
%fout KP9060dry		10	6	3	0.3	0.3
%fout KP9060wet		10	7	6	1.0	0.3
%fout KB9036dry		22	15	8	10	2.8
%fout KB9036wet		20	13	7	8	4.1

* *P< 0.05;*
** *P< 0.01;*
*** *P< 0.001, refererend aan een F verdeling, waarbij model termen in volgende rijen niet zijn meegenomen*

De analyse resultaten in Tabel 1 en 2 wijzen uit dat sprake is van niveau verschillen tussen de velden, alsmede dat voor de 1999 data veldspecifieke calibratiefuncties wenselijk zijn. Dit houdt in dat gefitte calibratiefuncties geen of nauwelijks voorspellende waarde behoeven te hebben bij gebruik voor nieuwe velden. Ter illustratie van de instabiliteit van gefitte calibratiefuncties is voor de 1999 data de calibratiefunctie voor veld KB9020 droog gebruikt als voorspeller voor de overige drie velden. De grafieken met waargenomen bodemvochtprofielen en voorspelde bodemvocht waarden zijn opgenomen in Bijlage V. De grafieken wijzen uit dat een gefitte calibratiefunctie voor nieuwe velden geen voorspellende waarde heeft.

Conclusies: analyse van de data van de pilot-studie heeft uitgewezen dat:

- Pieken van reflectiemetingen kunnen worden gebruikt voor de reconstructie van bodemvocht volume%. Van belang is wel zich te realiseren dat de berekende procentuele schattingsfouten mogelijk een te optimistisch beeld geven wanneer de calibratiefunctie voor andere plekken op een veld zou worden gebruikt aangezien de calibratiefunctie enkel betrekking heeft op de plek specifieke situatie.
- Veldspecifieke calibraties wenselijk zijn en gefitte calibratiefuncties instabiele voorspellers blijken te zijn bij gebruik voor andere velden.

5. Discussie

Vereiste meetfrequentie spectraal metingen

Essentieel voor het onderzoek is dat de berekeningsmethode bekend is om uit 'complete' bodemvocht-profielen en andere vereiste input vast te stellen in welke periodes sprake is van vermoedelijke droogte-stress tijdens het groeiseizoen. Daarbij wordt ook duidelijk welke inputs nodig zijn en in welke vorm. Voor de vocht input is het van belang te weten of informatie over bodemvocht per laag perse nodig is of dat met een geaggregeerde vochtmetingen gerekend wordt. Verder dient te worden nagegaan of dagelijkse vochtmetingen nodig zijn of dat kan worden volstaan met een grid van vochtmetingen gedurende het seizoen en hoe fijn dat grid dan wel dient te zijn.

Smoothing van vochtdata

Spectrale metingen hebben betrekking op de plant. In het verrichte onderzoek werd bodemvocht gemeten op de dagen van de reflectiemetingen gerelateerd aan pieken ratios van spectraal metingen. Vraag is hoe snel de plant op bodemvocht reageert. Feitelijk dienen de mechanismen bekend te zijn. Wellicht geven bodemvochtmetingen op hetzelfde tijdstip als dat van de spectraalmetingen minder hoge correlaties dan een geaggregeerde maat voor bodemvocht in een korte periode direct voorafgaand aan het tijdstip van de cropscan meting. Als maat voor de droogte toestand in deze periodes zou het gemiddelde vochtpercentage kunnen worden genomen. Optimale lengte van de periode te berekenen door lengte te variëren en na te gaan voor welke lengte correlatie het grootst is.

Veldspecifieke calibratiefuncties

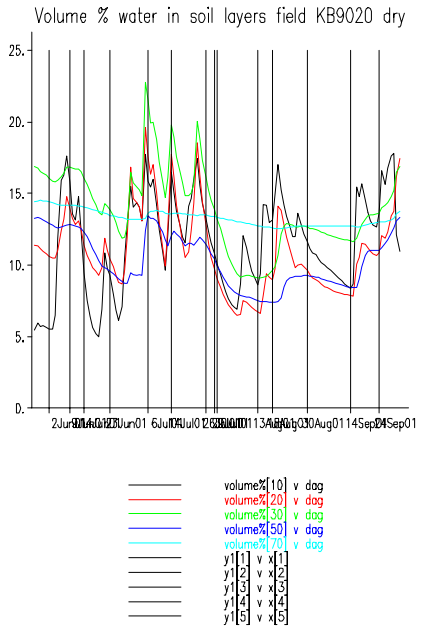
Analyse heeft uitgewezen dat niet met één calibratiefunctie voor verschillende velden kan worden volstaan. Centraal staat de vraag waar de verschillen vandaan komen en hoe hierop vat te krijgen. Feitelijk betreft het complexe data waarbij sprake is van variatie tussen velden en variatie binnen velden. In de pilot-studie werd niet op meerdere plekken binnen hetzelfde veld gemeten. Indien dit wel was gebeurd, had men een beeld gekregen van verschillen tussen plekken, zou een grotere en ruimere verzameling van data voor aanpassen van de calibratiefunctie zijn verkregen en zou een interne validatie van het gefitte calibratiefunctie mogelijk geweest zijn. Bovendien had men kunnen beschikken over schattingen van procentuele voorspelfouten bij gebruik van de calibratiefunctie voor het hele veld. In de pilot-studie is echter maximaal ingezet op variatie tussen velden door één veld te nemen voor elk van de 8 mogelijke instellingen van de proeffactoren: soort grond, wel of geen beregening en de N gift. Feitelijk behoefte aan hiërarchische calibratiefuncties waarin rekening wordt gehouden met variatie tussen en binnen velden. De situatie is hopeloos ingeval elke veldsituatie op zich zelf blijkt te staan. Gehoopt wordt echter dat verschillen tussen velden in belangrijke mate systematisch zijn en veroorzaakt worden door enkele proeffactoren (bodemstructuur, etc.) en de overblijvende variatie tussen velden klein is.

Voor toekomstige proeven voor opstellen van vocht calibratiefuncties wordt geadviseerd op meerdere plekken binnen een veld te meten. Verder wordt geadviseerd meerdere velden bij elke combinatie van instellingen van voor verschillen tussen velden belangrijk geachte factoren mee te nemen.

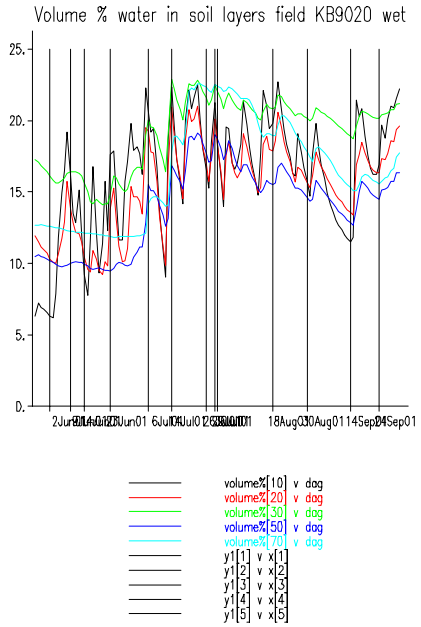
In calibratie model rekening houden met niveaus en regressiecoëfficiënten die af mogen hangen van de instellingen van de proeffactoren, alsmede met additionele random effecten voor residuele niveauverschillen en voor residuele verschillen tussen regressiecoëfficiënten van de velden na afsplitsing van eerder genoemde vaste effecten. Bovengenoemde aanpak leidt tot specifieke calibratiefuncties voor elke combinatie van instellingen van deze factoren.

Bijlage I.

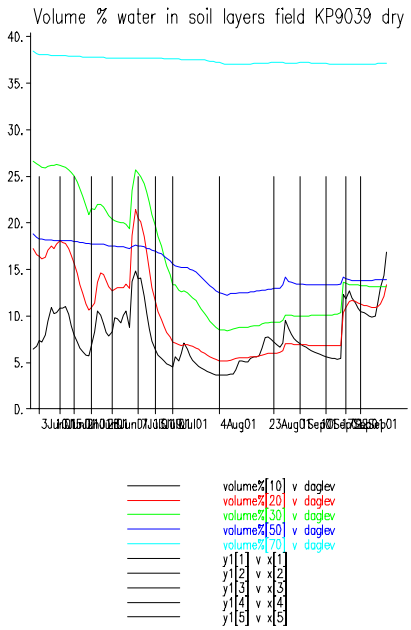
Waargenomen bodemvocht (volume %) profielen en dagen cropscan metingen



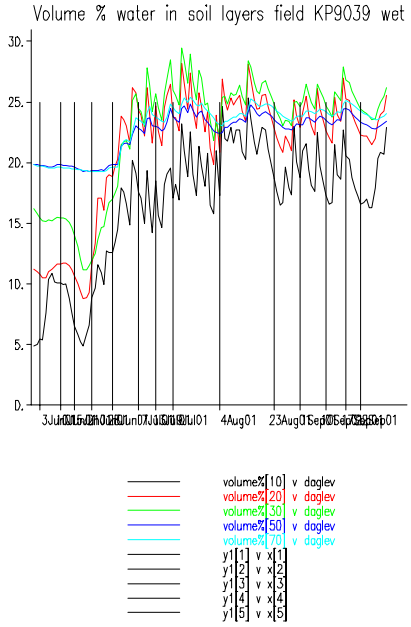
Figuur I-1. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KB9020dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



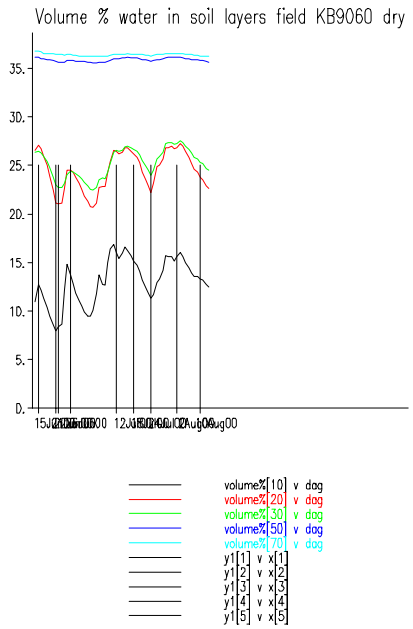
Figuur I-2. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KB9020wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



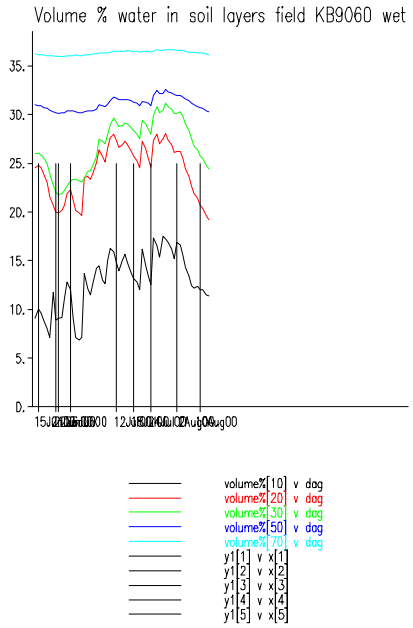
Figuur I-3. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9039dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



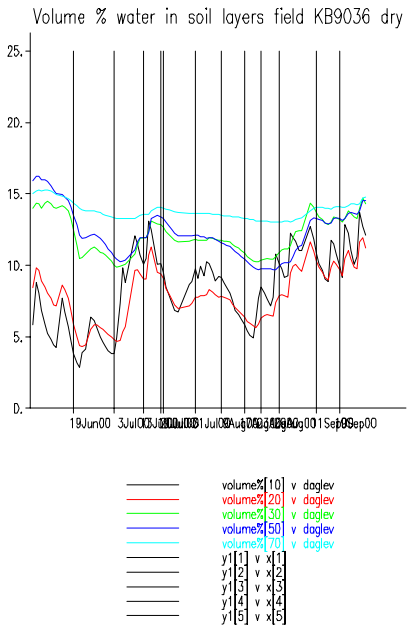
Figuur I-4. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9039wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



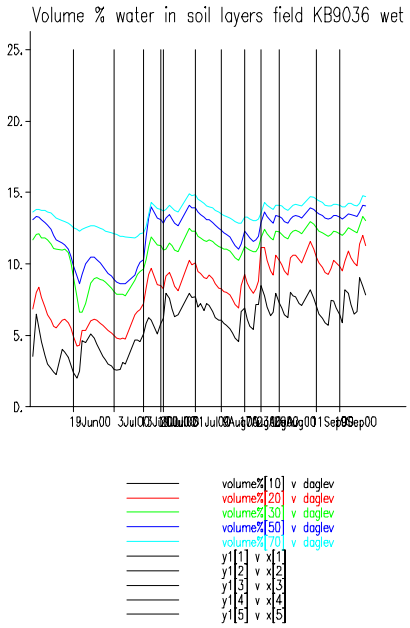
Figuur I-5. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9060dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven



Figuur I-6. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9060wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



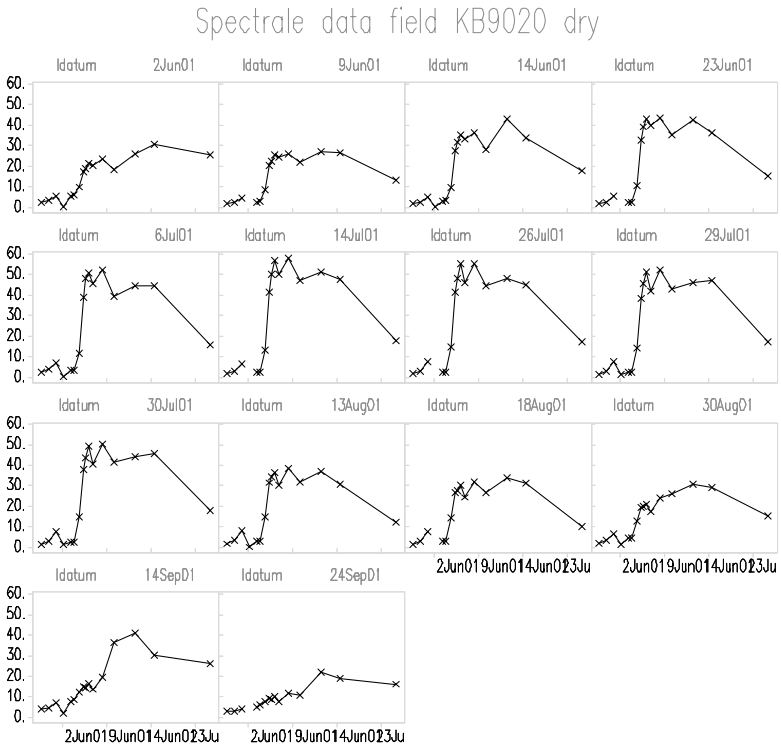
Figuur I-7. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9036dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven



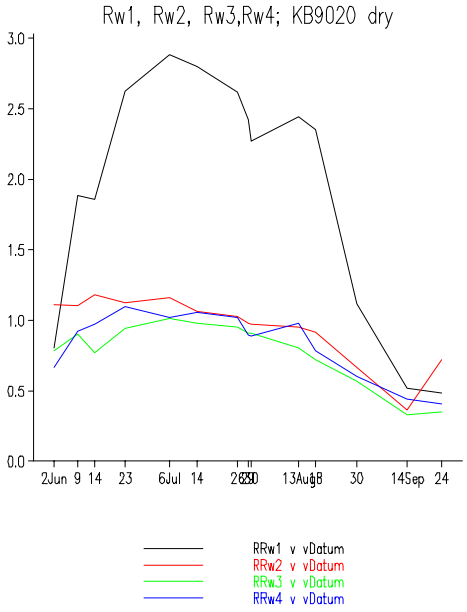
Figuur I-8. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9036wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.

Bijlage II.

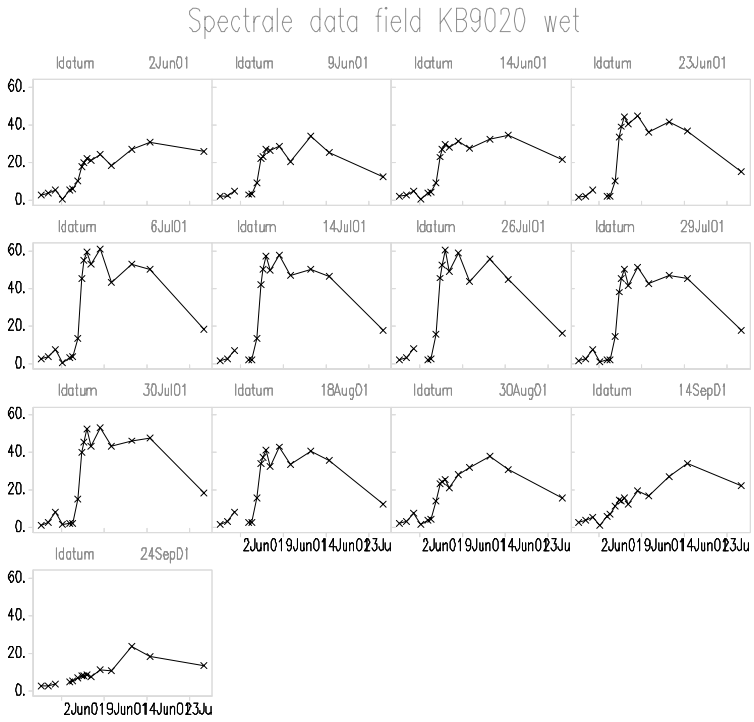
Spectraal metingen en pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



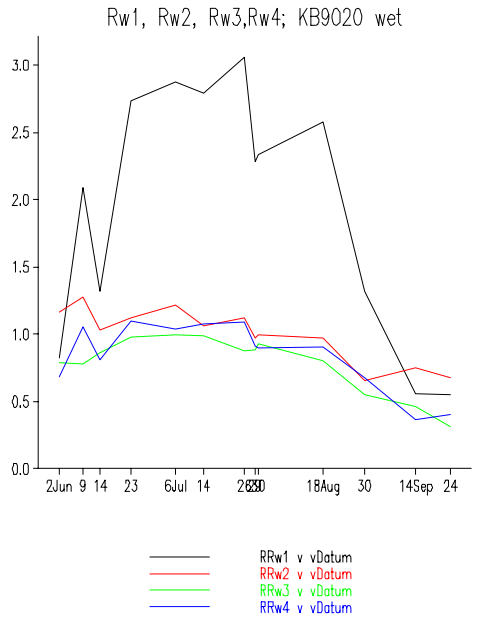
Figuur II-1. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9020dry.



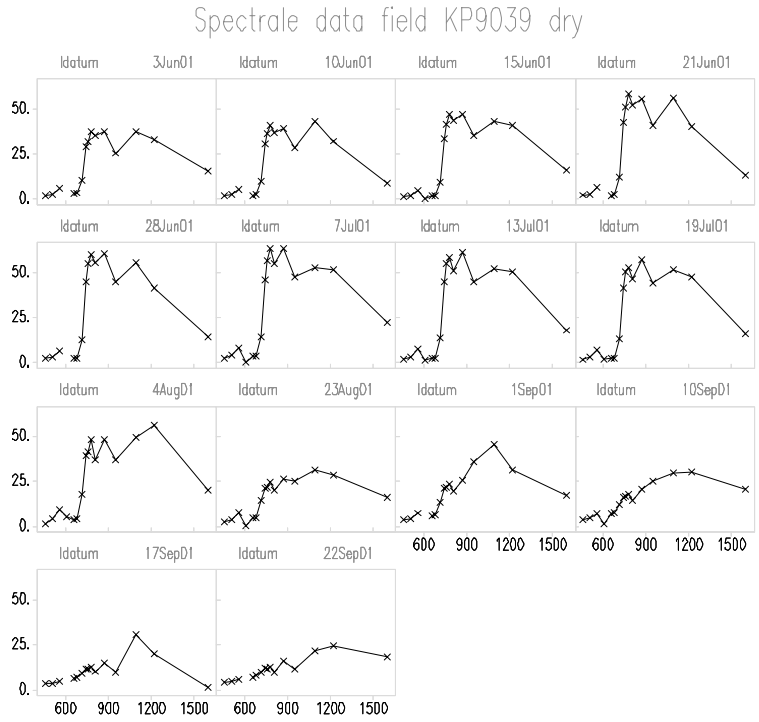
Figuur II-2. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 voor veld KB9020dry.



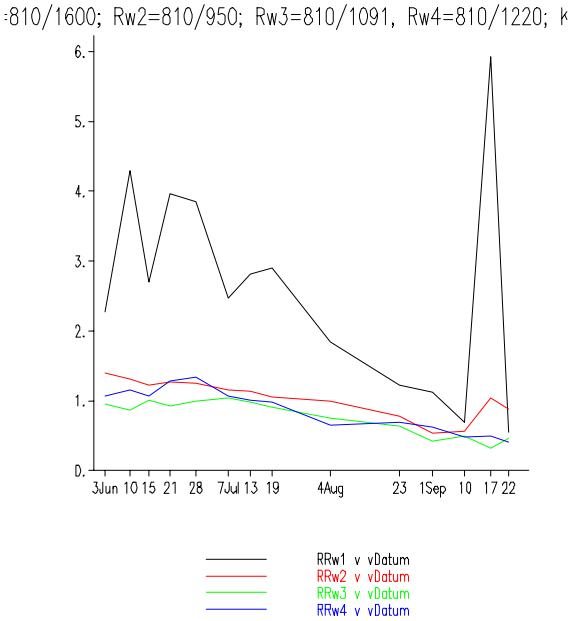
Figuur II-3. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9020wet.



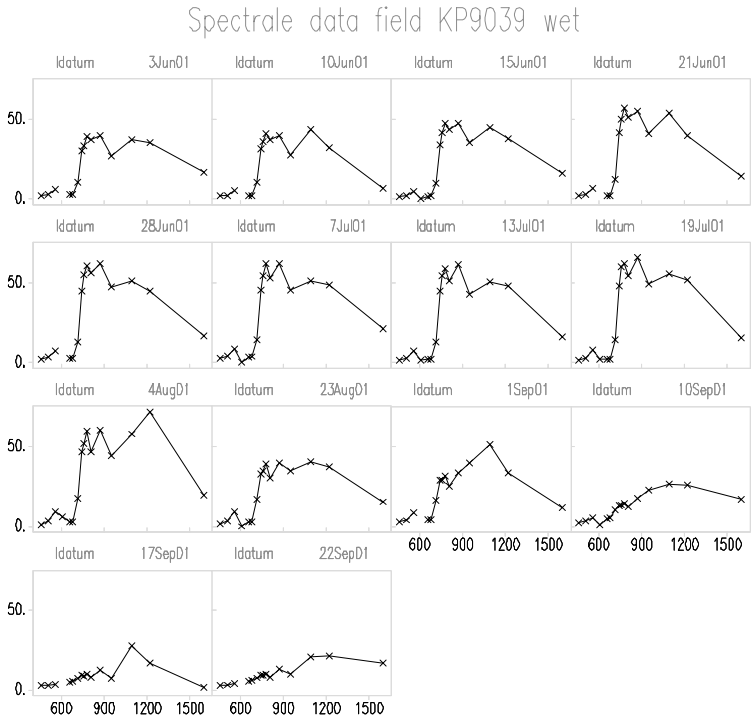
Figuur II-4. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 voor veld KB9020 wet.



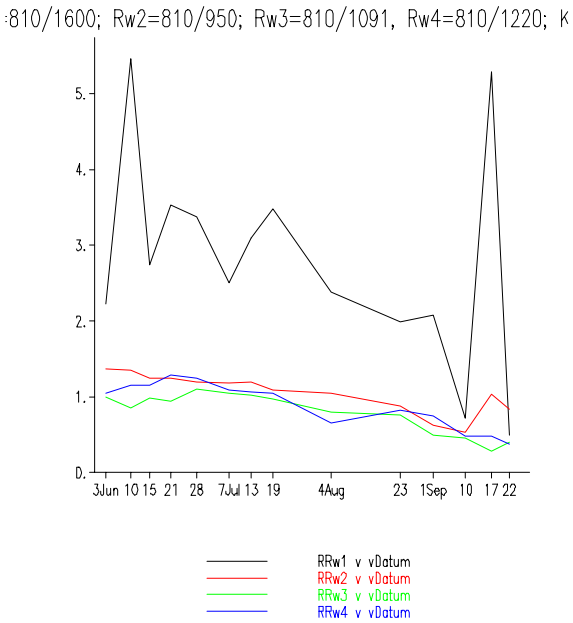
Figuur II-5. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9039 dry.



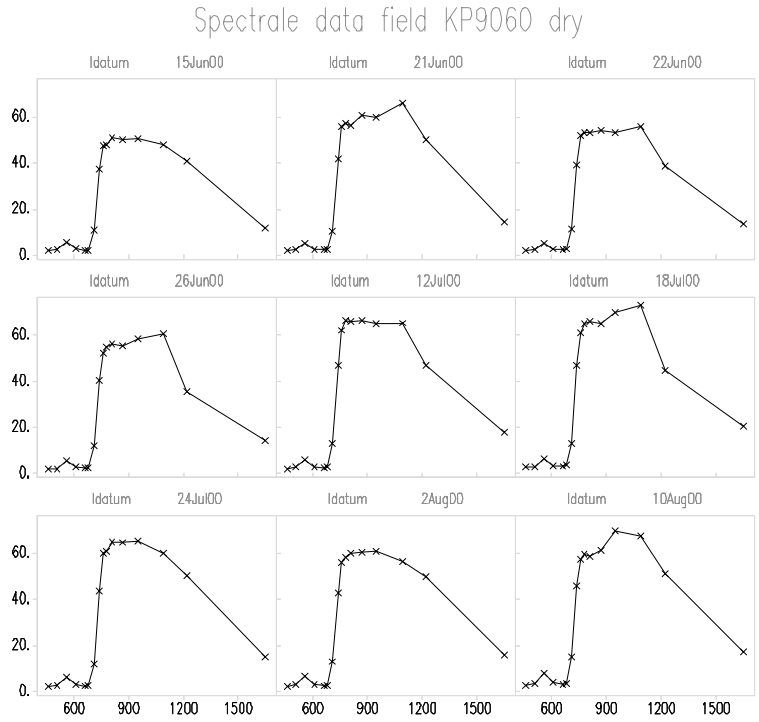
Figuur II-6. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9039 dry.



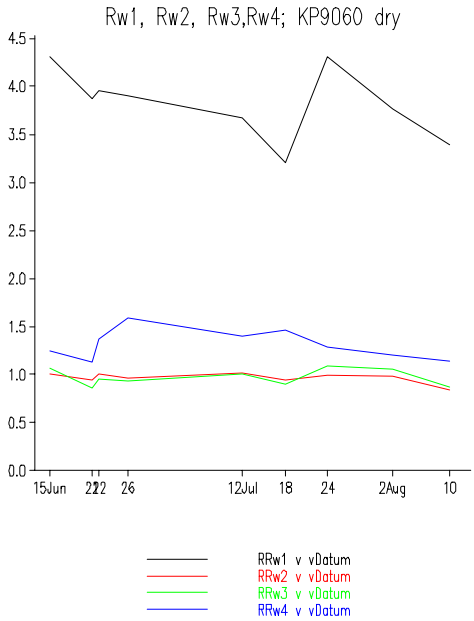
Figuur II-7. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9039 wet.



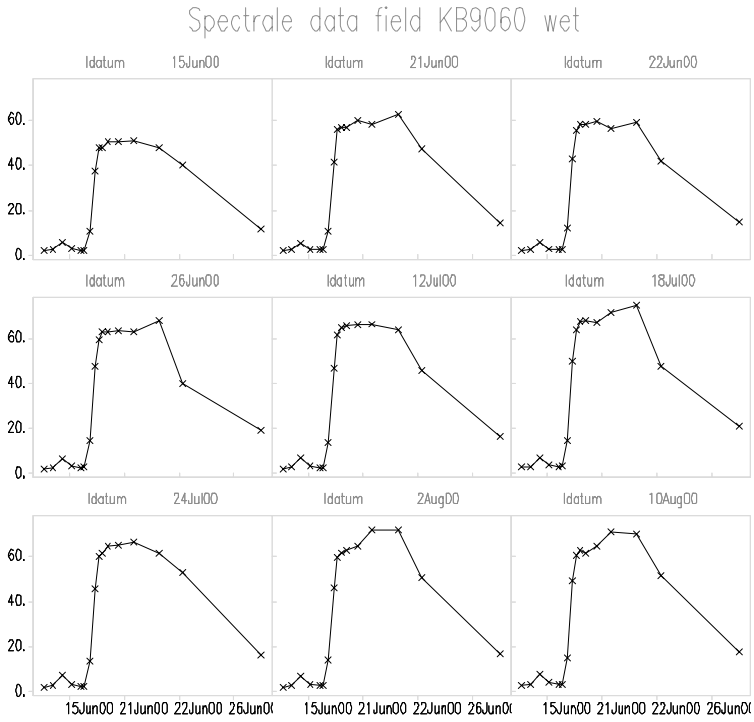
Figuur II-8. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9039 wet.



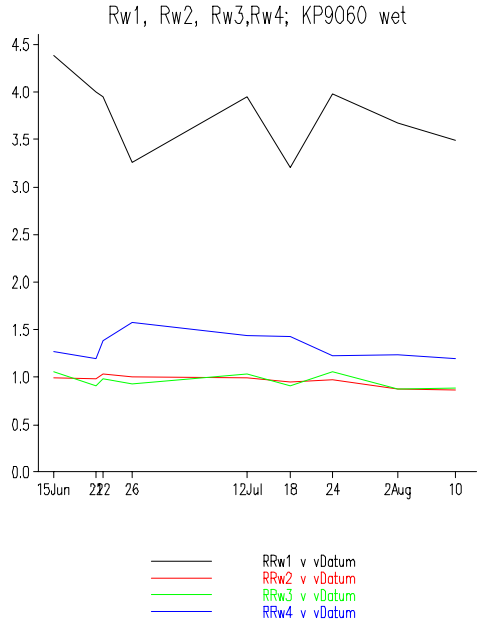
Figuur II-9. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9060 dry.



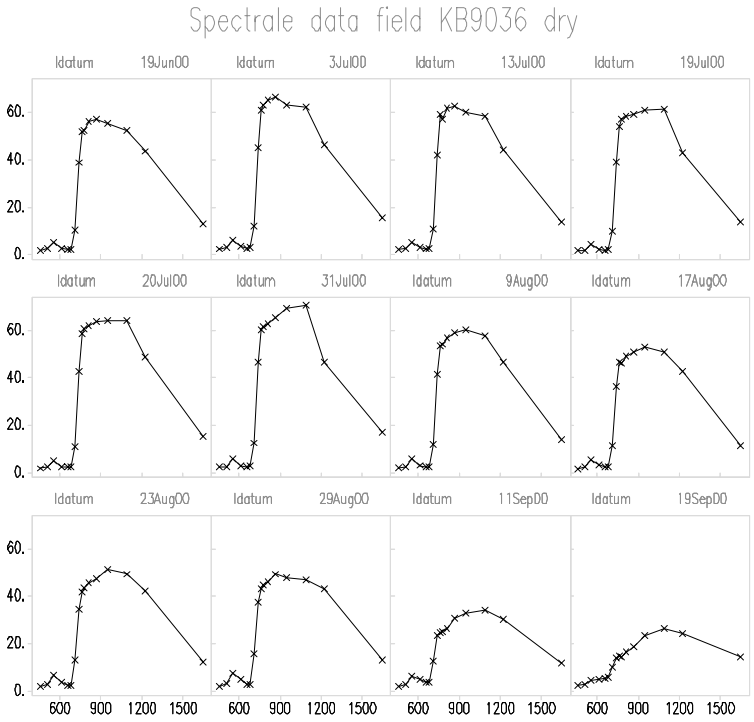
Figuur II-10. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9060 dry.



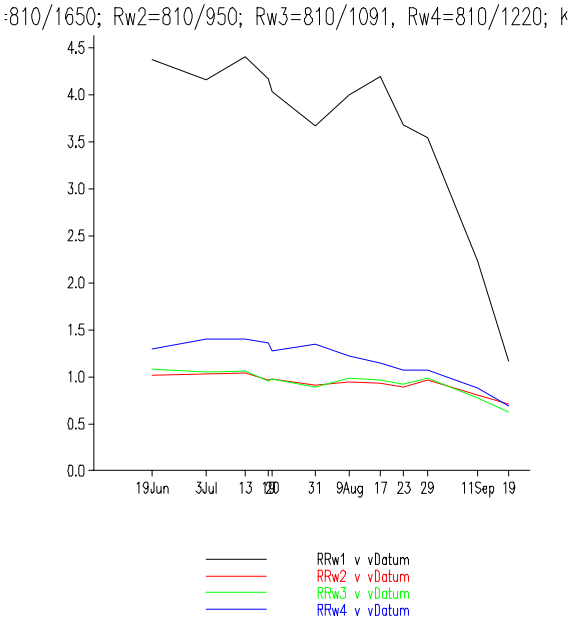
Figuur II-11. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9060 wet.



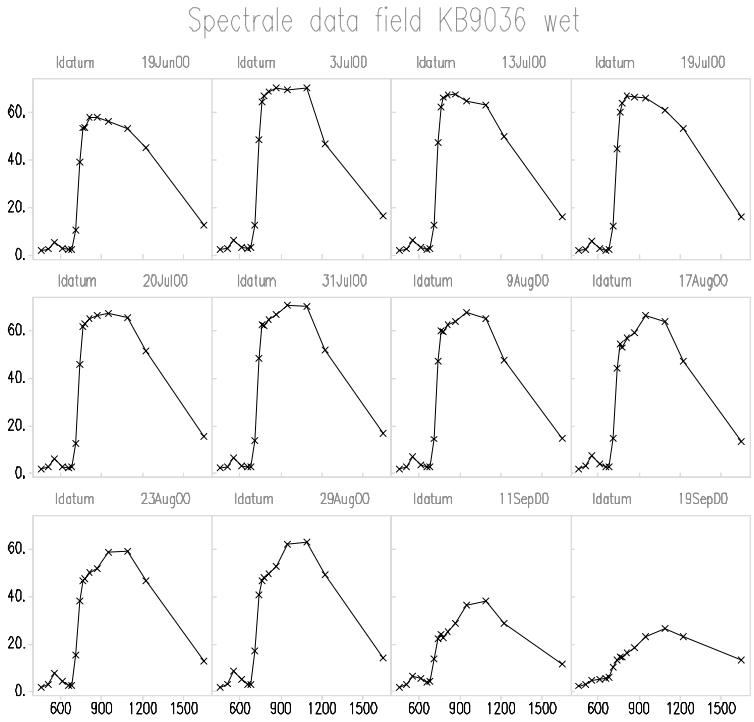
Figuur II-12. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9060 wet.



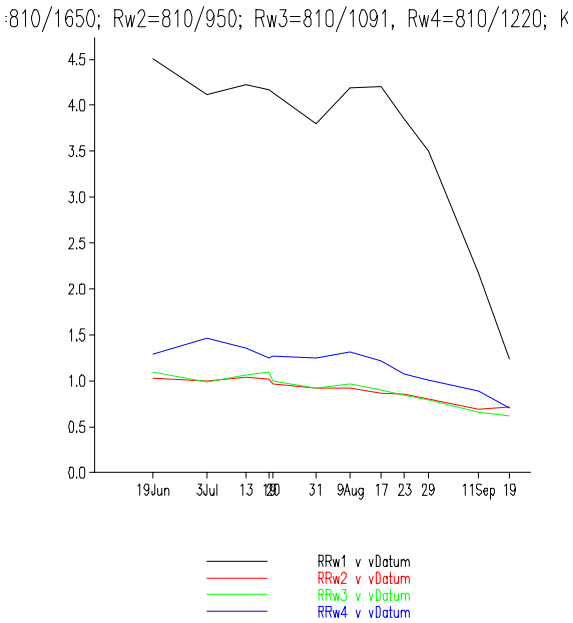
Figuur II-13. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9036 dry.



Figuur II-14. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KB9036 dry.



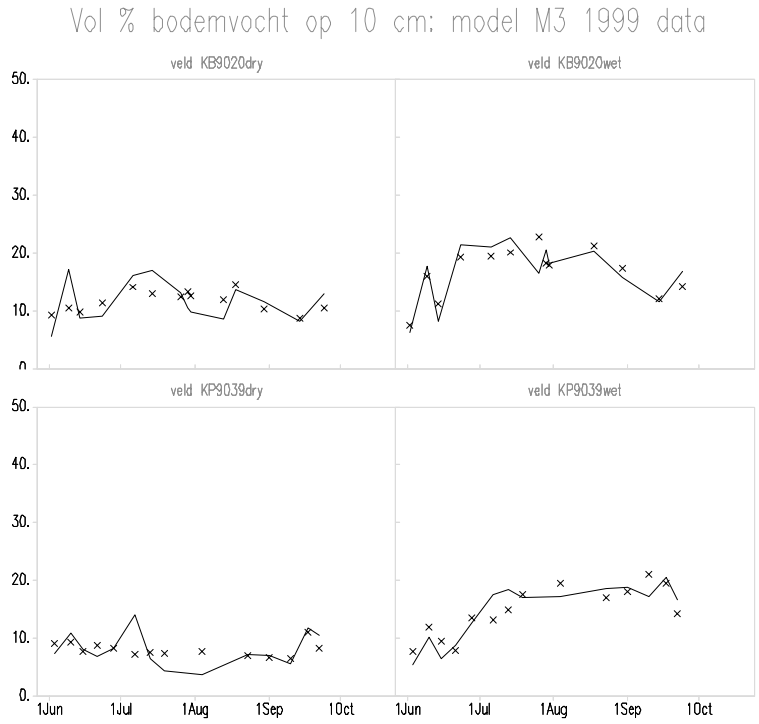
Figuur II-15. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9036 wet.



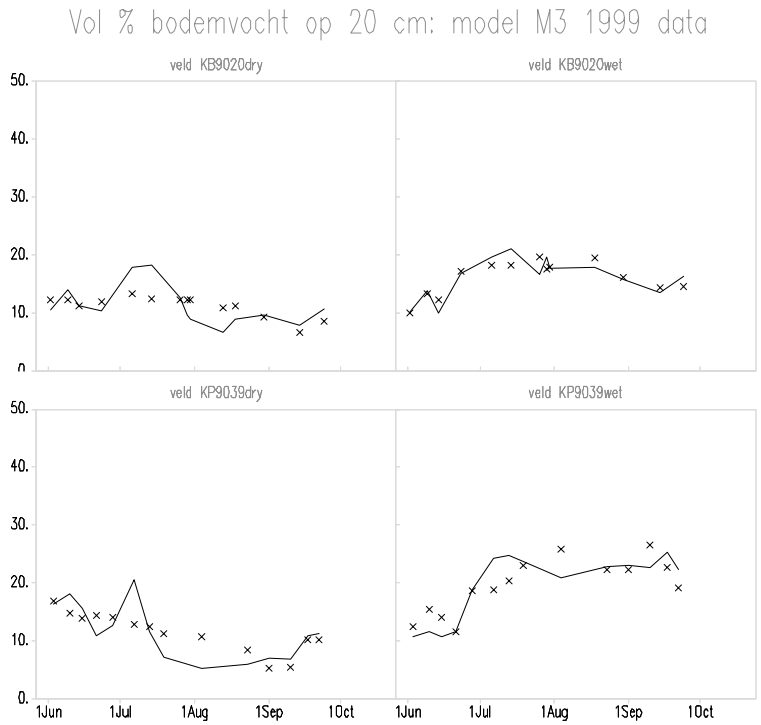
Figuur II-16. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KB9036 wet.

Bijlage III.

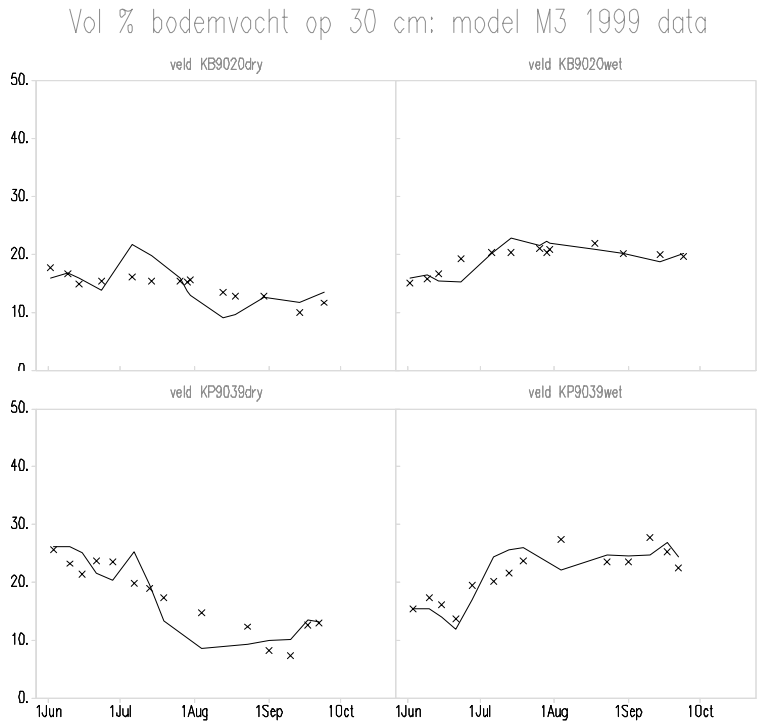
Waargenomen bodemvocht profielen in 1999 en geschatte bodemvochtwaarden op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



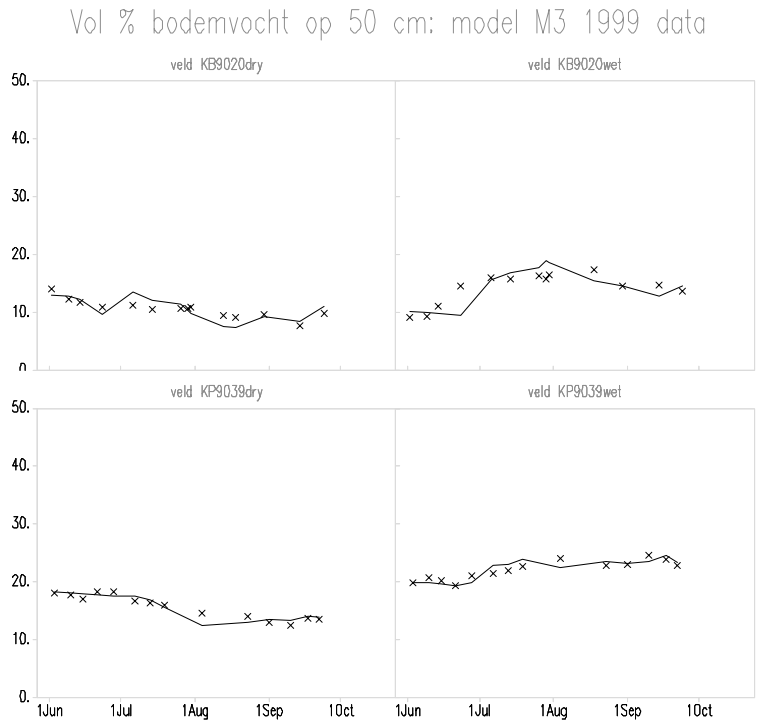
Figuur III.1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk: 25, 15, 31 en 10.



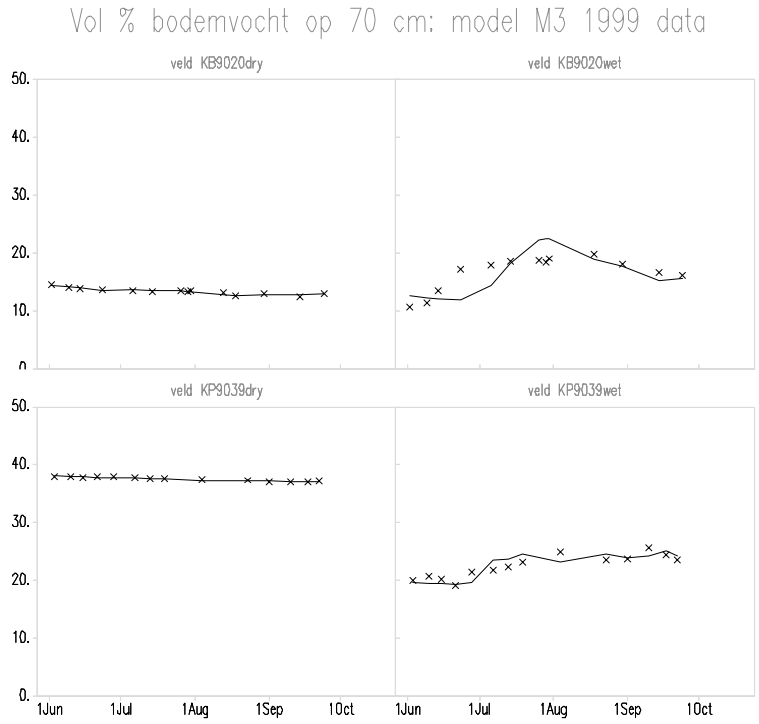
Figuur III.2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 25, 10, 28 en 16.



Figuur III-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 19, 8, 18 en 13.



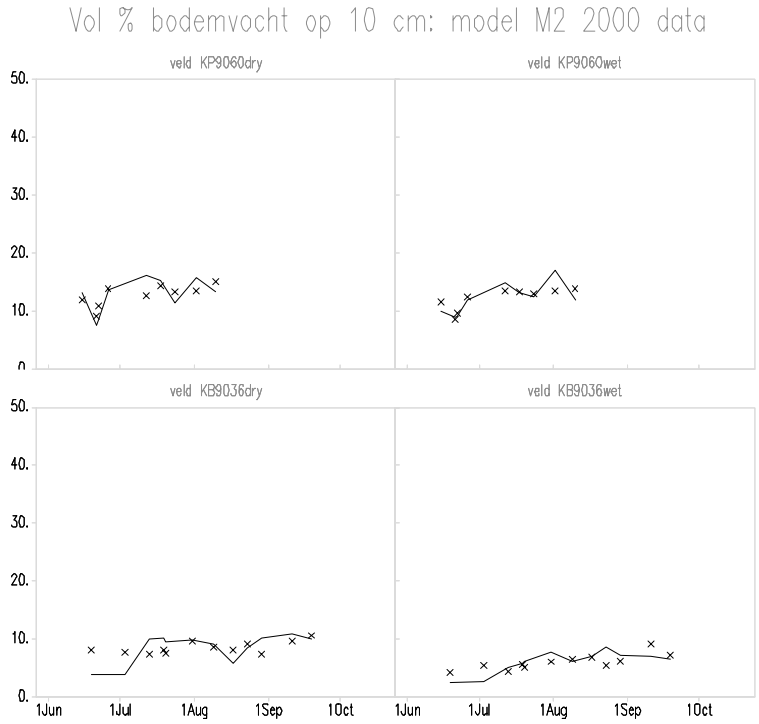
Figuur III-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 12,15, 5 en 4.



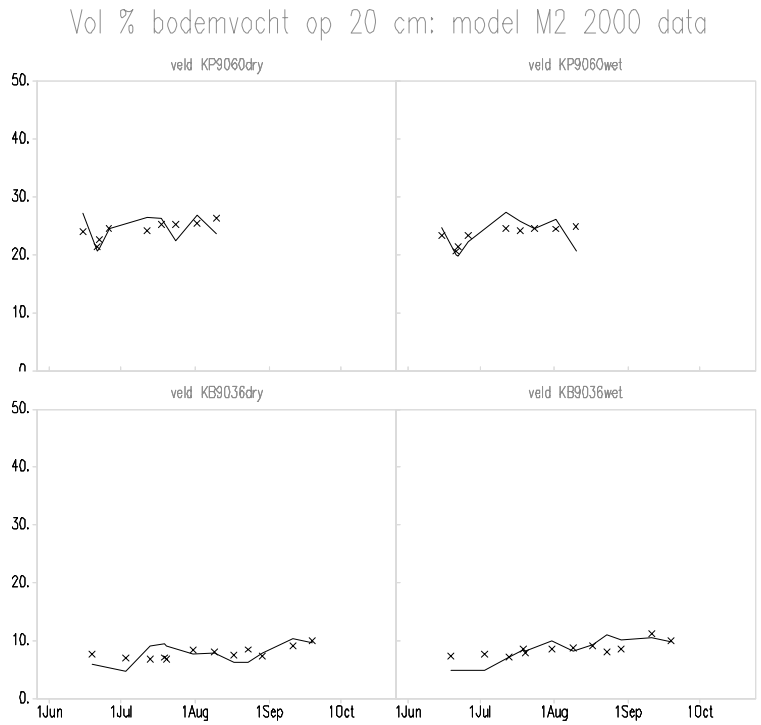
Figuur III-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.3, 16, 0.3 en 5.

Bijlage IV.

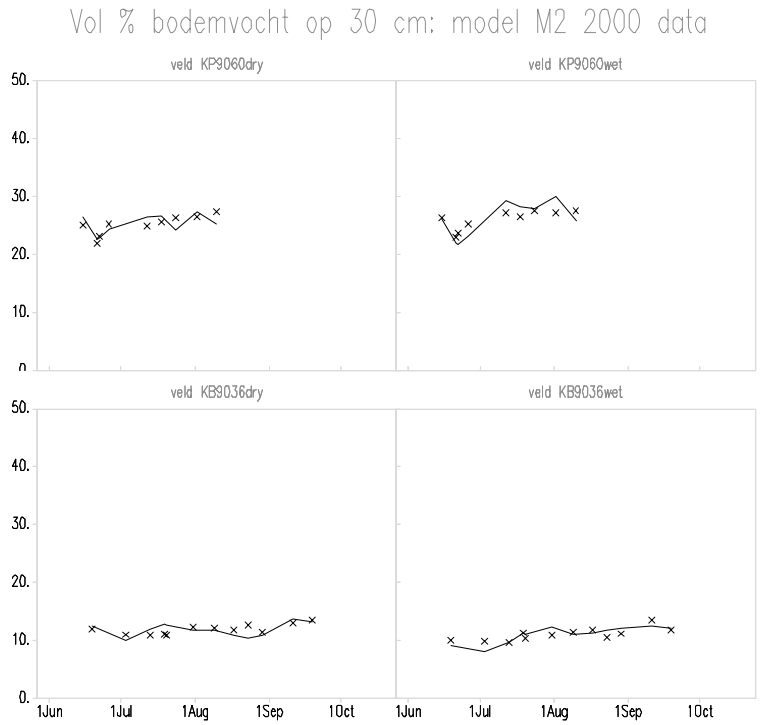
Waargenomen vocht volume % profielen in 2000 en voorspelde vocht % op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



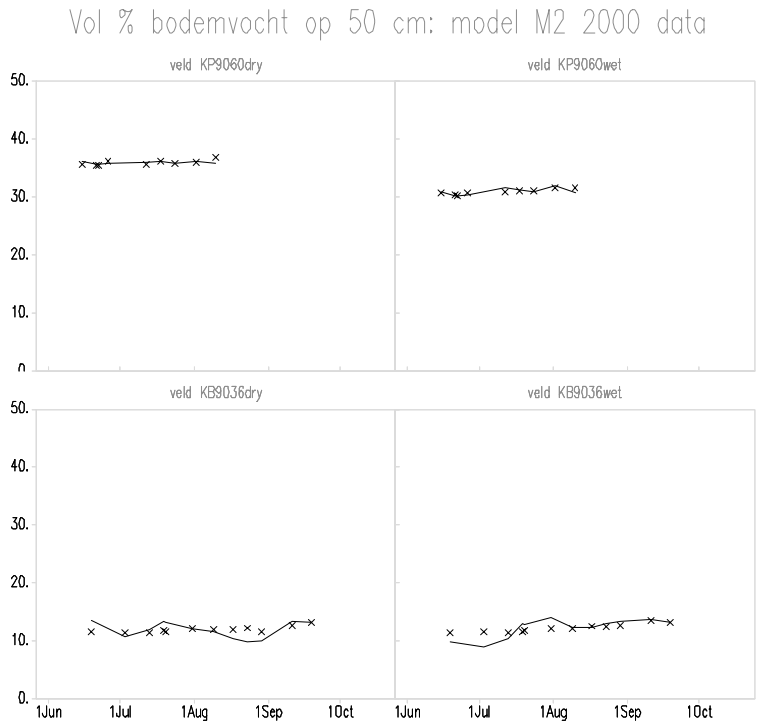
Figuur IV-1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.3, 16, 0.3 en 5.



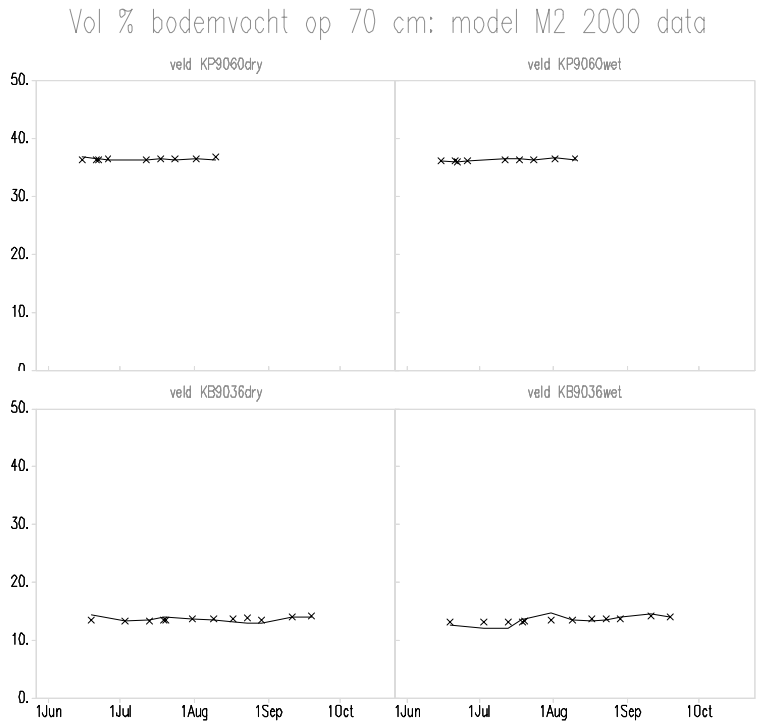
Figuur IV-2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 8, 9, 21 en 18.



Figuur IV-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 6, 7, 10 en 9.



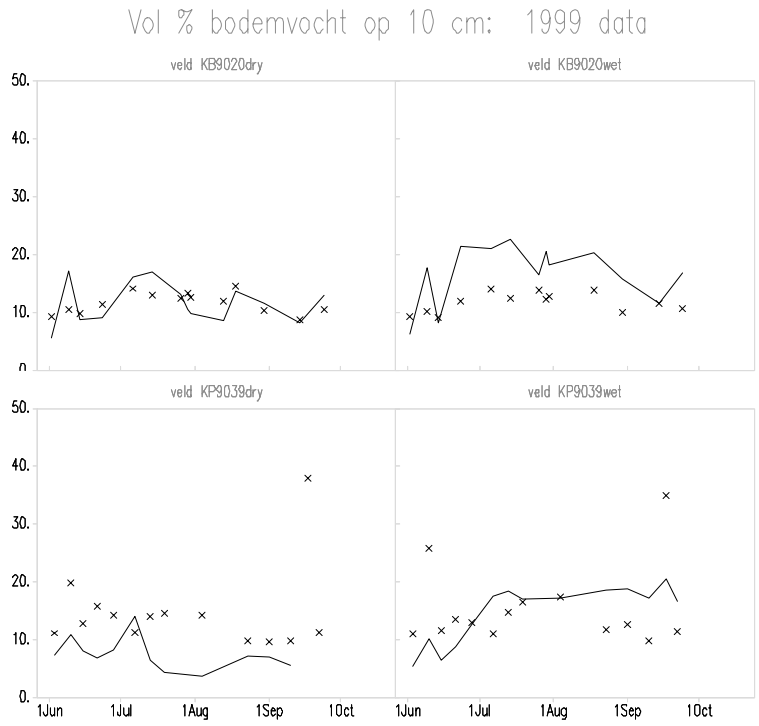
Figuur IV-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.2, 1.4, 11 en 10.



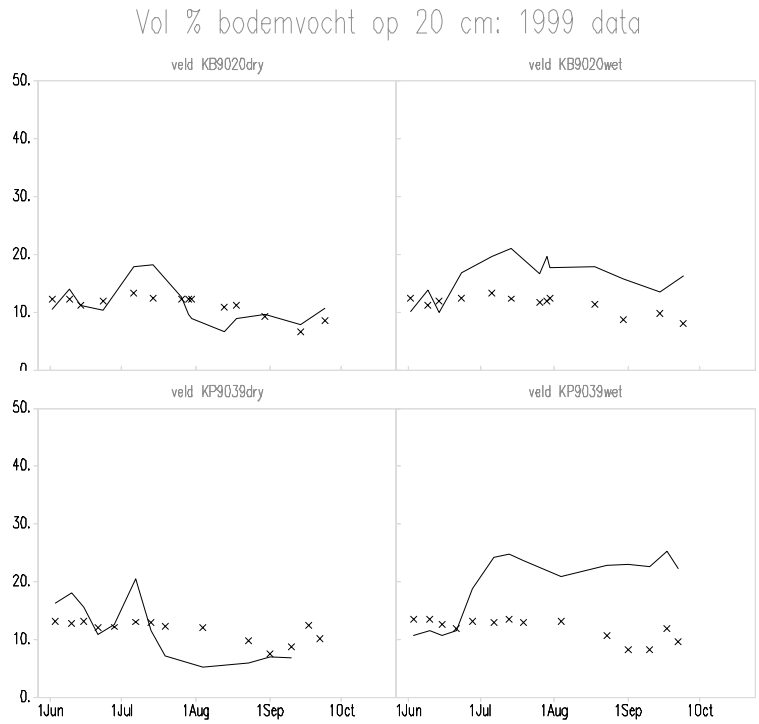
Figuur IV-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 0.7, 0.4, 3 en 5.

Bijlage V.

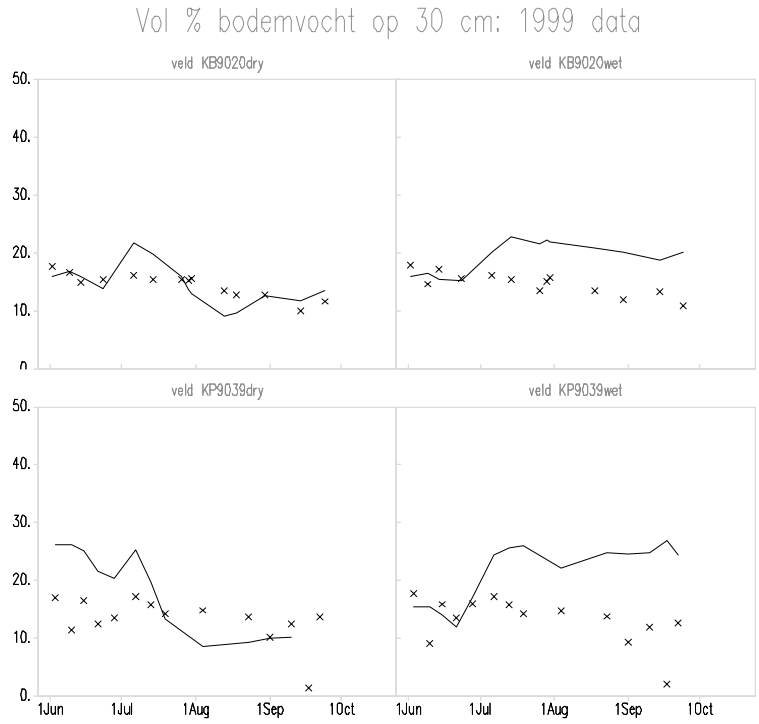
Illustratie van de instabiliteit van veldspecifieke calibratiefuncties. 1999 data met calibratiefunctie veld KB9020dry als voorspeller voor de andere velden



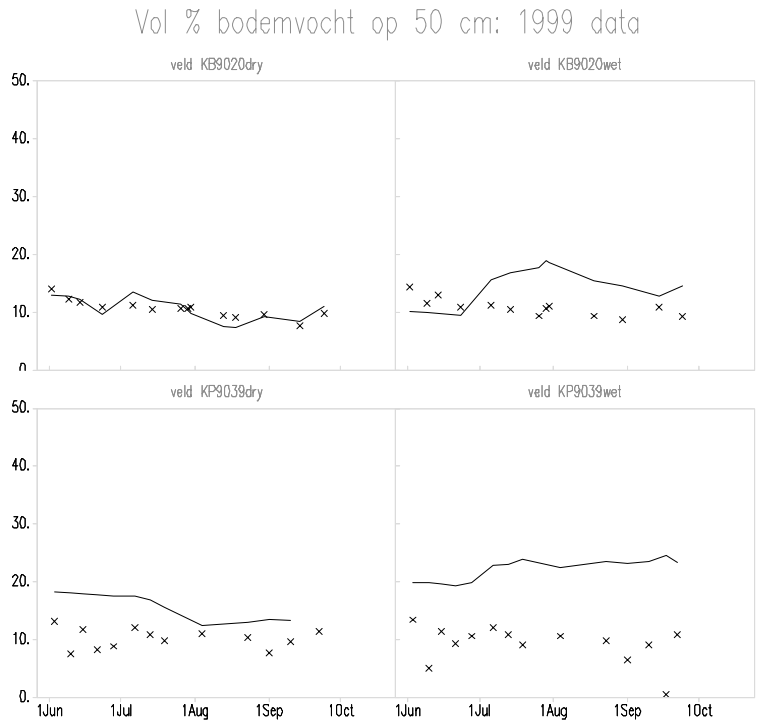
Figuur V-1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 25, 38, 81en 50.



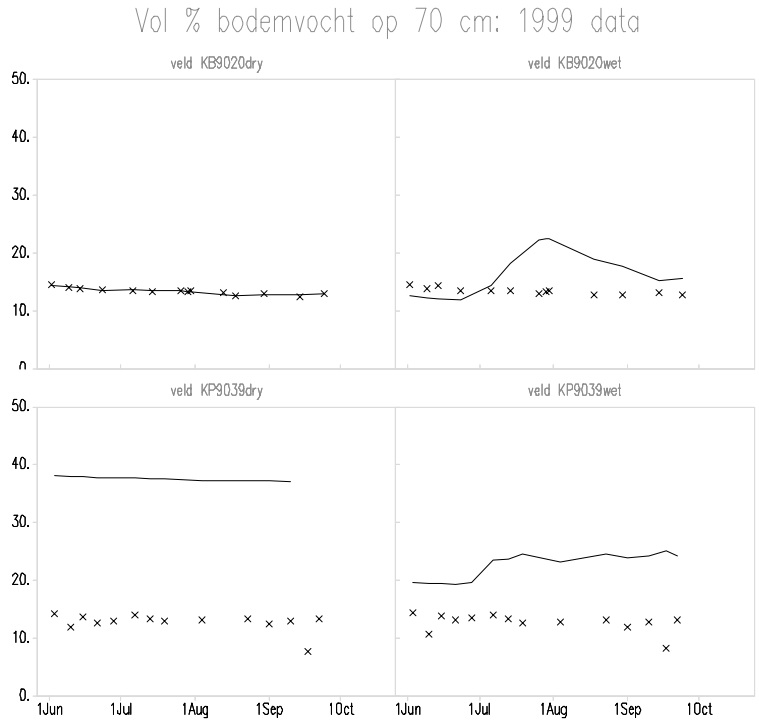
Figuur V-2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 25, 36, 33 en 51.



Figuur V-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 19, 31, 39 en 51.



Figuur V-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 12, 38, 38 en 61.



Figuur V-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 1, 38, 63 en 46.

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL

Voorspellen van droogtestress bij aardappelplanten uit reflectiemetingen aan het gewas: relatie tussen bodemvocht en ratios van pieken en reflectiemetingen

P.F.G. Vereijken[1)]

[1)] Biometris is een samenwerkingsverband tussen leerstoelgroep wiskundige en statistische methoden van Wageningen Universiteit en het centrum voor Biometrie van Plant Research International

Plant Research International B.V., Wageningen
maart 2002

Nota 167

WAGENINGEN UR

© 2002 Wageningen, Plant Research International 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, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres	:	Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
	:	Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel.	:	0317 - 47 70 00
Fax	:	0317 - 41 80 94
E-mail	:	post@plant.wag-ur.nl
Internet	:	http://www.plant.wageningen-ur.nl

Inhoudsopgave

		pagina
1.	Inleiding	1
2.	Materiaal en methoden	3
3.	Statistische analyse	5
4.	Resultaten	7
5.	Discussie	9
Bijlage I.	Waargenomen bodemvocht (volume %) profielen en dagen cropscan metingen	4 pp.
Bijlage II.	Spectraal metingen en pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	8 pp.
Bijlage III.	Waargenomen bodemvocht profielen in 1999 en geschatte bodemvochtwaarden op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	3 pp.
Bijlage IV.	Waargenomen vocht volume % profielen in 2000 en voorspelde vocht % op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	3 pp.
Bijlage V.	Illustratie van de instabiliteit van veldspecifieke calibratiefuncties. 1999 data met calibratiefunctie veld KB9020dry als voorspeller voor de andere velden	3 pp.

1. Inleiding

Gedurende de teelt van aardappelen kan droogtestress optreden. Bij uitblijven van natuurlijke neerslag kan niet tijdig beregenen leiden tot opbrengstverlies. Bij telers is behoefte aan een snelle en goedkope meetmethode in het veld op grond waarvan bij uitblijven van natuurlijke neerslag het optreden van waarschijnlijke droogtestress op korte termijn kan worden voorspeld. Bij verwachte droogtestress en ongunstige weersvooruitzichten kan dan worden besloten om het gewas te beregenen. De belangrijkste onderzoeksvraag is of reflectiemetingen aan het gewas als indicator voor droogtestress kunnen worden gebruikt. Ultieme doel van het onderzoek is te komen tot een betrouwbaar signaleringssysteem voor droogtestress op grond van lichtreflectiemetingen aan het gewas in het veld.

Er is een pilot-studie uitgevoerd met 8 proefvelden. Voor elk proefveld zijn gedurende het groeiseizoen dagelijks met de environscan methode de volumepercentage water gemeten op 5 dieptes in het voor de aardappelplanten relevante deel van de bodem. Daarnaast zijn op een beperkt aantal dagen lichtreflectiemetingen bij 16 geselecteerde golflengtes gedaan met de cropscan methode. De vraag was of de bodemvocht profielen kunnen worden gereconstrueerd uit de spectrale gewasmetingen. Er zijn legio regressiemodellen in de reflectiescores mogelijk. Meer concreet was de vraag of een viertal ratios van pieken van reflectiemetingen hiervoor konden worden gebruikt.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de aanpak en de resultaten van het verrichte onderzoek naar de relatie tussen volume percentages bodemvocht en de geselecteerde pieken ratio's. Daarnaast worden een aantal opmerkingen gemaakt bij de opzet en uitvoering van de pilot-studie, alsmede bij de weg waarlangs het ultieme doel te bereiken.

2. Materiaal en methoden

De pilot-studie

De pilot-studie is in 1999 en 2000 uitgevoerd. Er was sprake van 8 proefvelden waarvan de helft gelegen op zandgrond en de andere helft op dalgrond. De codering van de proefvelden, alsmede een korte beschrijving van de proefvelden is onderstaand weergegeven:

KB9020_droog	KB9020, 1999, veld 14, droog, N1, Seresta
KB9020_beregend	KB9020, 1999, veld 23, beregend, N1, Seresta
KP9039_droog	KP9039, 1999, veld 19, droog, N1, Seresta
KP9039-beregend	KP9039, 1999, veld 17, beregend, N1, Seresta
KP9060_droog	KP9060, 2000, veld 18, droog, N2, Seresta
KP9060_beregend	KP9060, 2000, veld 20, beregend, N2, Seresta
KB9036_droog	KB9036, 2000, veld 22, droog, N2, Seresta
KB9036_beregend	KB9036, 2000, veld 13, beregend, N2, Seresta

De KB percelen betroffen zandgrond met een organische stofgehalte van 4-5% en de KP percelen betroffen veenkoloniale dalgrond met een organische stofgehalte van 10-20%.

Voor elk proefveld zijn enviroscan en cropscanmetingen op één vaste plek in het veld verricht. Middels 5 sensoren zijn bodemvochtmetingen gedaan. De eerste sensor bevond zich aan de onderkant van de zandrug (10 cm onder de top van de zandrug en net onder de gepote aardappel). De tweede, derde, vierde en vijfde sensor bevonden zich op 20, 30, 50 en 70 cm onder de top van de zandrug. De sensoren 1, 2 en 3 bestreken de wortelzone van de aardappelplant in het begin van het groeiseizoen. Rond half juni komen de wortels pas in de buurt van de vierde sensor. Voor de toplaag met de eerste sensor is het effect van instraling het grootst. De bodemvochtmetingen van de eerste sensor bevatten daarom de meeste ruis. De verwachting was dat de metingen van de sensoren 2 en 3 de meeste informatie leveren met betrekking tot de vochtvoorziening van de aardappel planten. Gedurende het groeiseizoen zijn dagelijks om het uur meermalen bodemvochtmetingen verricht. Gedurende het groeiseizoen zijn op een beperkt aantal dagen (8 tot 14) cropscan metingen verricht in de namiddag. Een overzicht van de gemeten enviroscan en cropscan- variabelen is opgenomen in de onderstaande tabel.

Variabele	Omschrijving	Eenheid
Nr.	Number	
Datum	Date enviroscan	
Tijd	Time Enviroscan	
10 cm	Soil moisture at 0 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
20 cm	Soil moisture at 5 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
30 cm	Soil moisture at 15 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
50 cm	Soil moisture at 35 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
70 cm	Soil moisture at 55 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
V0-15	Soil layer 0-15 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V15-25	Soil layer 15-25 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V25-40	Soil layer 25-40 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V40-60	Soil layer 40-60 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V60-100	Soil layer 60-100 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
CUMV0-40	Soil layer 0-40 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
CUMV0-60	Soil layer 0-60 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
DATE	Date cropscan	
TIME	Time cropscan	
ANG	Ang cropscan	
IRR	Irradiation	
460	Wavelength 460 nm, PRI	
507	Wavelength 507 nm, PRI	
559	Wavelength 559 nm, PRI	
610	Wavelength 610 nm, PRI	
661	Wavelength 661 nm, PRI	
680	Wavelength 680 nm, PRI	
710	Wavelength 710 nm, PRI	
740	Wavelength 740 nm, PRI	
760	Wavelength 760 nm, PRI	
780	Wavelength 780 nm, PRI	
810	Wavelength 810 nm, PRI	
870	Wavelength 870 nm, PRI	
950	Wavelength 950 nm, PRI	
1091	Wavelength 1091 nm, PRI	
1220	Wavelength 1220 nm, PRI	
1600	Wavelength 1600 nm, PRI	
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index green, PRI	
FINTGRN	Light interception, green, PRI	
Red Edge	Red edge index, PRI	
Labda Red Edge	Labda red edge, PRI	
WDVI-rood	Weighted Difference Vegetation Index red, PRI	
FINTRED	Light interception, red, PRI	
Rw1	R810/R1600	
Rw2	R810/R950	
Rw3	R810/R1091	

In 2000 is het filter met golflengte 1600 nm in het apparaat vervangen door een filter met golflengte 1650 nm. Omdat 1999 vrij droog was zijn op de zandgronden (KB percelen) mogelijk meer effecten van droogtestress aanwezig. De pieken ratios Rw1 (R810/R1600), Rw2 (R810/R950), Rw3 (R810/R1091) en Rw4 (R810/R1220) zijn een maat voor de vochtinhoud van het gewas en zijn gebruikt om vocht volume percentage in de verschillende bodemlagen te voorspellen.

3. Statistische analyse

Beschrijvend: per veld zijn per laag van de bodemvocht metingen daggemiddelden berekend. Grafieken met de bodemvochtprofielen van de daggemiddelden zijn per veld gemaakt voor een indruk van zowel het niveau als het verloop van bodemvocht in de diverse bodemlagen gedurende het groeiseizoen. In de grafieken met bodemvochtprofielen zijn de dagen gemarkeerd waarop cropscan metingen zijn gedaan. Dit is gedaan voor een indruk van de resolutie van de benaderende bodemvochtprofielen, welke zouden zijn verkregen wanneer bodemvocht enkel op de cropscan dagen zou zijn gemeten en voor de andere dagen bodemvocht zou zijn berekend door interpolatie van de vochtscores op de cropscan dagen. De geïnterpoleerde profielen is het beste wat men mag verwachten bij voorspellen van bodemvocht uit cropscan metingen. Door deze benaderende vochtprofielen te vergelijken met de 'volledige' profielen van de daggemiddelden ziet men wat aan locale pieken en dalen wordt gemist. Feitelijk dient eerst te worden nagegaan of uit de 'volledige' vochtprofielen en andere vereiste inputs (ontwikkelingsstadium van het gewas, bodemtype en de verwachte weersvooruitzichten, etc.) vermoedelijke periodes van droogtestress kunnen worden berekend. Vervolgens kan worden nagegaan of de resolutie van de benaderende vochtprofielen groot genoeg is voor de berekening van deze vermoedelijke periodes van droogtestress of dat meer frequente cropscan metingen wenselijk zijn. In het uiterste geval dienen dagelijks cropscan metingen te worden gedaan. Het voor de droogte stress berekening gebruikte rekenmodel laat bovendien zien welke vochtinput vereist is en of vochtgegevens in de afzonderlijke lagen perse nodig zijn.

Voorspellen van bodemvocht volume % uit reflectie ratios

Voor de beschrijving van de relatie tussen daggemiddelden van bodemvocht volume% en de pieken ratios Rw1=R810/R1600 (R810/R1650 voor de 2000 data), Rw2=R810/R950 en Rw3=R810/R1090 en Rw4=R810/R1220 is gebruik gemaakt van de volgende calibratiefunctie:

$$\text{Bodemvochtvol \%} = b0 + b1 \times Rw1 + b2 \times Rw2 + b3 \times Rw3 + b4 \times Rw4 \qquad (1)$$

In model (1) stelt b0 het niveau voor en zijn b1 tot en met b4 regressiecoëfficiënten.

Omdat beschikbaarheid van bodemvocht voor de planten als vochtopname efficiëntie afhangen van de bodemstructuur kunnen metingen van verschillende bodems niet zondermeer op een hoop worden gegooid. Voor elk veld is per laag aan de gemeten vochtdata middels lineaire regressie calibratiefunctie (1) aangepast. Daarbij is aangenomen dat de residuele bijdragen onderling onafhankelijk verdeeld zijn met gemiddelde 0 en constante variantie σ^2. Omdat per veld slechts op 8 tot 14 dagen cropscan metingen zijn gedaan is het aantal meetpunten voor het berekenen van de calibratiefunctie erg beperkt. Als maat voor de kwaliteit van veldspecifieke calibratiefuncties is de gemiddelde procentuele schattingsfout berekend. Voor een beeld van de kwaliteit van de gefitte calibratiefuncties zijn grafieken gemaakt van de gemeten vochtwaarden en de onder het model geschatte vochtwaarden. Verder is voor de 1999 data onderzocht of verschillende calibratiefuncties per veld wenselijk zijn of dat met één calibratiefunctie voor de 4 proefvelden kan worden volstaan. Hetzelfde is gebeurd voor de data uit 2000. Een indruk van de voorspelkwaliteit van een gefitte calibratiefunctie voor andere velden wordt verkregen door de gemiddelde procentuele voorspelfout te berekenen en gemeten en voorspelde vochtwaarden grafisch weer te geven.

4. Resultaten

De grafieken van de waargenomen bodemvochtprofielen zijn opgenomen in Bijlage I. Uit de grafieken blijkt dat de resolutie van de benaderende bodemprofielen, gebaseerd op de vochtmetingen op de dagen dat cropscan metingen zijn verricht, niet altijd even hoog is en dat locale pieken en dalen gemist worden. Of de afwijkingen acceptabel zijn hangt af van de grootte van de afwijkingen die acceptabel zijn bij de berekeningen van droogtestress. Of de resolutie voor het berekenen van droogtestress voldoende is dient te worden nagegaan.

In Bijlage II zijn grafieken opgenomen van de spectrale metingen per meettijdstip. Daarnaast zijn profielen opgenomen van de gemeten ratios van pieken van reflectiemetingen. De grafieken geven een beeld van het verloop in de tijd van de gebruikte variabelen in de calibratiefunctie.

Grafieken van de geschatte bodemvocht % voor de verschillende velden onder calibratiefunctie (1) en van de waargenomen bodemvochtprofielen zijn opgenomen in de Bijlagen III en IV. Op grond van de gefitte waarden lijken veld specifieke calibratiefunctie de vochtdata redelijk te kunnen reconstrueren. Bij het vergelijken van calibratiefuncties van verschillende velden is middels regressieanalyse onderzocht in hoeverre er aanwijzingen zijn voor niveau verschillen tussen velden, constante regressiecoëfficiënten voor verschillende velden en of veldspecifieke regressiecoëfficiënten. In de Tabellen 1 en 2 zijn respectievelijk voor de data uit 1999 en uit 2000 opgenomen de F ratios (verhouding van gemiddelde kwadraatsom voor te toetsen effect en gemiddelde restkwadraatsom (MSE). Tevens zijn de berekende p-waarden van de F-toetsen en de procentuele schattingsfouten opgenomen.

Tabel 1. Berekende F-ratios, mean squared error, procentuele fouten bij aanpassen van veldspecifieke calibratiefunctie aan vocht volume % data uit 1999.

Variatiebron	df	Vol% 10 cm	Vol% 20 cm	Vol% 30 cm	Vol% 50 cm	Vol% 70 cm
Veldspecifieke niveaus	3	18.6***	18.1***	10.5***	112***	507***
Constante regressiecoëfficiënten b1…b4	4	3.8**	1.7	1.8	1.7	2.8*
Veldspecifieke regressiecoëfficiënten b1…b4	12	3.0**	3.4**	5.7***	5.6***	3.3**
MSE	35	10.6	12.2	11.0	2.8	3.1
%fout KB9020dry		25	25	19	12	1.3
%fout KB9020wet		15	10	8	15	16
%fout KP9039dry		31	28	18	5	0.3
%fout KP9039wet		10	16	13	4	5

* *P< 0.05;*
** *P< 0.01;*
*** *P< 0.001, refererend aan een F verdeling, waarbij model termen in volgende rijen niet zijn meegenomen*

Tabel 2. Berekende F-ratios, mean squared error, procentuele fouten bij aanpassen van veldspecifiek calibratiefunctie aan vocht volume % data uit 2000.

Variatiebron	df	Vol% 10 cm	Vol% 20 cm	Vol% 30 cm	Vol% 50 cm	Vol% 70 cm
Veldspecifieke niveaus	3	26.7***	249***	366***	1168***	6947***
Constante regressiecoëfficiënten b1…b4	4	5.6**	4.6**	8.8***	2.2	3.0
Veldspecifieke regressiecoëfficiënten b1…b4	12	1.3	1.4	1.4	0.8	1
MSE	22	4.0	3.4	1.9	1.4	0.3
%fout KP9060dry		10	6	3	0.3	0.3
%fout KP9060wet		10	7	6	1.0	0.3
%fout KB9036dry		22	15	8	10	2.8
%fout KB9036wet		20	13	7	8	4.1

* *P< 0.05;*
** *P< 0.01;*
*** *P< 0.001, refererend aan een F verdeling, waarbij model termen in volgende rijen niet zijn meegenomen*

De analyse resultaten in Tabel 1 en 2 wijzen uit dat sprake is van niveau verschillen tussen de velden, alsmede dat voor de 1999 data veldspecifieke calibratiefuncties wenselijk zijn. Dit houdt in dat gefitte calibratiefuncties geen of nauwelijks voorspellende waarde behoeven te hebben bij gebruik voor nieuwe velden. Ter illustratie van de instabiliteit van gefitte calibratiefuncties is voor de 1999 data de calibratiefunctie voor veld KB9020 droog gebruikt als voorspeller voor de overige drie velden. De grafieken met waargenomen bodemvochtprofielen en voorspelde bodemvocht waarden zijn opgenomen in Bijlage V. De grafieken wijzen uit dat een gefitte calibratiefunctie voor nieuwe velden geen voorspellende waarde heeft.

Conclusies: analyse van de data van de pilot-studie heeft uitgewezen dat:

- Pieken van reflectiemetingen kunnen worden gebruikt voor de reconstructie van bodemvocht volume%. Van belang is wel zich te realiseren dat de berekende procentuele schattingsfouten mogelijk een te optimistisch beeld geven wanneer de calibratiefunctie voor andere plekken op een veld zou worden gebruikt aangezien de calibratiefunctie enkel betrekking heeft op de plek specifieke situatie.
- Veldspecifieke calibraties wenselijk zijn en gefitte calibratiefuncties instabiele voorspellers blijken te zijn bij gebruik voor andere velden.

5. Discussie

Vereiste meetfrequentie spectraal metingen

Essentieel voor het onderzoek is dat de berekeningsmethode bekend is om uit 'complete' bodemvocht-profielen en andere vereiste input vast te stellen in welke periodes sprake is van vermoedelijke droogte-stress tijdens het groeiseizoen. Daarbij wordt ook duidelijk welke inputs nodig zijn en in welke vorm. Voor de vocht input is het van belang te weten of informatie over bodemvocht per laag perse nodig is of dat met een geaggregeerde vochtmetingen gerekend wordt. Verder dient te worden nagegaan of dagelijkse vochtmetingen nodig zijn of dat kan worden volstaan met een grid van vochtmetingen gedurende het seizoen en hoe fijn dat grid dan wel dient te zijn.

Smoothing van vochtdata

Spectrale metingen hebben betrekking op de plant. In het verrichte onderzoek werd bodemvocht gemeten op de dagen van de reflectiemetingen gerelateerd aan pieken ratios van spectraal metingen. Vraag is hoe snel de plant op bodemvocht reageert. Feitelijk dienen de mechanismen bekend te zijn. Wellicht geven bodemvochtmetingen op hetzelfde tijdstip als dat van de spectraalmetingen minder hoge correlaties dan een geaggregeerde maat voor bodemvocht in een korte periode direct voorafgaand aan het tijdstip van de cropscan meting. Als maat voor de droogte toestand in deze periodes zou het gemiddelde vochtpercentage kunnen worden genomen. Optimale lengte van de periode te berekenen door lengte te variëren en na te gaan voor welke lengte correlatie het grootst is.

Veldspecifieke calibratiefuncties

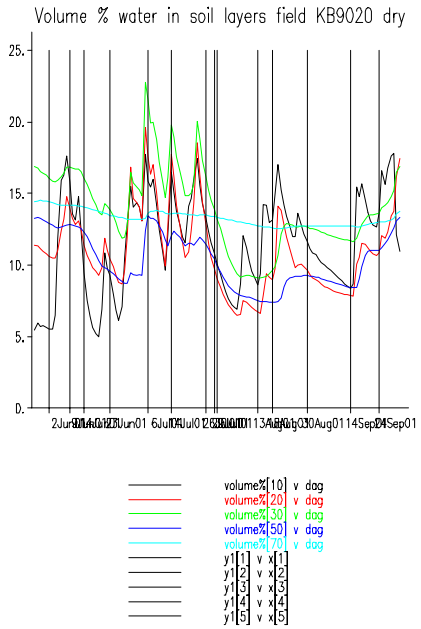
Analyse heeft uitgewezen dat niet met één calibratiefunctie voor verschillende velden kan worden volstaan. Centraal staat de vraag waar de verschillen vandaan komen en hoe hierop vat te krijgen. Feitelijk betreft het complexe data waarbij sprake is van variatie tussen velden en variatie binnen velden. In de pilot-studie werd niet op meerdere plekken binnen hetzelfde veld gemeten. Indien dit wel was gebeurd, had men een beeld gekregen van verschillen tussen plekken, zou een grotere en ruimere verzameling van data voor aanpassen van de calibratiefunctie zijn verkregen en zou een interne validatie van het gefitte calibratiefunctie mogelijk geweest zijn. Bovendien had men kunnen beschikken over schattingen van procentuele voorspelfouten bij gebruik van de calibratiefunctie voor het hele veld. In de pilot-studie is echter maximaal ingezet op variatie tussen velden door één veld te nemen voor elk van de 8 mogelijke instellingen van de proeffactoren: soort grond, wel of geen beregening en de N gift. Feitelijk behoefte aan hiërarchische calibratiefuncties waarin rekening wordt gehouden met variatie tussen en binnen velden. De situatie is hopeloos ingeval elke veldsituatie op zich zelf blijkt te staan. Gehoopt wordt echter dat verschillen tussen velden in belangrijke mate systematisch zijn en veroorzaakt worden door enkele proeffactoren (bodemstructuur, etc.) en de overblijvende variatie tussen velden klein is.

Voor toekomstige proeven voor opstellen van vocht calibratiefuncties wordt geadviseerd op meerdere plekken binnen een veld te meten. Verder wordt geadviseerd meerdere velden bij elke combinatie van instellingen van voor verschillen tussen velden belangrijk geachte factoren mee te nemen.

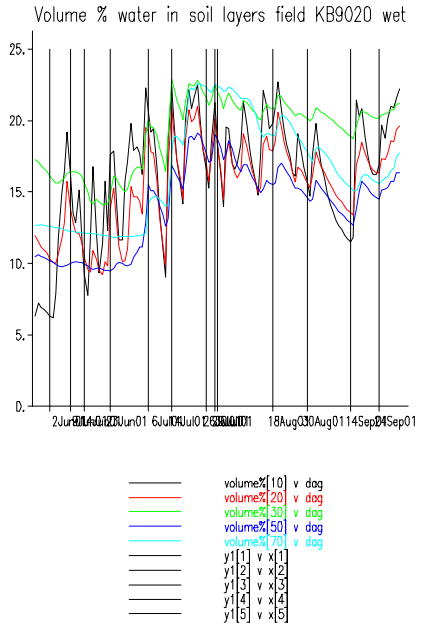
In calibratie model rekening houden met niveaus en regressiecoëfficiënten die af mogen hangen van de instellingen van de proeffactoren, alsmede met additionele random effecten voor residuele niveauverschillen en voor residuele verschillen tussen regressiecoëfficiënten van de velden na afsplitsing van eerder genoemde vaste effecten. Bovengenoemde aanpak leidt tot specifieke calibratiefuncties voor elke combinatie van instellingen van deze factoren.

Bijlage I.

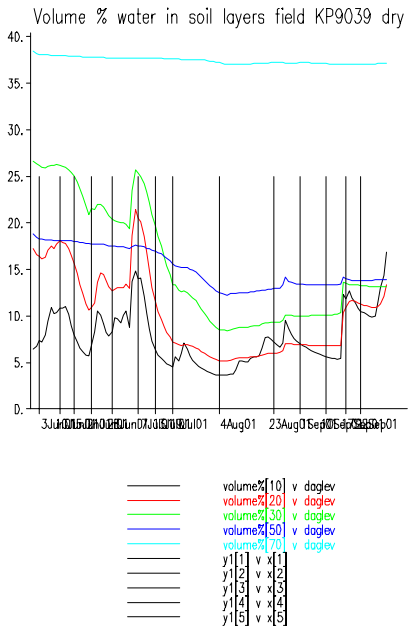
Waargenomen bodemvocht (volume %) profielen en dagen cropscan metingen



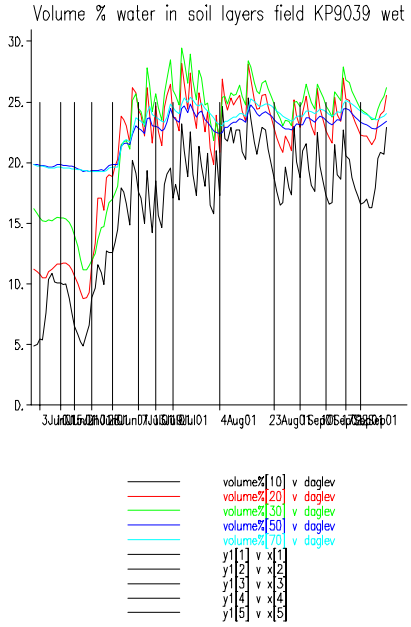
Figuur I-1. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KB9020dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



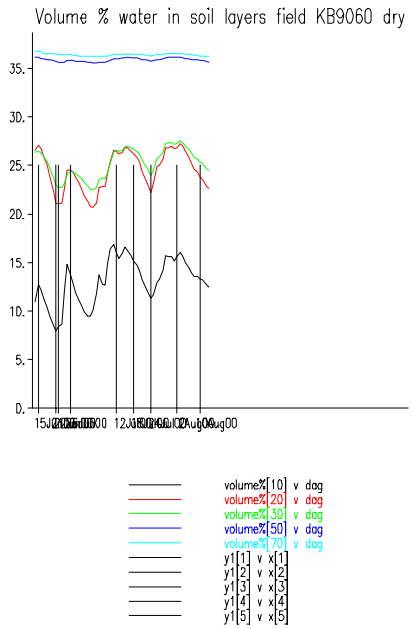
Figuur I-2. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KB9020wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



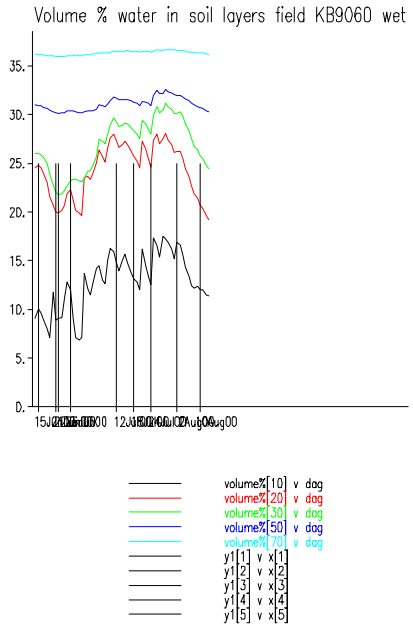
Figuur I-3. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9039dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



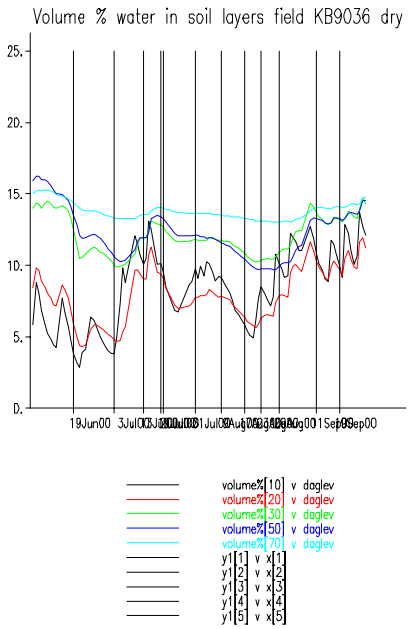
Figuur I-4. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9039wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



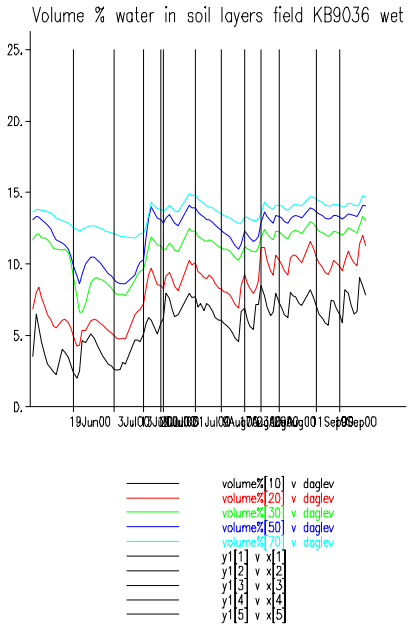
Figuur I-5. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9060dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven



Figuur I-6. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9060wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



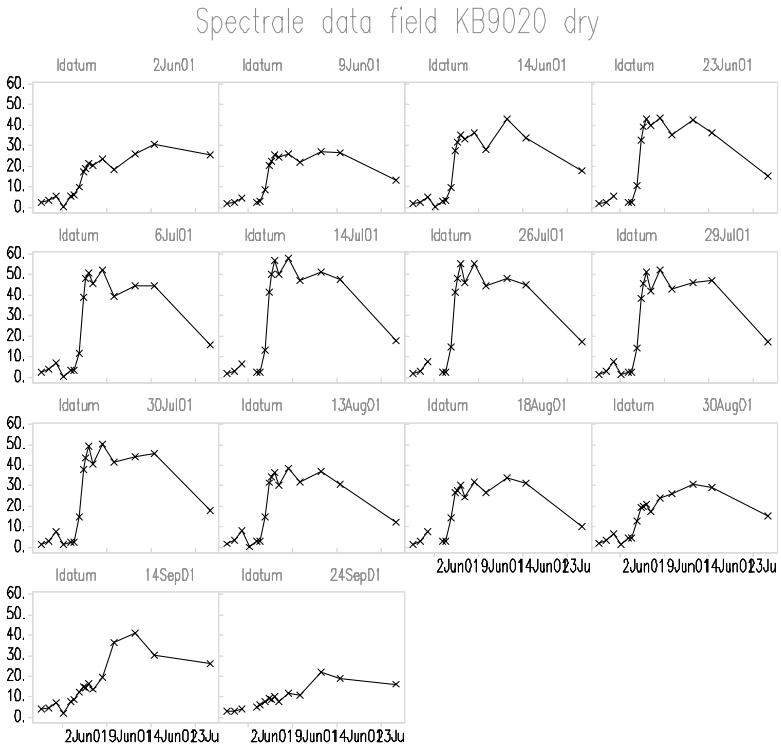
Figuur I-7. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9036dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven



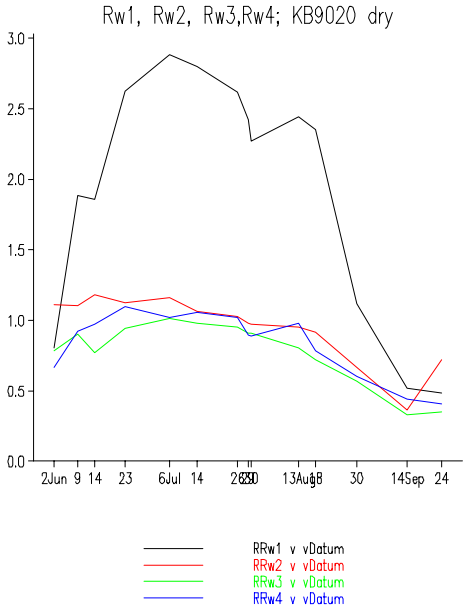
Figuur I-8. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9036wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.

Bijlage II.

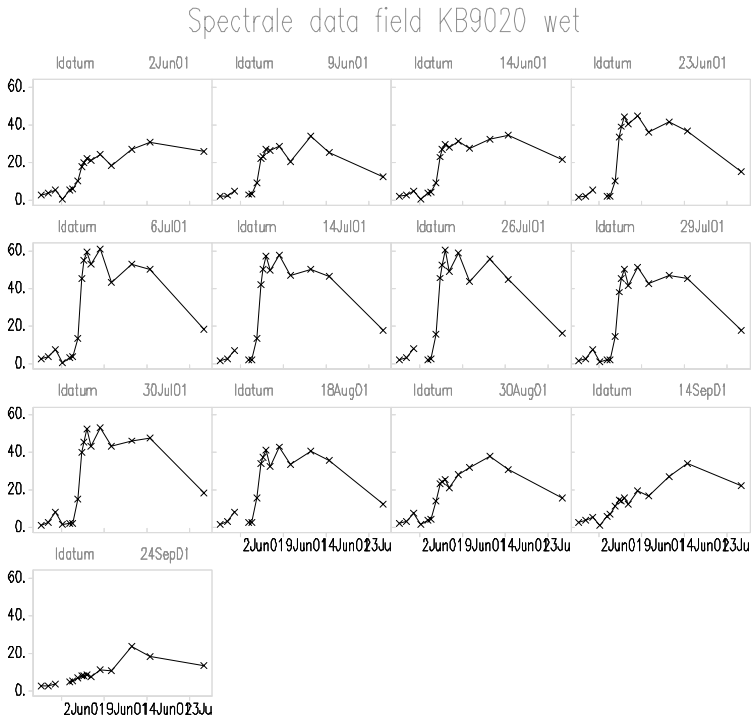
Spectraal metingen en pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



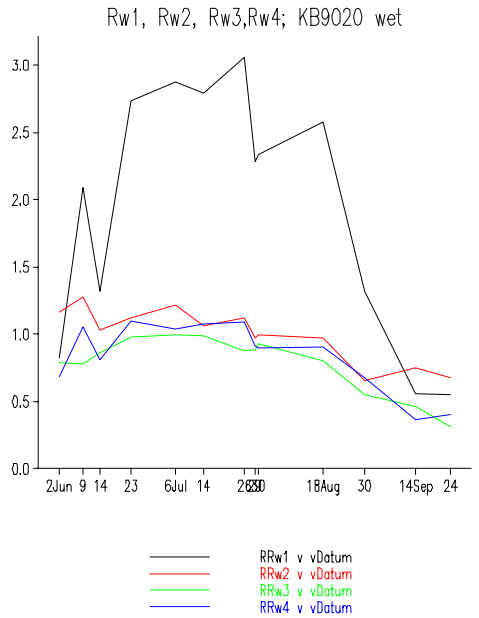
Figuur II-1. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9020dry.



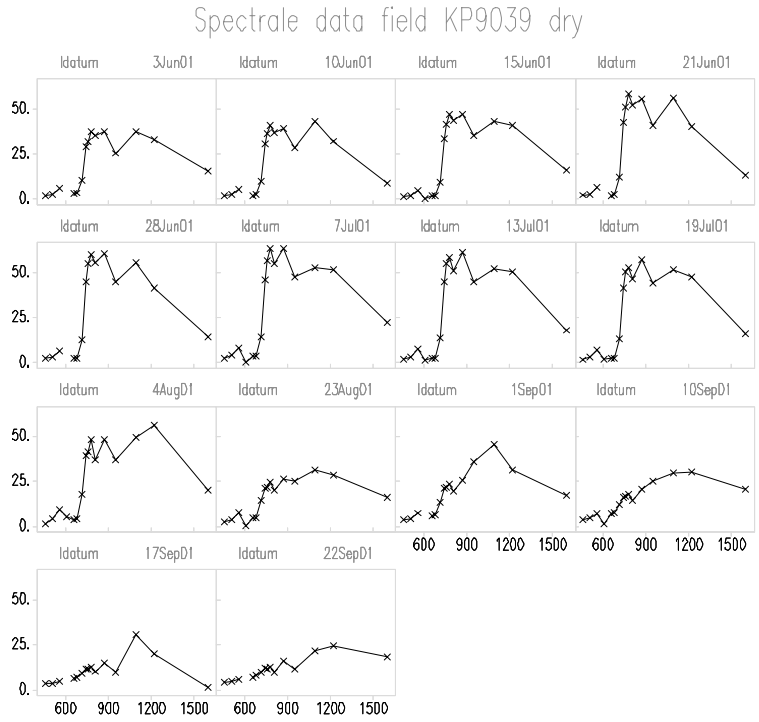
Figuur II-2. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 voor veld KB9020dry.



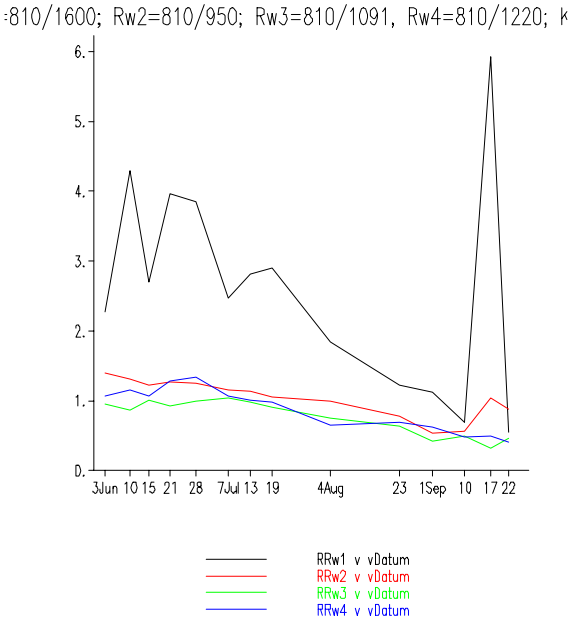
Figuur II-3. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9020wet.



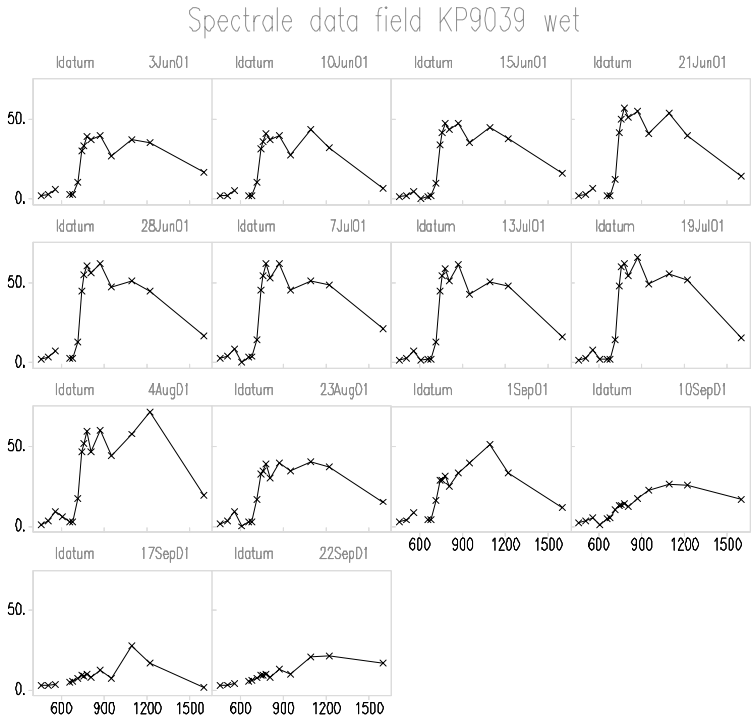
Figuur II-4. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 voor veld KB9020 wet.



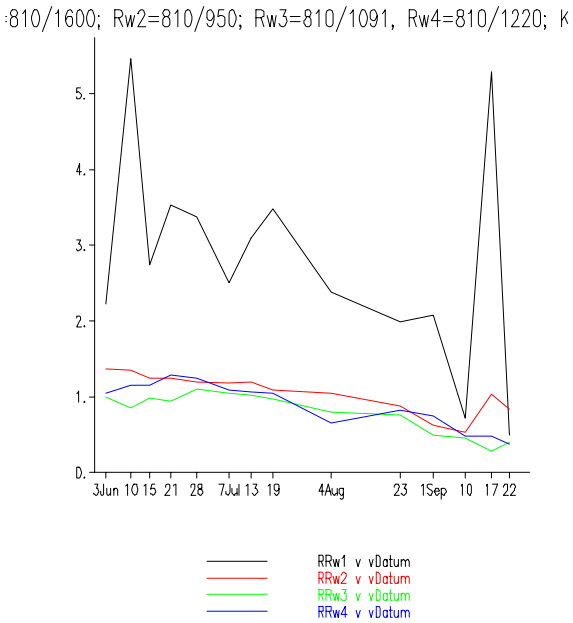
Figuur II-5. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9039 dry.



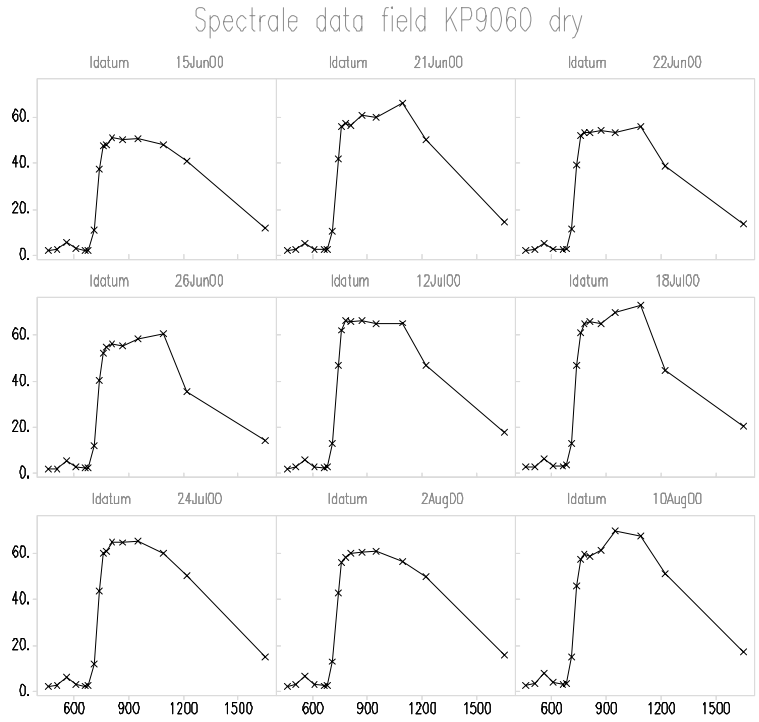
Figuur II-6. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9039 dry.



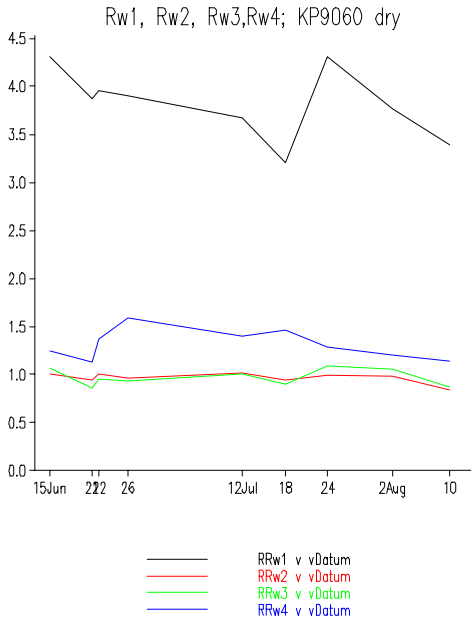
Figuur II-7. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9039 wet.



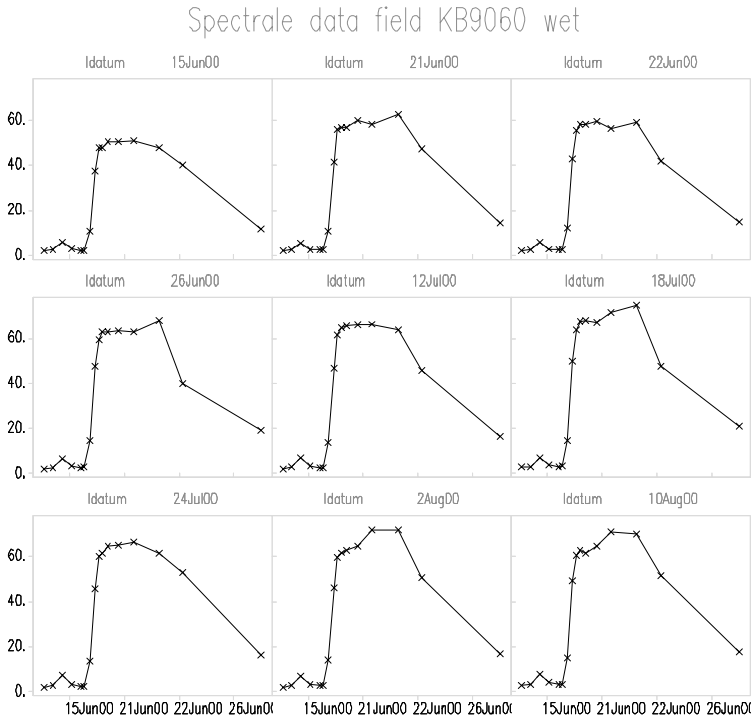
Figuur II-8. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9039 wet.



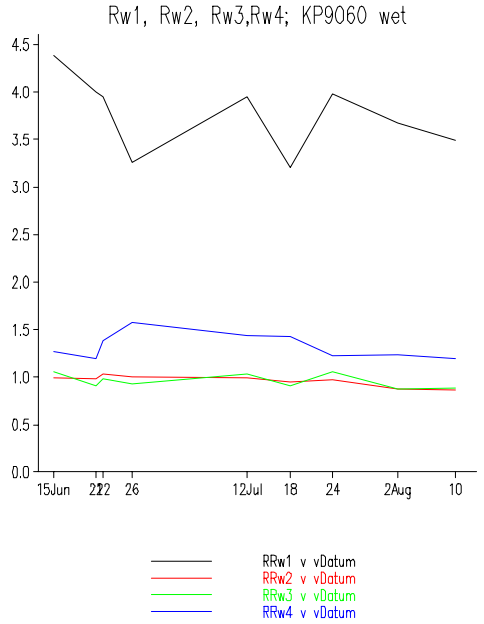
Figuur II-9. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9060 dry.



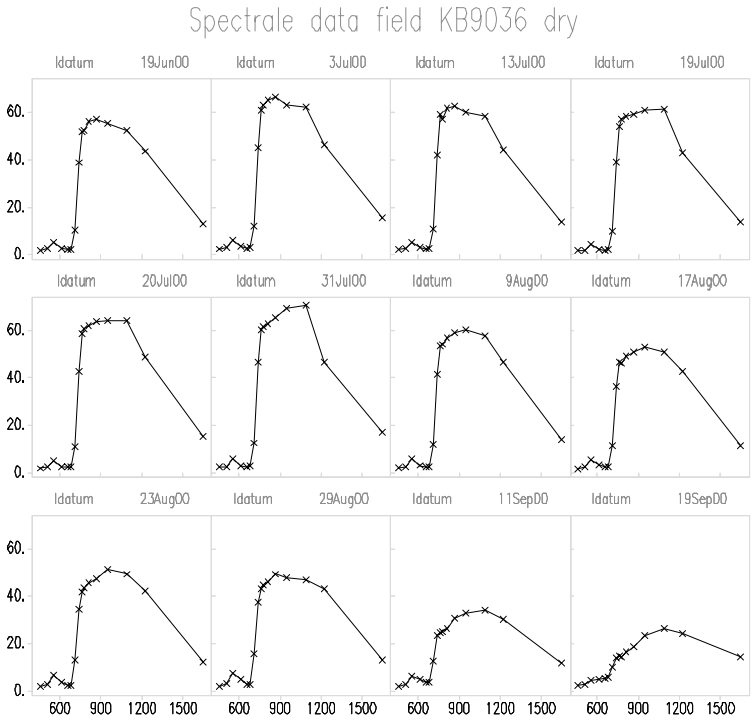
Figuur II-10. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9060 dry.



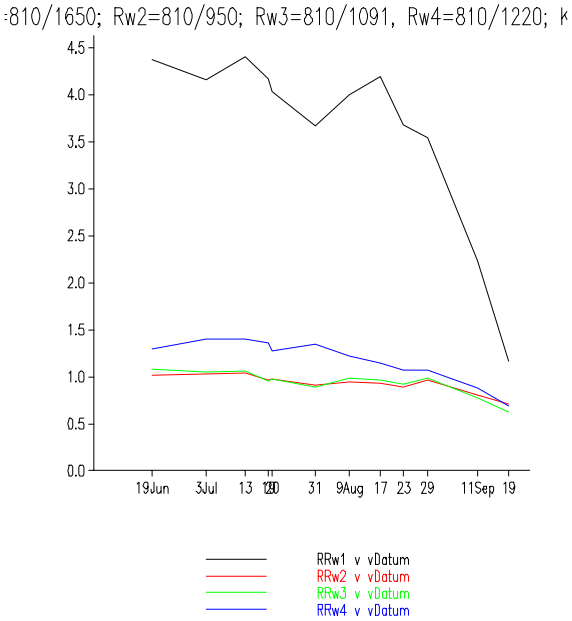
Figuur II-11. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9060 wet.



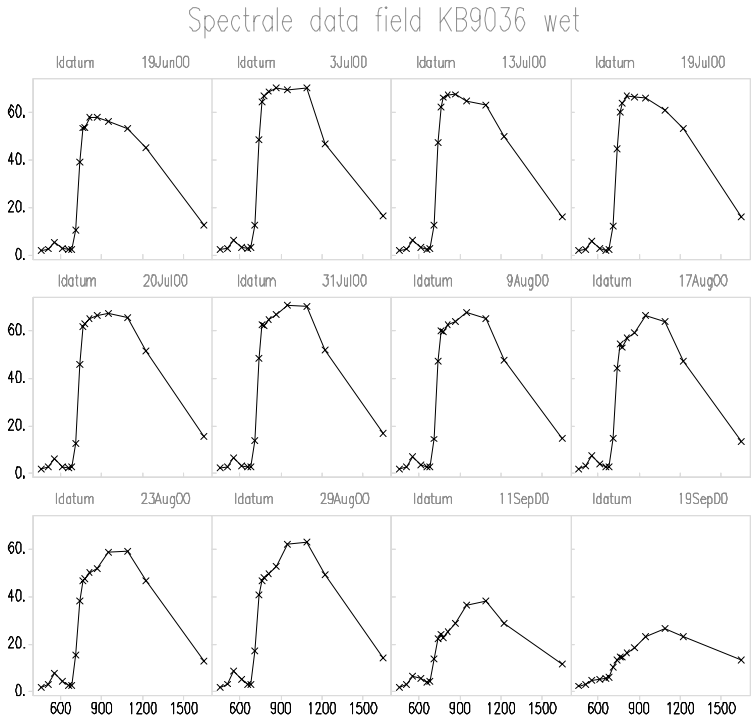
Figuur II-12. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9060 wet.



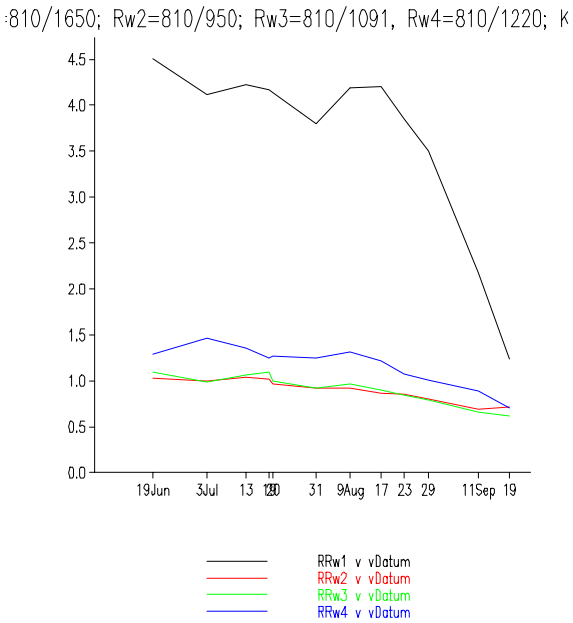
Figuur II-13. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9036 dry.



Figuur II-14. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KB9036 dry.



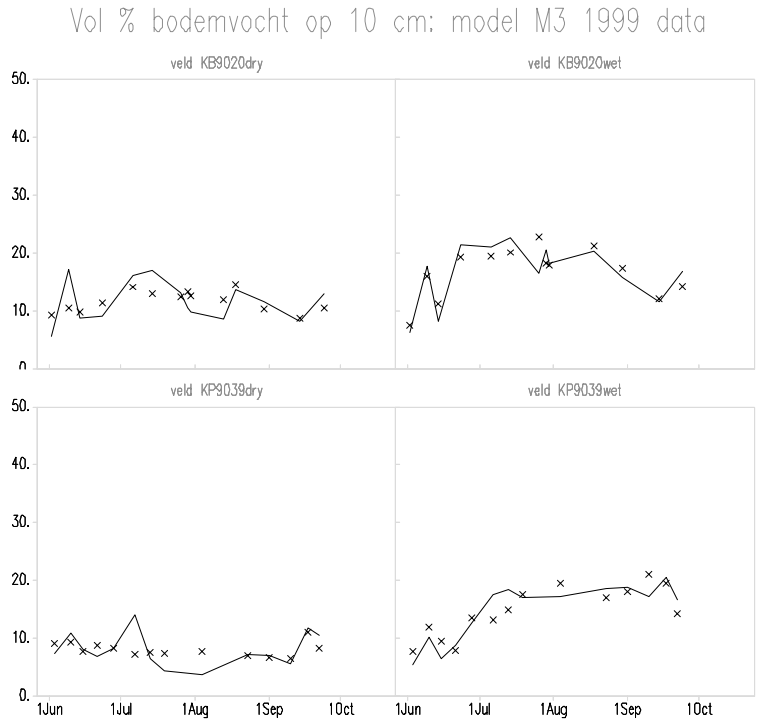
Figuur II-15. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9036 wet.



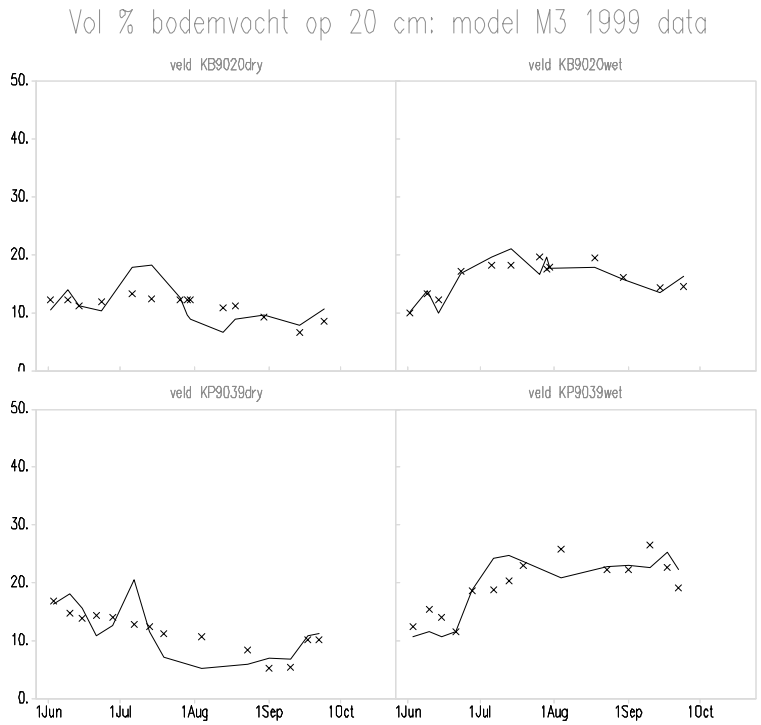
Figuur II-16. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KB9036 wet.

Bijlage III.

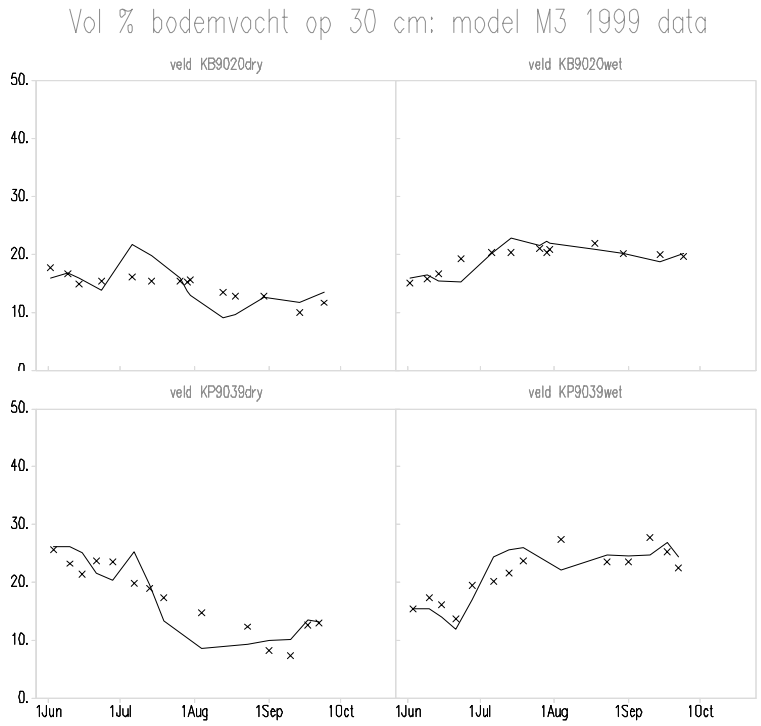
Waargenomen bodemvocht profielen in 1999 en geschatte bodemvochtwaarden op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



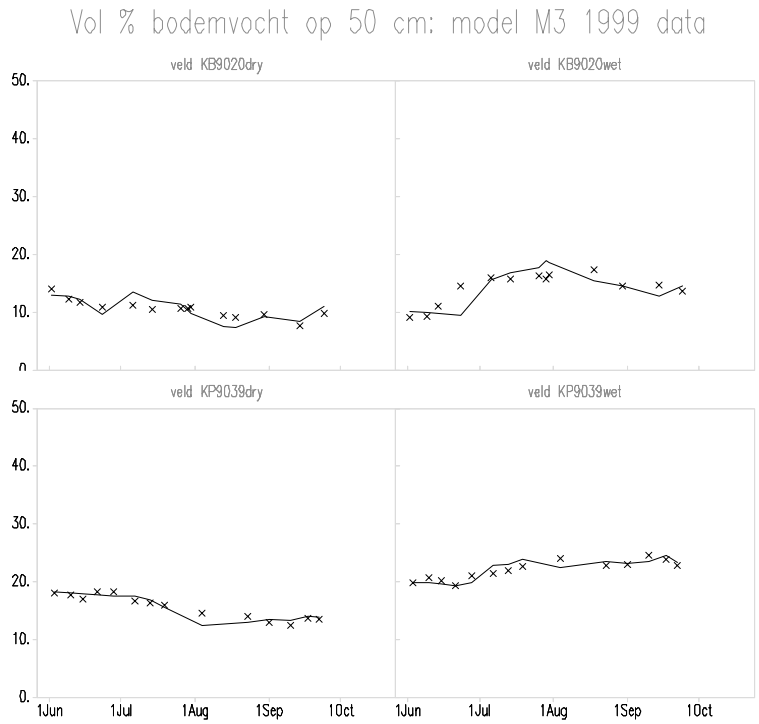
Figuur III.1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk: 25, 15, 31 en 10.



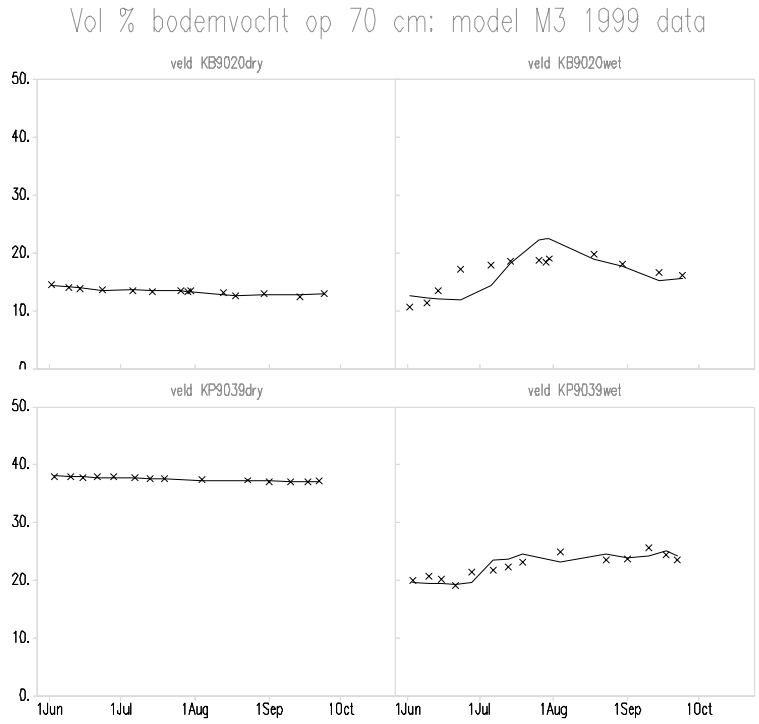
Figuur III.2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 25, 10, 28 en 16.



Figuur III-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 19, 8, 18 en 13.



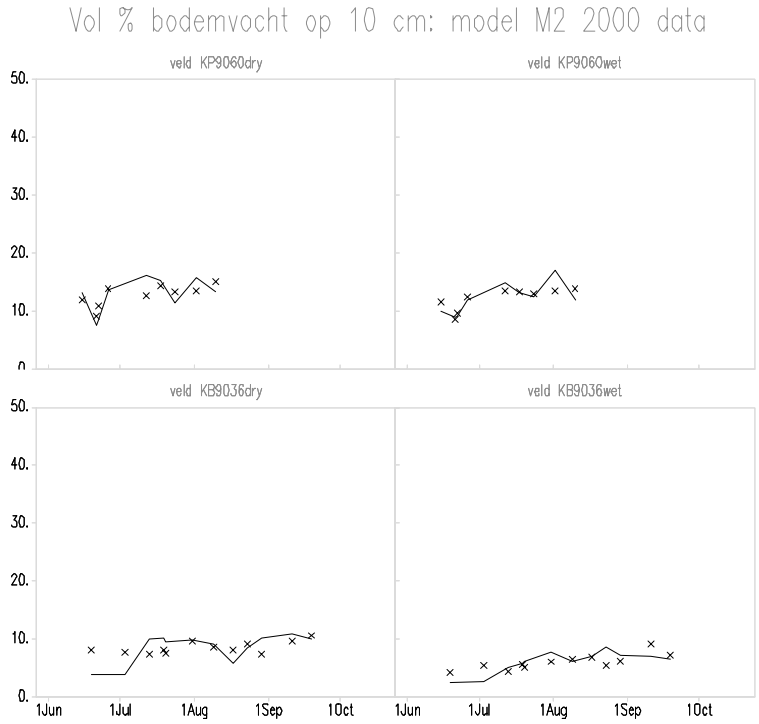
Figuur III-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 12,15, 5 en 4.



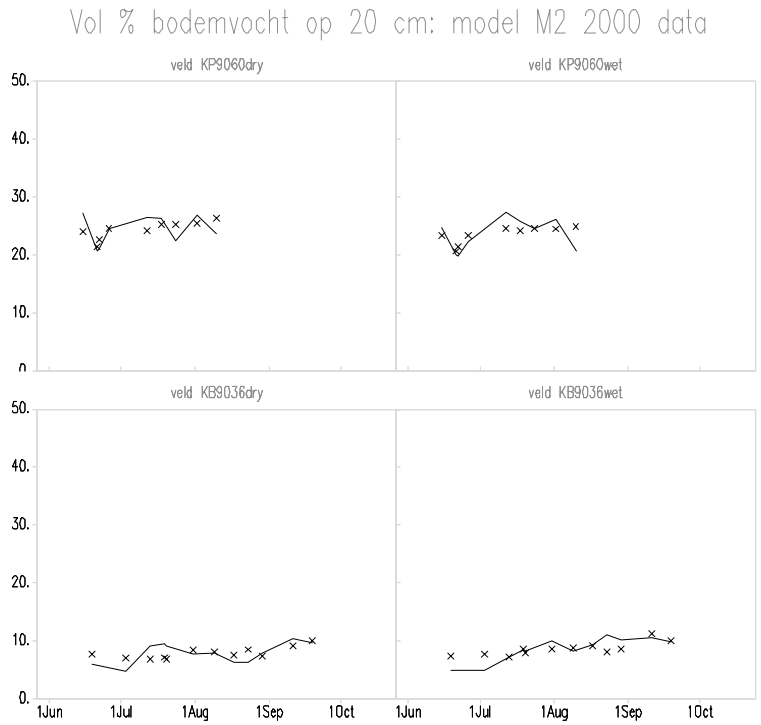
Figuur III-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.3, 16, 0.3 en 5.

Bijlage IV.

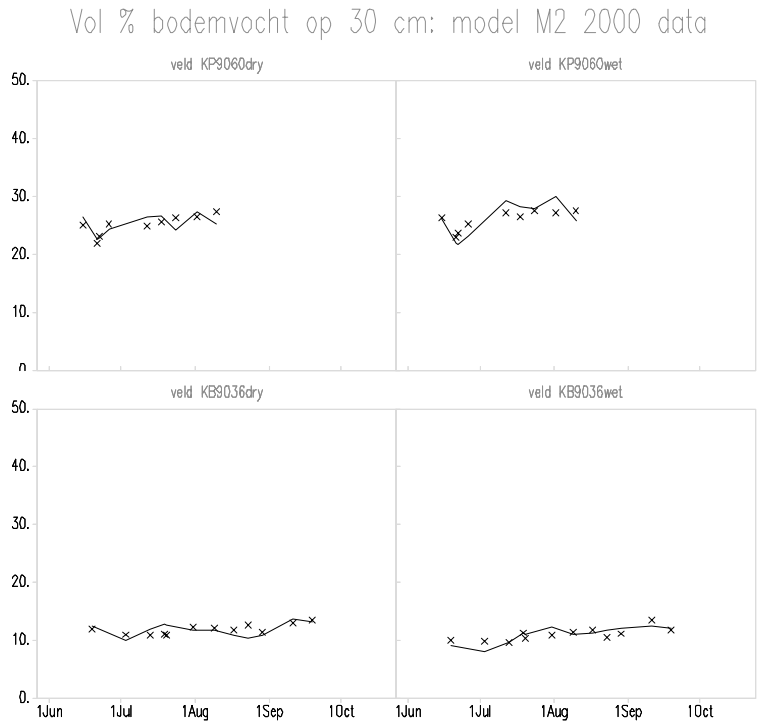
Waargenomen vocht volume % profielen in 2000 en voorspelde vocht % op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



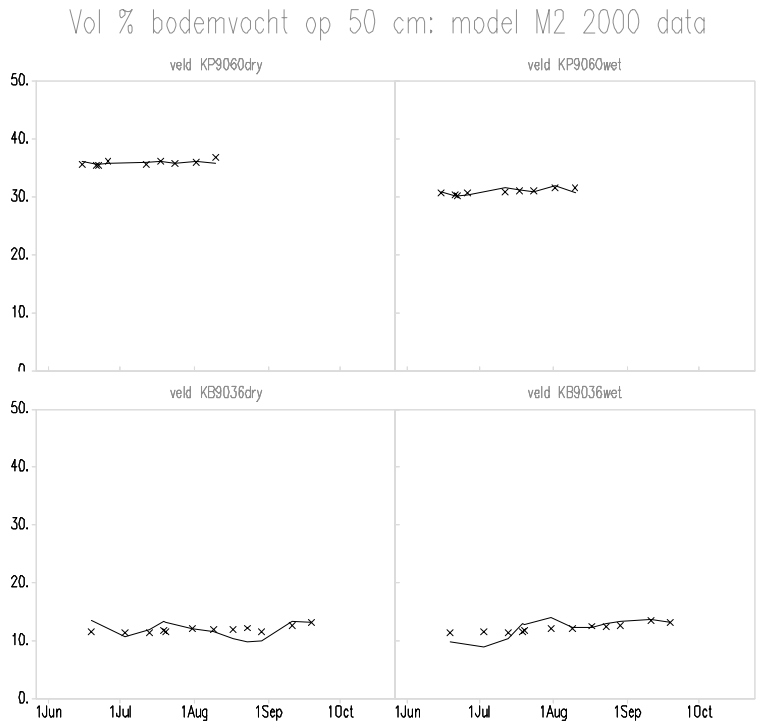
Figuur IV-1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.3, 16, 0.3 en 5.



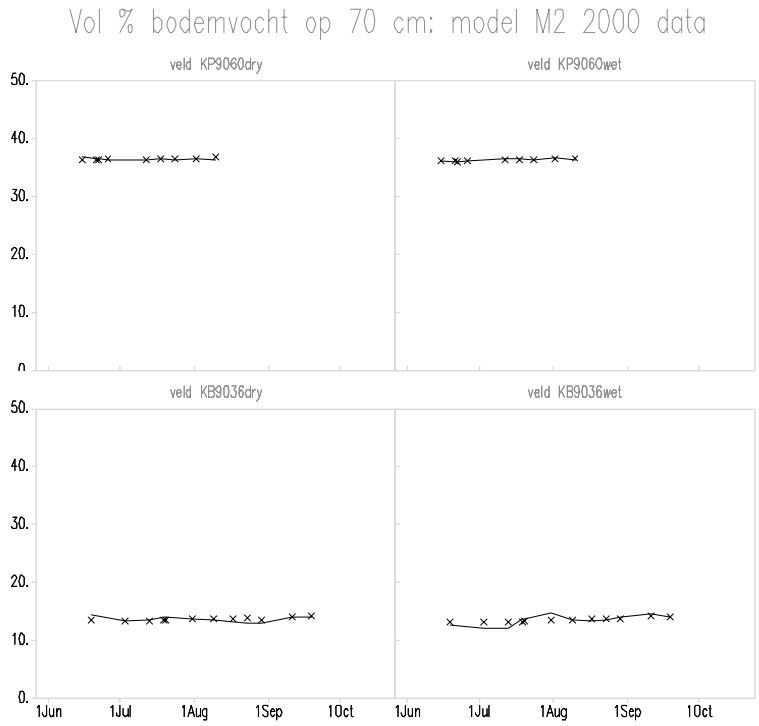
Figuur IV-2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 8, 9, 21 en 18.



Figuur IV-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 6, 7, 10 en 9.



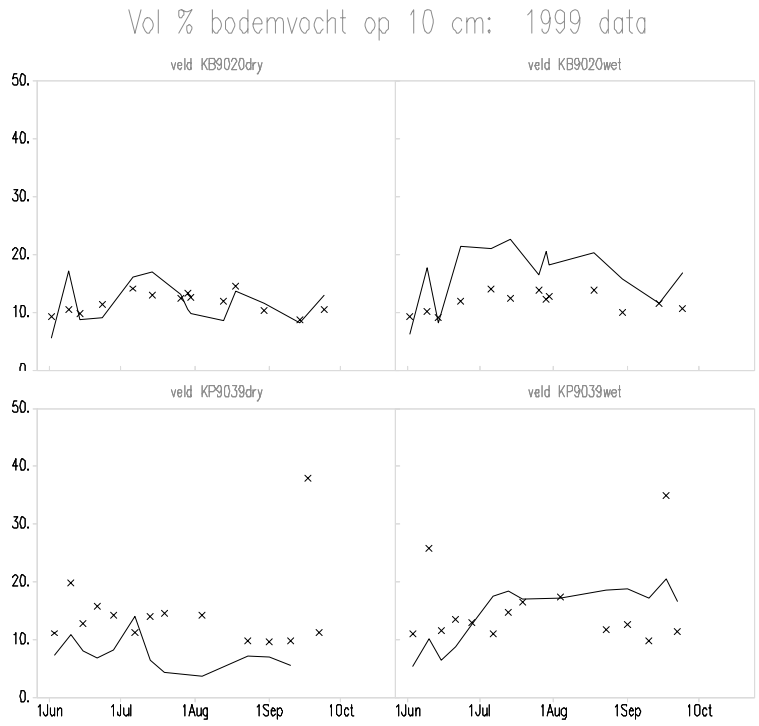
Figuur IV-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.2, 1.4, 11 en 10.



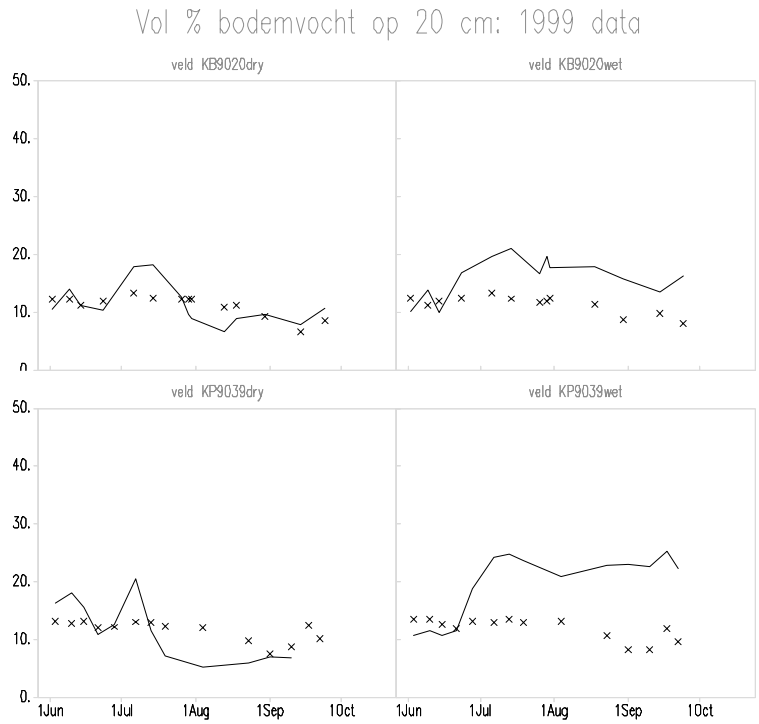
Figuur IV-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 0.7, 0.4, 3 en 5.

Bijlage V.

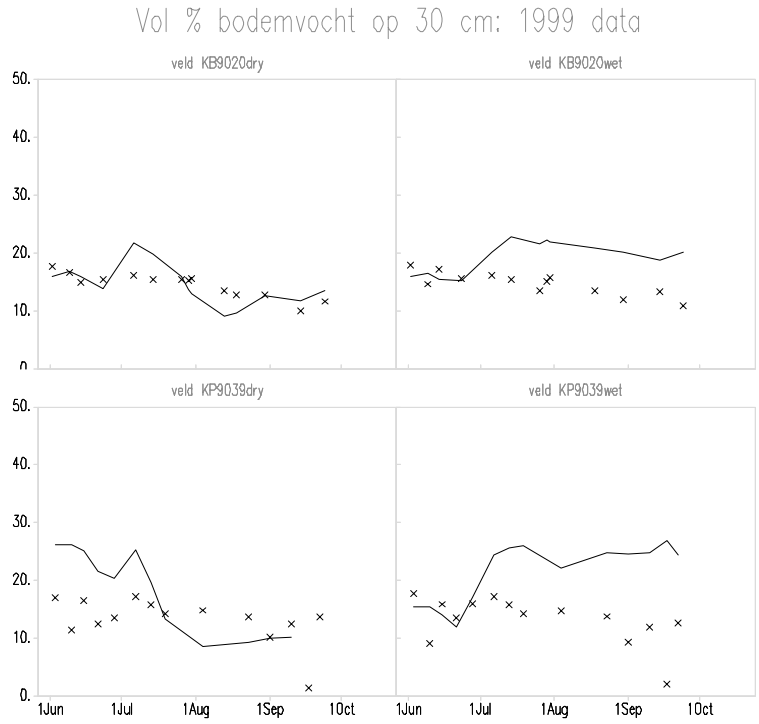
Illustratie van de instabiliteit van veldspecifieke calibratiefuncties. 1999 data met calibratiefunctie veld KB9020dry als voorspeller voor de andere velden



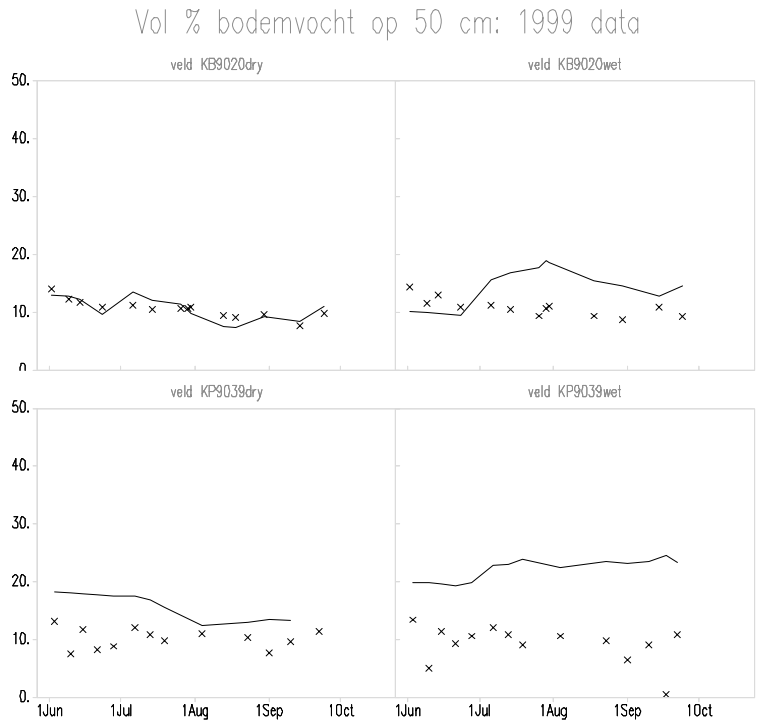
Figuur V-1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 25, 38, 81en 50.



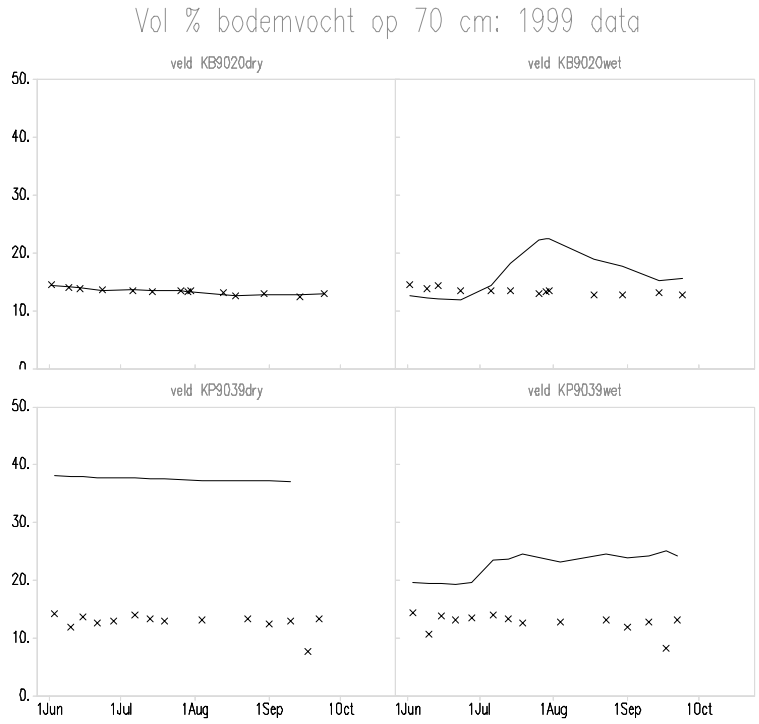
Figuur V-2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 25, 36, 33 en 51.



Figuur V-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 19, 31, 39 en 51.



Figuur V-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 12, 38, 38 en 61.



Figuur V-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 1, 38, 63 en 46.

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL

Voorspellen van droogtestress bij aardappelplanten uit reflectiemetingen aan het gewas: relatie tussen bodemvocht en ratios van pieken en reflectiemetingen

P.F.G. Vereijken[1)]

[1)] Biometris is een samenwerkingsverband tussen leerstoelgroep wiskundige en statistische methoden van Wageningen Universiteit en het centrum voor Biometrie van Plant Research International

Plant Research International B.V., Wageningen
maart 2002

Nota 167

WAGENINGEN UR

© 2002 Wageningen, Plant Research International 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, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres	:	Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
	:	Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel.	:	0317 - 47 70 00
Fax	:	0317 - 41 80 94
E-mail	:	post@plant.wag-ur.nl
Internet	:	http://www.plant.wageningen-ur.nl

Inhoudsopgave

		pagina
1.	Inleiding	1
2.	Materiaal en methoden	3
3.	Statistische analyse	5
4.	Resultaten	7
5.	Discussie	9
Bijlage I.	Waargenomen bodemvocht (volume %) profielen en dagen cropscan metingen	4 pp.
Bijlage II.	Spectraal metingen en pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	8 pp.
Bijlage III.	Waargenomen bodemvocht profielen in 1999 en geschatte bodemvochtwaarden op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	3 pp.
Bijlage IV.	Waargenomen vocht volume % profielen in 2000 en voorspelde vocht % op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	3 pp.
Bijlage V.	Illustratie van de instabiliteit van veldspecifieke calibratiefuncties. 1999 data met calibratiefunctie veld KB9020dry als voorspeller voor de andere velden	3 pp.

1. Inleiding

Gedurende de teelt van aardappelen kan droogtestress optreden. Bij uitblijven van natuurlijke neerslag kan niet tijdig beregenen leiden tot opbrengstverlies. Bij telers is behoefte aan een snelle en goedkope meetmethode in het veld op grond waarvan bij uitblijven van natuurlijke neerslag het optreden van waarschijnlijke droogtestress op korte termijn kan worden voorspeld. Bij verwachte droogtestress en ongunstige weersvooruitzichten kan dan worden besloten om het gewas te beregenen. De belangrijkste onderzoeksvraag is of reflectiemetingen aan het gewas als indicator voor droogtestress kunnen worden gebruikt. Ultieme doel van het onderzoek is te komen tot een betrouwbaar signaleringssysteem voor droogtestress op grond van lichtreflectiemetingen aan het gewas in het veld.

Er is een pilot-studie uitgevoerd met 8 proefvelden. Voor elk proefveld zijn gedurende het groeiseizoen dagelijks met de environscan methode de volumepercentage water gemeten op 5 dieptes in het voor de aardappelplanten relevante deel van de bodem. Daarnaast zijn op een beperkt aantal dagen lichtreflectiemetingen bij 16 geselecteerde golflengtes gedaan met de cropscan methode. De vraag was of de bodemvocht profielen kunnen worden gereconstrueerd uit de spectrale gewasmetingen. Er zijn legio regressiemodellen in de reflectiescores mogelijk. Meer concreet was de vraag of een viertal ratios van pieken van reflectiemetingen hiervoor konden worden gebruikt.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de aanpak en de resultaten van het verrichte onderzoek naar de relatie tussen volume percentages bodemvocht en de geselecteerde pieken ratio's. Daarnaast worden een aantal opmerkingen gemaakt bij de opzet en uitvoering van de pilot-studie, alsmede bij de weg waarlangs het ultieme doel te bereiken.

2. Materiaal en methoden

De pilot-studie

De pilot-studie is in 1999 en 2000 uitgevoerd. Er was sprake van 8 proefvelden waarvan de helft gelegen op zandgrond en de andere helft op dalgrond. De codering van de proefvelden, alsmede een korte beschrijving van de proefvelden is onderstaand weergegeven:

KB9020_droog	KB9020, 1999, veld 14, droog, N1, Seresta
KB9020_beregend	KB9020, 1999, veld 23, beregend, N1, Seresta
KP9039_droog	KP9039, 1999, veld 19, droog, N1, Seresta
KP9039-beregend	KP9039, 1999, veld 17, beregend, N1, Seresta
KP9060_droog	KP9060, 2000, veld 18, droog, N2, Seresta
KP9060_beregend	KP9060, 2000, veld 20, beregend, N2, Seresta
KB9036_droog	KB9036, 2000, veld 22, droog, N2, Seresta
KB9036_beregend	KB9036, 2000, veld 13, beregend, N2, Seresta

De KB percelen betroffen zandgrond met een organische stofgehalte van 4-5% en de KP percelen betroffen veenkoloniale dalgrond met een organische stofgehalte van 10-20%.

Voor elk proefveld zijn enviroscan en cropscanmetingen op één vaste plek in het veld verricht. Middels 5 sensoren zijn bodemvochtmetingen gedaan. De eerste sensor bevond zich aan de onderkant van de zandrug (10 cm onder de top van de zandrug en net onder de gepote aardappel). De tweede, derde, vierde en vijfde sensor bevonden zich op 20, 30, 50 en 70 cm onder de top van de zandrug. De sensoren 1, 2 en 3 bestreken de wortelzone van de aardappelplant in het begin van het groeiseizoen. Rond half juni komen de wortels pas in de buurt van de vierde sensor. Voor de toplaag met de eerste sensor is het effect van instraling het grootst. De bodemvochtmetingen van de eerste sensor bevatten daarom de meeste ruis. De verwachting was dat de metingen van de sensoren 2 en 3 de meeste informatie leveren met betrekking tot de vochtvoorziening van de aardappel planten. Gedurende het groeiseizoen zijn dagelijks om het uur meermalen bodemvochtmetingen verricht. Gedurende het groeiseizoen zijn op een beperkt aantal dagen (8 tot 14) cropscan metingen verricht in de namiddag. Een overzicht van de gemeten enviroscan en cropscan- variabelen is opgenomen in de onderstaande tabel.

Variabele	Omschrijving	Eenheid
Nr.	Number	
Datum	Date enviroscan	
Tijd	Time Enviroscan	
10 cm	Soil moisture at 0 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
20 cm	Soil moisture at 5 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
30 cm	Soil moisture at 15 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
50 cm	Soil moisture at 35 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
70 cm	Soil moisture at 55 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
V0-15	Soil layer 0-15 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V15-25	Soil layer 15-25 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V25-40	Soil layer 25-40 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V40-60	Soil layer 40-60 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V60-100	Soil layer 60-100 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
CUMV0-40	Soil layer 0-40 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
CUMV0-60	Soil layer 0-60 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
DATE	Date cropscan	
TIME	Time cropscan	
ANG	Ang cropscan	
IRR	Irradiation	
460	Wavelength 460 nm, PRI	
507	Wavelength 507 nm, PRI	
559	Wavelength 559 nm, PRI	
610	Wavelength 610 nm, PRI	
661	Wavelength 661 nm, PRI	
680	Wavelength 680 nm, PRI	
710	Wavelength 710 nm, PRI	
740	Wavelength 740 nm, PRI	
760	Wavelength 760 nm, PRI	
780	Wavelength 780 nm, PRI	
810	Wavelength 810 nm, PRI	
870	Wavelength 870 nm, PRI	
950	Wavelength 950 nm, PRI	
1091	Wavelength 1091 nm, PRI	
1220	Wavelength 1220 nm, PRI	
1600	Wavelength 1600 nm, PRI	
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index green, PRI	
FINTGRN	Light interception, green, PRI	
Red Edge	Red edge index, PRI	
Labda Red Edge	Labda red edge, PRI	
WDVI-rood	Weighted Difference Vegetation Index red, PRI	
FINTRED	Light interception, red, PRI	
Rw1	R810/R1600	
Rw2	R810/R950	
Rw3	R810/R1091	

In 2000 is het filter met golflengte 1600 nm in het apparaat vervangen door een filter met golflengte 1650 nm. Omdat 1999 vrij droog was zijn op de zandgronden (KB percelen) mogelijk meer effecten van droogtestress aanwezig. De pieken ratios Rw1 (R810/R1600), Rw2 (R810/R950), Rw3 (R810/R1091) en Rw4 (R810/R1220) zijn een maat voor de vochtinhoud van het gewas en zijn gebruikt om vocht volume percentage in de verschillende bodemlagen te voorspellen.

3. Statistische analyse

Beschrijvend: per veld zijn per laag van de bodemvocht metingen daggemiddelden berekend. Grafieken met de bodemvochtprofielen van de daggemiddelden zijn per veld gemaakt voor een indruk van zowel het niveau als het verloop van bodemvocht in de diverse bodemlagen gedurende het groeiseizoen. In de grafieken met bodemvochtprofielen zijn de dagen gemarkeerd waarop cropscan metingen zijn gedaan. Dit is gedaan voor een indruk van de resolutie van de benaderende bodemvochtprofielen, welke zouden zijn verkregen wanneer bodemvocht enkel op de cropscan dagen zou zijn gemeten en voor de andere dagen bodemvocht zou zijn berekend door interpolatie van de vochtscores op de cropscan dagen. De geïnterpoleerde profielen is het beste wat men mag verwachten bij voorspellen van bodemvocht uit cropscan metingen. Door deze benaderende vochtprofielen te vergelijken met de 'volledige' profielen van de daggemiddelden ziet men wat aan locale pieken en dalen wordt gemist. Feitelijk dient eerst te worden nagegaan of uit de 'volledige' vochtprofielen en andere vereiste inputs (ontwikkelingsstadium van het gewas, bodemtype en de verwachte weersvooruitzichten, etc.) vermoedelijke periodes van droogtestress kunnen worden berekend. Vervolgens kan worden nagegaan of de resolutie van de benaderende vochtprofielen groot genoeg is voor de berekening van deze vermoedelijke periodes van droogtestress of dat meer frequente cropscan metingen wenselijk zijn. In het uiterste geval dienen dagelijks cropscan metingen te worden gedaan. Het voor de droogte stress berekening gebruikte rekenmodel laat bovendien zien welke vochtinput vereist is en of vochtgegevens in de afzonderlijke lagen perse nodig zijn.

Voorspellen van bodemvocht volume % uit reflectie ratios

Voor de beschrijving van de relatie tussen daggemiddelden van bodemvocht volume% en de pieken ratios Rw1=R810/R1600 (R810/R1650 voor de 2000 data), Rw2=R810/R950 en Rw3=R810/R1090 en Rw4=R810/R1220 is gebruik gemaakt van de volgende calibratiefunctie:

$$\text{Bodemvochtvol \%} = b0 + b1 \times Rw1 + b2 \times Rw2 + b3 \times Rw3 + b4 \times Rw4 \qquad (1)$$

In model (1) stelt b0 het niveau voor en zijn b1 tot en met b4 regressiecoëfficiënten.

Omdat beschikbaarheid van bodemvocht voor de planten als vochtopname efficiëntie afhangen van de bodemstructuur kunnen metingen van verschillende bodems niet zondermeer op een hoop worden gegooid. Voor elk veld is per laag aan de gemeten vochtdata middels lineaire regressie calibratiefunctie (1) aangepast. Daarbij is aangenomen dat de residuele bijdragen onderling onafhankelijk verdeeld zijn met gemiddelde 0 en constante variantie σ^2. Omdat per veld slechts op 8 tot 14 dagen cropscan metingen zijn gedaan is het aantal meetpunten voor het berekenen van de calibratiefunctie erg beperkt. Als maat voor de kwaliteit van veldspecifieke calibratiefuncties is de gemiddelde procentuele schattingsfout berekend. Voor een beeld van de kwaliteit van de gefitte calibratiefuncties zijn grafieken gemaakt van de gemeten vochtwaarden en de onder het model geschatte vochtwaarden. Verder is voor de 1999 data onderzocht of verschillende calibratiefuncties per veld wenselijk zijn of dat met één calibratiefunctie voor de 4 proefvelden kan worden volstaan. Hetzelfde is gebeurd voor de data uit 2000. Een indruk van de voorspelkwaliteit van een gefitte calibratiefunctie voor andere velden wordt verkregen door de gemiddelde procentuele voorspelfout te berekenen en gemeten en voorspelde vochtwaarden grafisch weer te geven.

4. Resultaten

De grafieken van de waargenomen bodemvochtprofielen zijn opgenomen in Bijlage I. Uit de grafieken blijkt dat de resolutie van de benaderende bodemprofielen, gebaseerd op de vochtmetingen op de dagen dat cropscan metingen zijn verricht, niet altijd even hoog is en dat locale pieken en dalen gemist worden. Of de afwijkingen acceptabel zijn hangt af van de grootte van de afwijkingen die acceptabel zijn bij de berekeningen van droogtestress. Of de resolutie voor het berekenen van droogtestress voldoende is dient te worden nagegaan.

In Bijlage II zijn grafieken opgenomen van de spectrale metingen per meettijdstip. Daarnaast zijn profielen opgenomen van de gemeten ratios van pieken van reflectiemetingen. De grafieken geven een beeld van het verloop in de tijd van de gebruikte variabelen in de calibratiefunctie.

Grafieken van de geschatte bodemvocht % voor de verschillende velden onder calibratiefunctie (1) en van de waargenomen bodemvochtprofielen zijn opgenomen in de Bijlagen III en IV. Op grond van de gefitte waarden lijken veld specifieke calibratiefunctie de vochtdata redelijk te kunnen reconstrueren. Bij het vergelijken van calibratiefuncties van verschillende velden is middels regressieanalyse onderzocht in hoeverre er aanwijzingen zijn voor niveau verschillen tussen velden, constante regressiecoëfficiënten voor verschillende velden en of veldspecifieke regressiecoëfficiënten. In de Tabellen 1 en 2 zijn respectievelijk voor de data uit 1999 en uit 2000 opgenomen de F ratios (verhouding van gemiddelde kwadraatsom voor te toetsen effect en gemiddelde restkwadraatsom (MSE). Tevens zijn de berekende p-waarden van de F-toetsen en de procentuele schattingsfouten opgenomen.

Tabel 1. Berekende F-ratios, mean squared error, procentuele fouten bij aanpassen van veldspecifieke calibratiefunctie aan vocht volume % data uit 1999.

Variatiebron	df	Vol% 10 cm	Vol% 20 cm	Vol% 30 cm	Vol% 50 cm	Vol% 70 cm
Veldspecifieke niveaus	3	18.6***	18.1***	10.5***	112***	507***
Constante regressiecoëfficiënten b1…b4	4	3.8**	1.7	1.8	1.7	2.8*
Veldspecifieke regressiecoëfficiënten b1…b4	12	3.0**	3.4**	5.7***	5.6***	3.3**
MSE	35	10.6	12.2	11.0	2.8	3.1
%fout KB9020dry		25	25	19	12	1.3
%fout KB9020wet		15	10	8	15	16
%fout KP9039dry		31	28	18	5	0.3
%fout KP9039wet		10	16	13	4	5

* *P< 0.05;*
** *P< 0.01;*
*** *P< 0.001, refererend aan een F verdeling, waarbij model termen in volgende rijen niet zijn meegenomen*

Tabel 2. Berekende F-ratios, mean squared error, procentuele fouten bij aanpassen van veldspecifiek calibratiefunctie aan vocht volume % data uit 2000.

Variatiebron	df	Vol% 10 cm	Vol% 20 cm	Vol% 30 cm	Vol% 50 cm	Vol% 70 cm
Veldspecifieke niveaus	3	26.7***	249***	366***	1168***	6947***
Constante regressiecoëfficiënten b1…b4	4	5.6**	4.6**	8.8***	2.2	3.0
Veldspecifieke regressiecoëfficiënten b1…b4	12	1.3	1.4	1.4	0.8	1
MSE	22	4.0	3.4	1.9	1.4	0.3
%fout KP9060dry		10	6	3	0.3	0.3
%fout KP9060wet		10	7	6	1.0	0.3
%fout KB9036dry		22	15	8	10	2.8
%fout KB9036wet		20	13	7	8	4.1

* *P< 0.05;*
** *P< 0.01;*
*** *P< 0.001, refererend aan een F verdeling, waarbij model termen in volgende rijen niet zijn meegenomen*

De analyse resultaten in Tabel 1 en 2 wijzen uit dat sprake is van niveau verschillen tussen de velden, alsmede dat voor de 1999 data veldspecifieke calibratiefuncties wenselijk zijn. Dit houdt in dat gefitte calibratiefuncties geen of nauwelijks voorspellende waarde behoeven te hebben bij gebruik voor nieuwe velden. Ter illustratie van de instabiliteit van gefitte calibratiefuncties is voor de 1999 data de calibratiefunctie voor veld KB9020 droog gebruikt als voorspeller voor de overige drie velden. De grafieken met waargenomen bodemvochtprofielen en voorspelde bodemvocht waarden zijn opgenomen in Bijlage V. De grafieken wijzen uit dat een gefitte calibratiefunctie voor nieuwe velden geen voorspellende waarde heeft.

Conclusies: analyse van de data van de pilot-studie heeft uitgewezen dat:

- Pieken van reflectiemetingen kunnen worden gebruikt voor de reconstructie van bodemvocht volume%. Van belang is wel zich te realiseren dat de berekende procentuele schattingsfouten mogelijk een te optimistisch beeld geven wanneer de calibratiefunctie voor andere plekken op een veld zou worden gebruikt aangezien de calibratiefunctie enkel betrekking heeft op de plek specifieke situatie.
- Veldspecifieke calibraties wenselijk zijn en gefitte calibratiefuncties instabiele voorspellers blijken te zijn bij gebruik voor andere velden.

5. Discussie

Vereiste meetfrequentie spectraal metingen

Essentieel voor het onderzoek is dat de berekeningsmethode bekend is om uit 'complete' bodemvocht-profielen en andere vereiste input vast te stellen in welke periodes sprake is van vermoedelijke droogte-stress tijdens het groeiseizoen. Daarbij wordt ook duidelijk welke inputs nodig zijn en in welke vorm. Voor de vocht input is het van belang te weten of informatie over bodemvocht per laag perse nodig is of dat met een geaggregeerde vochtmetingen gerekend wordt. Verder dient te worden nagegaan of dagelijkse vochtmetingen nodig zijn of dat kan worden volstaan met een grid van vochtmetingen gedurende het seizoen en hoe fijn dat grid dan wel dient te zijn.

Smoothing van vochtdata

Spectrale metingen hebben betrekking op de plant. In het verrichte onderzoek werd bodemvocht gemeten op de dagen van de reflectiemetingen gerelateerd aan pieken ratios van spectraal metingen. Vraag is hoe snel de plant op bodemvocht reageert. Feitelijk dienen de mechanismen bekend te zijn. Wellicht geven bodemvochtmetingen op hetzelfde tijdstip als dat van de spectraalmetingen minder hoge correlaties dan een geaggregeerde maat voor bodemvocht in een korte periode direct voorafgaand aan het tijdstip van de cropscan meting. Als maat voor de droogte toestand in deze periodes zou het gemiddelde vochtpercentage kunnen worden genomen. Optimale lengte van de periode te berekenen door lengte te variëren en na te gaan voor welke lengte correlatie het grootst is.

Veldspecifieke calibratiefuncties

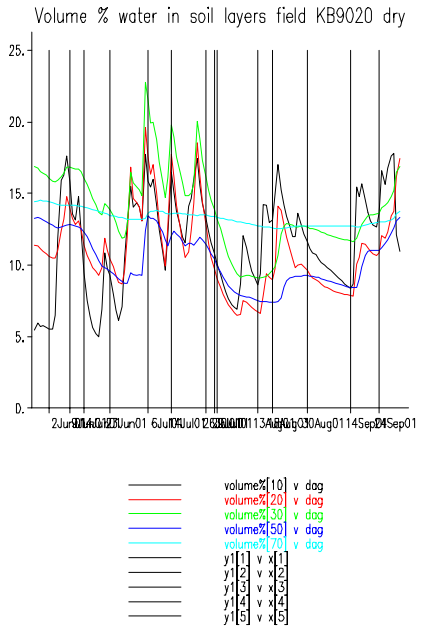
Analyse heeft uitgewezen dat niet met één calibratiefunctie voor verschillende velden kan worden volstaan. Centraal staat de vraag waar de verschillen vandaan komen en hoe hierop vat te krijgen. Feitelijk betreft het complexe data waarbij sprake is van variatie tussen velden en variatie binnen velden. In de pilot-studie werd niet op meerdere plekken binnen hetzelfde veld gemeten. Indien dit wel was gebeurd, had men een beeld gekregen van verschillen tussen plekken, zou een grotere en ruimere verzameling van data voor aanpassen van de calibratiefunctie zijn verkregen en zou een interne validatie van het gefitte calibratiefunctie mogelijk geweest zijn. Bovendien had men kunnen beschikken over schattingen van procentuele voorspelfouten bij gebruik van de calibratiefunctie voor het hele veld. In de pilot-studie is echter maximaal ingezet op variatie tussen velden door één veld te nemen voor elk van de 8 mogelijke instellingen van de proeffactoren: soort grond, wel of geen beregening en de N gift. Feitelijk behoefte aan hiërarchische calibratiefuncties waarin rekening wordt gehouden met variatie tussen en binnen velden. De situatie is hopeloos ingeval elke veldsituatie op zich zelf blijkt te staan. Gehoopt wordt echter dat verschillen tussen velden in belangrijke mate systematisch zijn en veroorzaakt worden door enkele proeffactoren (bodemstructuur, etc.) en de overblijvende variatie tussen velden klein is.

Voor toekomstige proeven voor opstellen van vocht calibratiefuncties wordt geadviseerd op meerdere plekken binnen een veld te meten. Verder wordt geadviseerd meerdere velden bij elke combinatie van instellingen van voor verschillen tussen velden belangrijk geachte factoren mee te nemen.

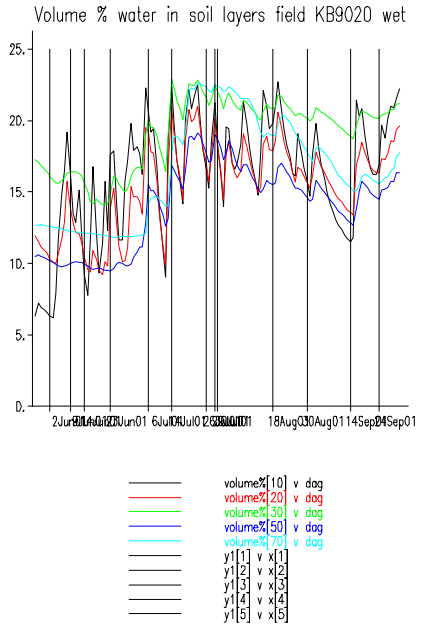
In calibratie model rekening houden met niveaus en regressiecoëfficiënten die af mogen hangen van de instellingen van de proeffactoren, alsmede met additionele random effecten voor residuele niveauverschillen en voor residuele verschillen tussen regressiecoëfficiënten van de velden na afsplitsing van eerder genoemde vaste effecten. Bovengenoemde aanpak leidt tot specifieke calibratiefuncties voor elke combinatie van instellingen van deze factoren.

Bijlage I.

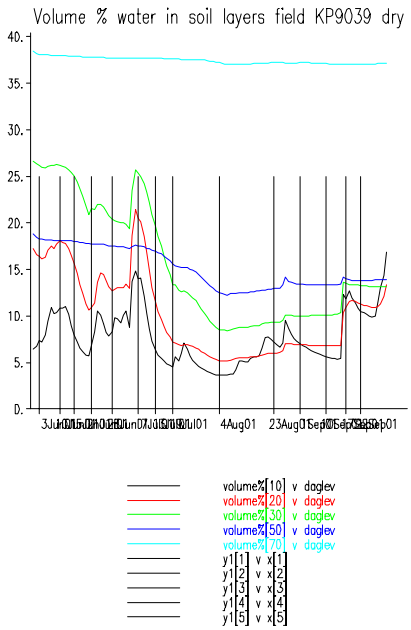
Waargenomen bodemvocht (volume %) profielen en dagen cropscan metingen



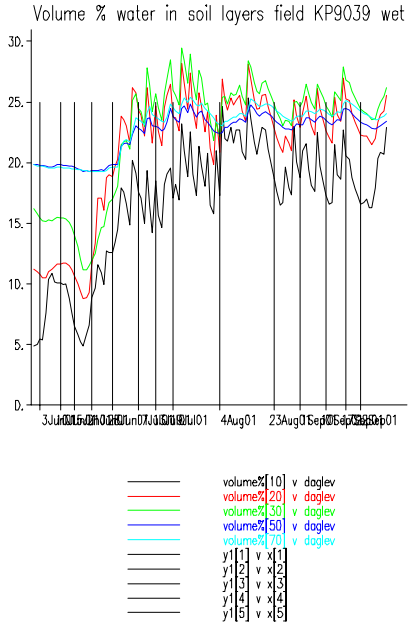
Figuur I-1. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KB9020dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



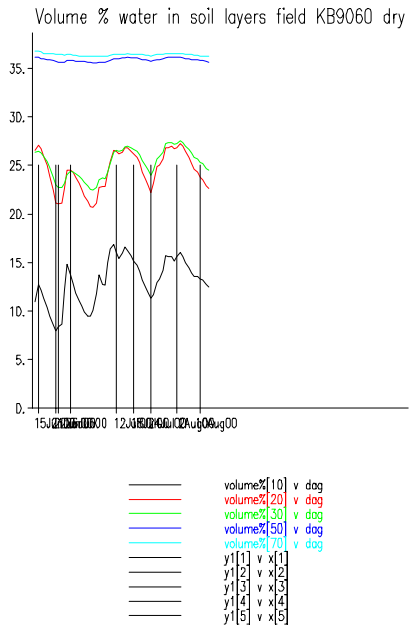
Figuur I-2. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KB9020wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



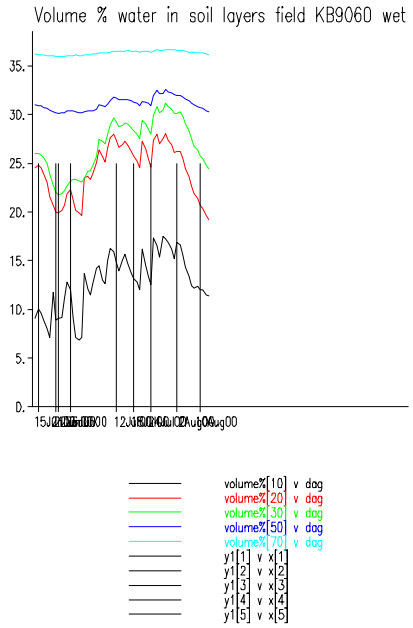
Figuur I-3. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9039dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



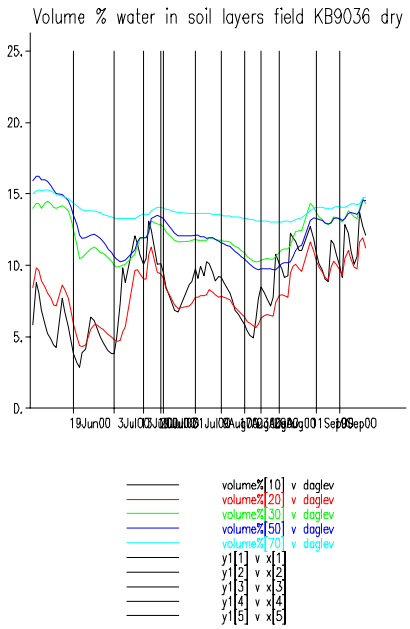
Figuur I-4. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9039wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



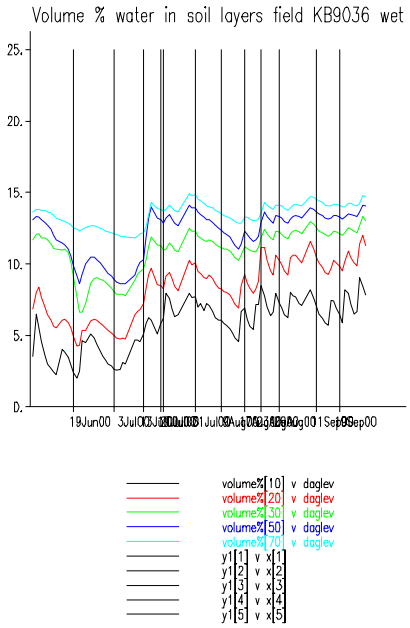
Figuur I-5. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9060dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven



Figuur I-6. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9060wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



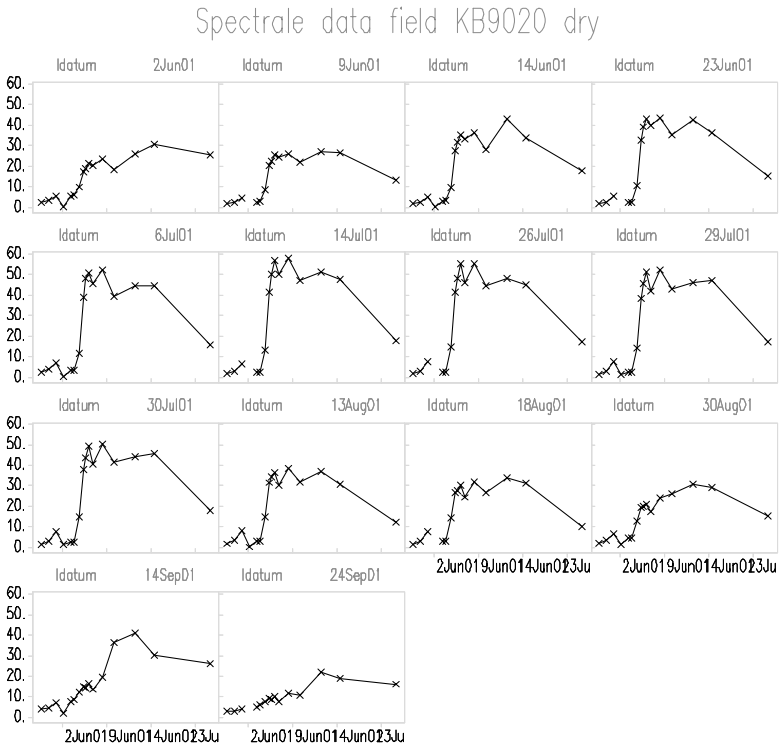
Figuur I-7. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9036dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven



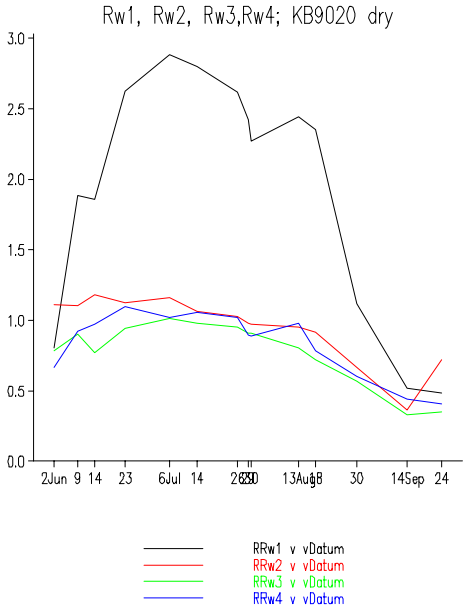
Figuur I-8. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9036wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.

Bijlage II.

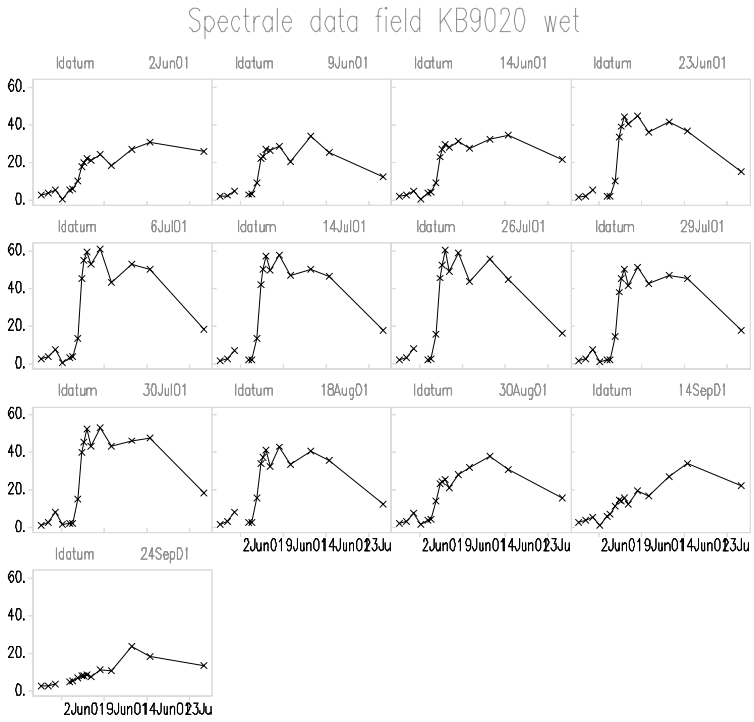
Spectraal metingen en pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



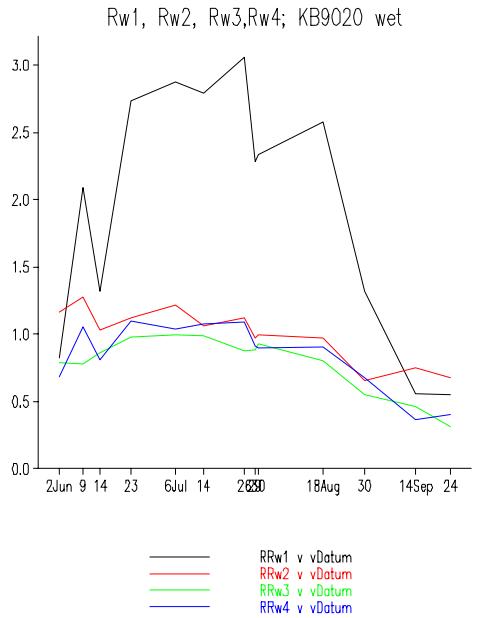
Figuur II-1. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9020dry.



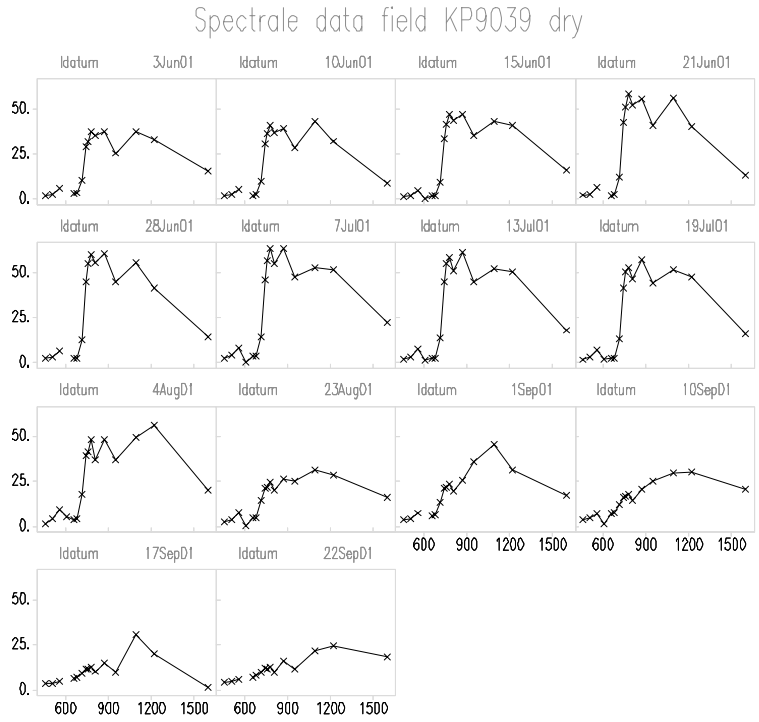
Figuur II-2. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 voor veld KB9020dry.



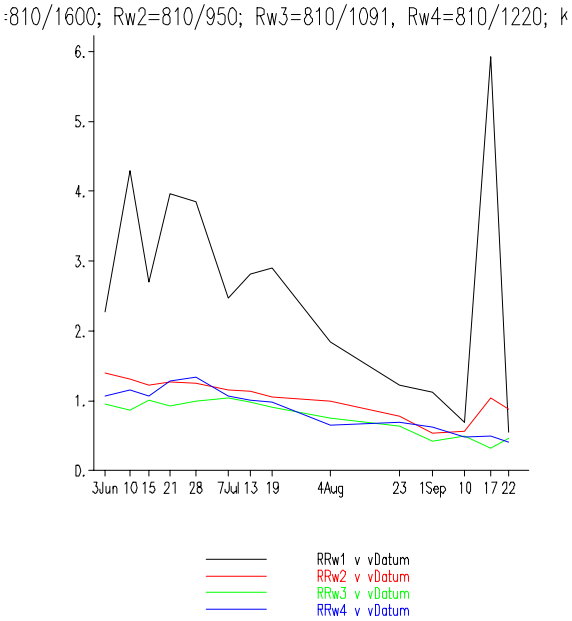
Figuur II-3. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9020wet.



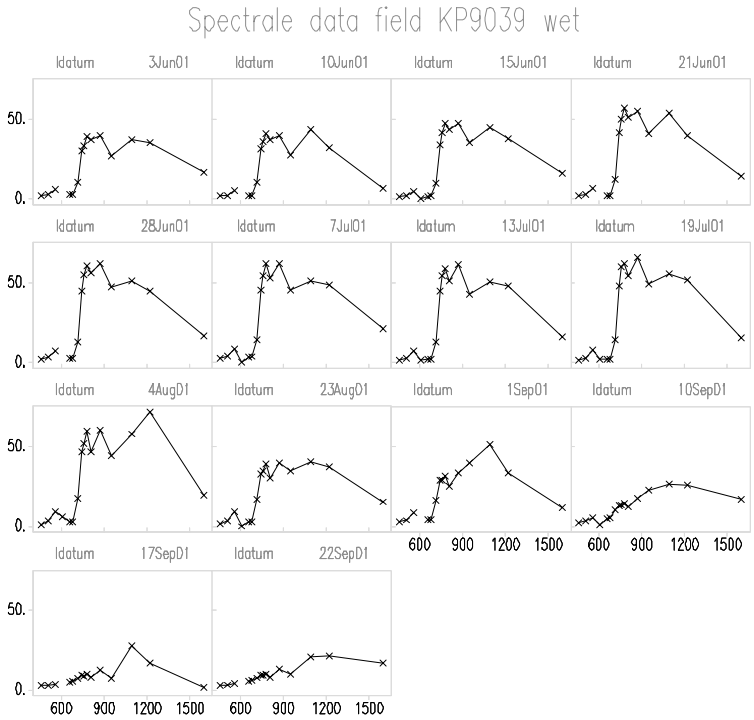
Figuur II-4. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 voor veld KB9020 wet.



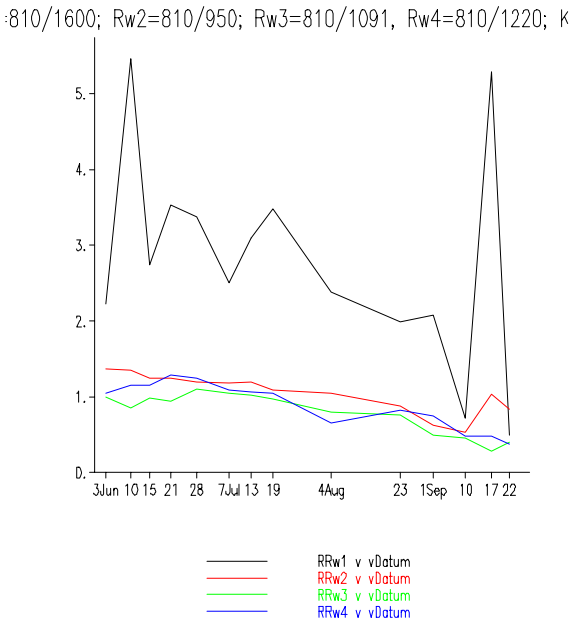
Figuur II-5. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9039 dry.



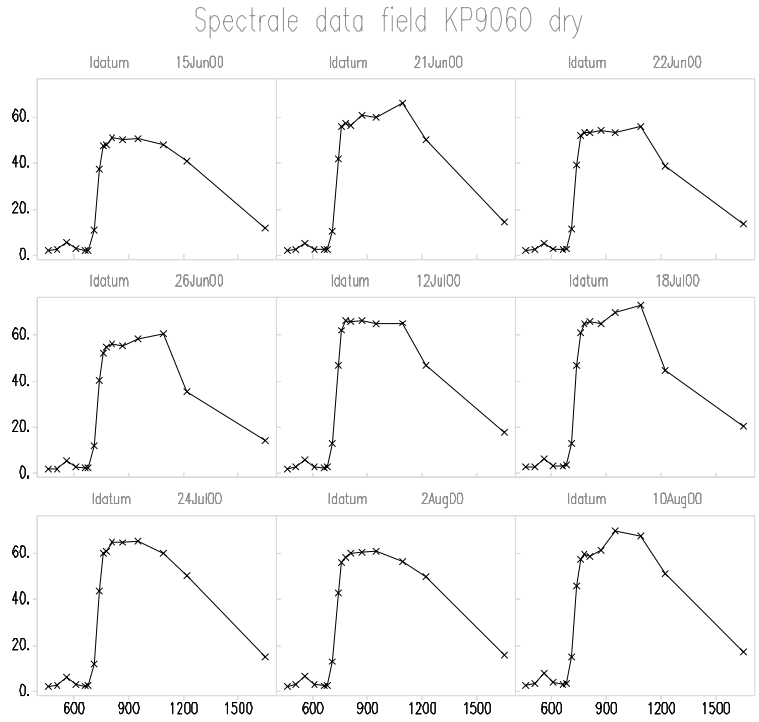
Figuur II-6. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9039 dry.



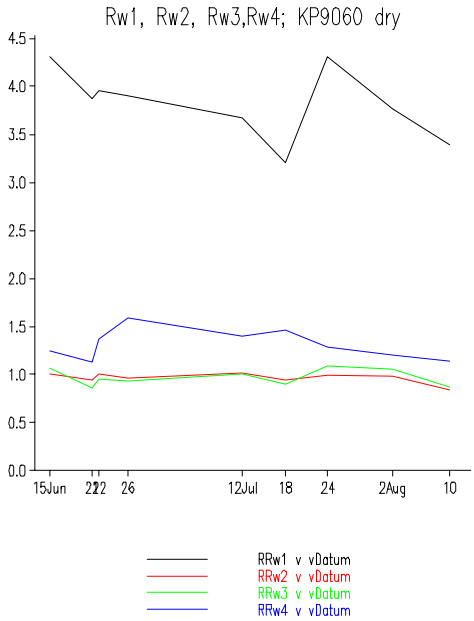
Figuur II-7. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9039 wet.



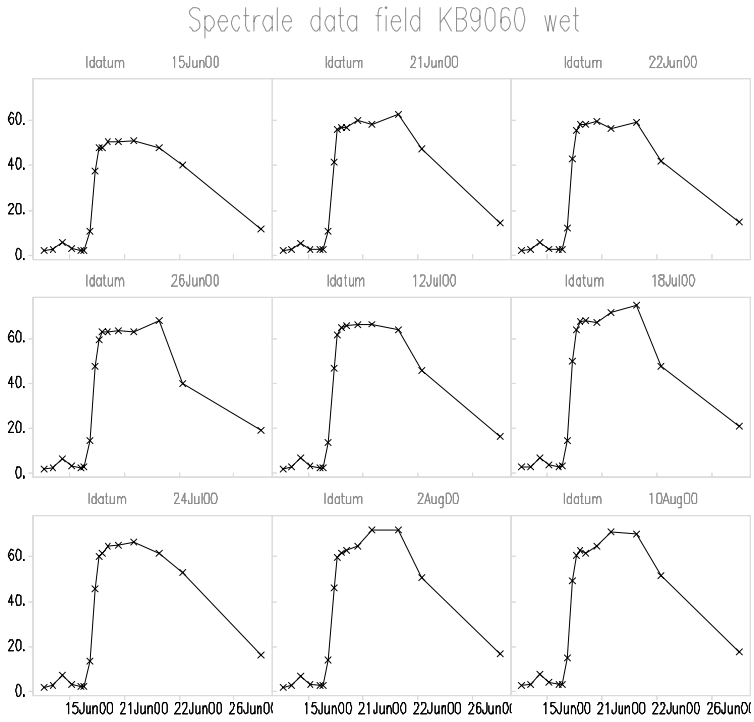
Figuur II-8. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9039 wet.



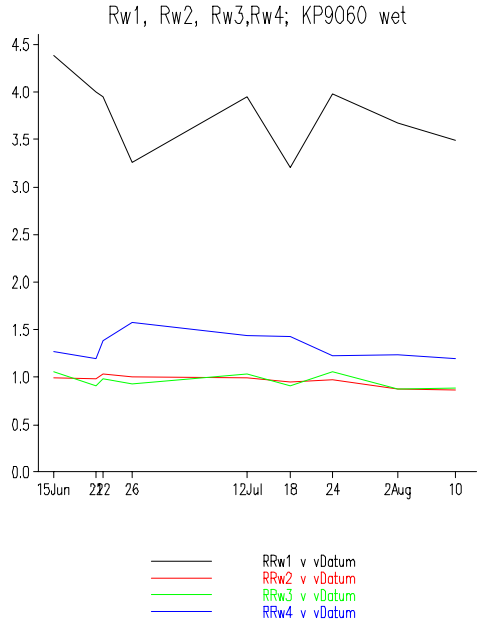
Figuur II-9. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9060 dry.



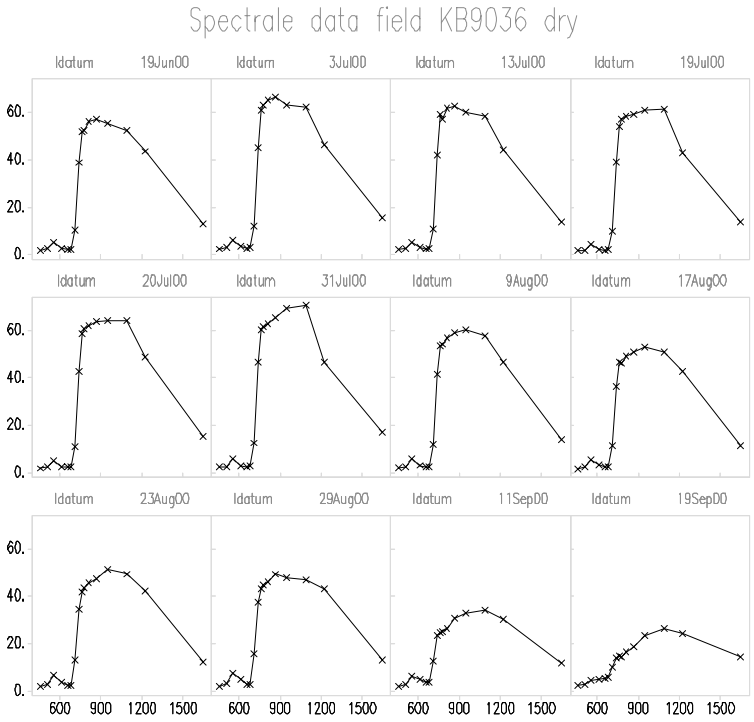
Figuur II-10. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9060 dry.



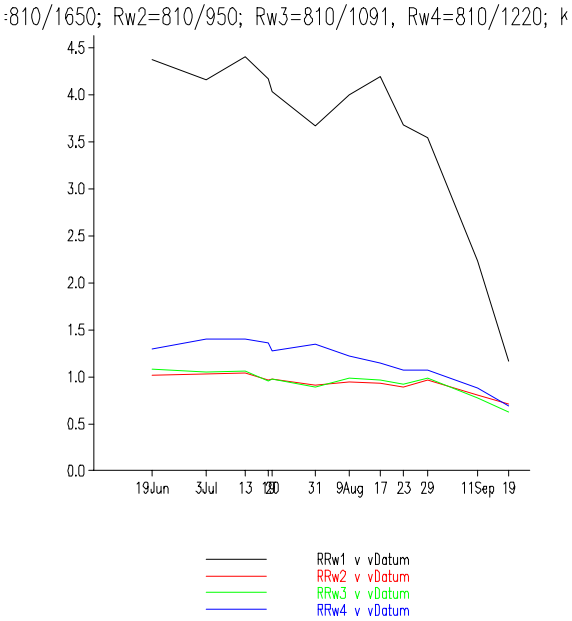
Figuur II-11. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9060 wet.



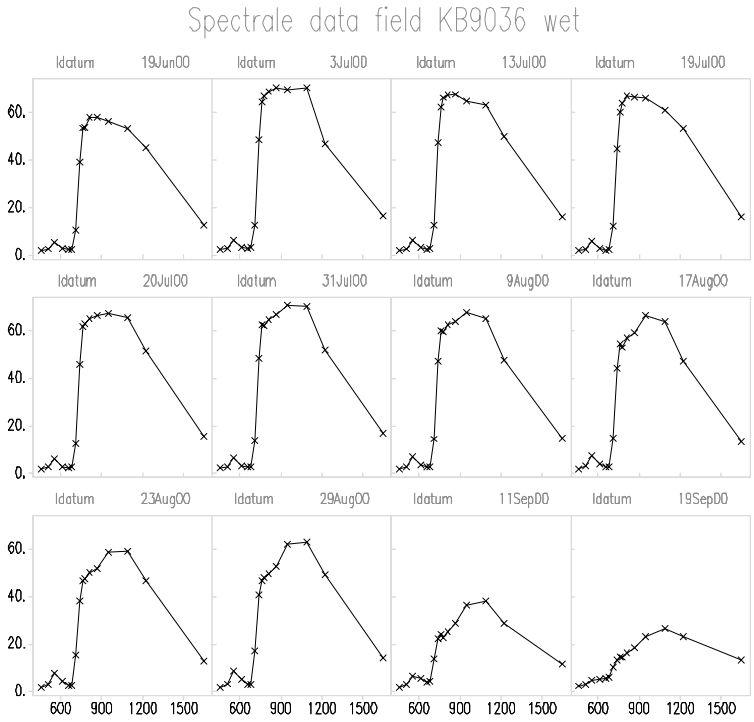
Figuur II-12. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9060 wet.



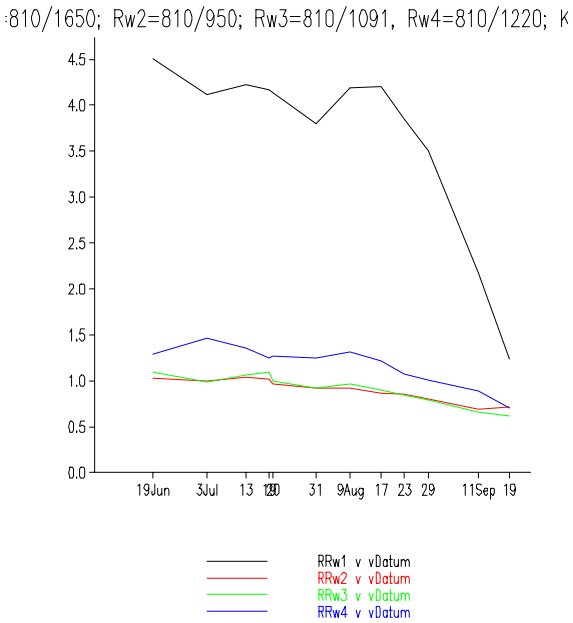
Figuur II-13. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9036 dry.



Figuur II-14. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KB9036 dry.



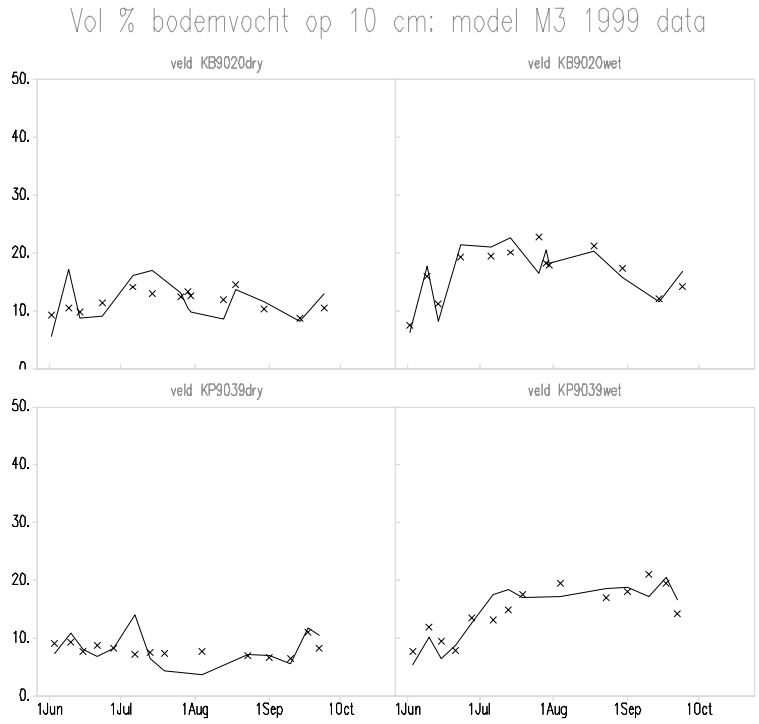
Figuur II-15. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9036 wet.



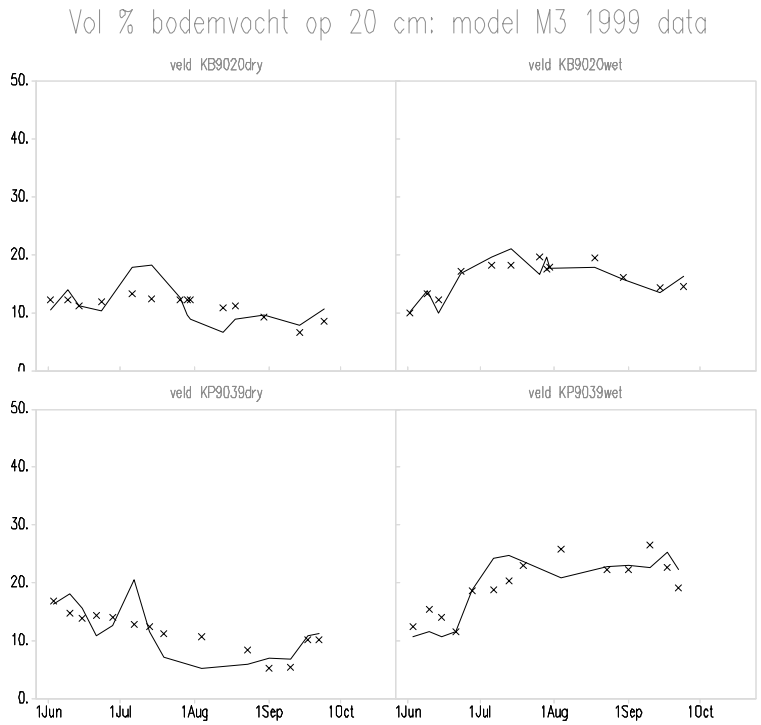
Figuur II-16. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KB9036 wet.

Bijlage III.

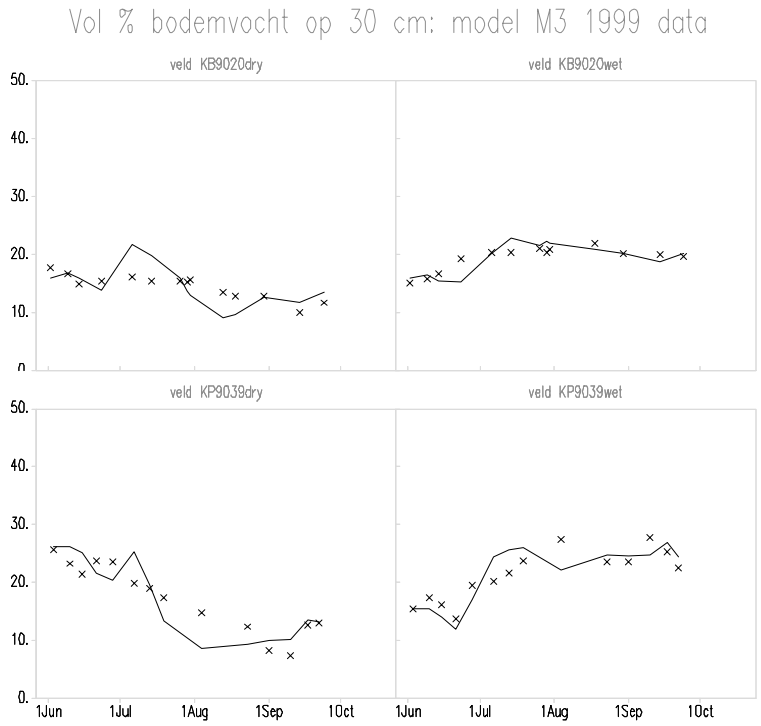
Waargenomen bodemvocht profielen in 1999 en geschatte bodemvochtwaarden op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



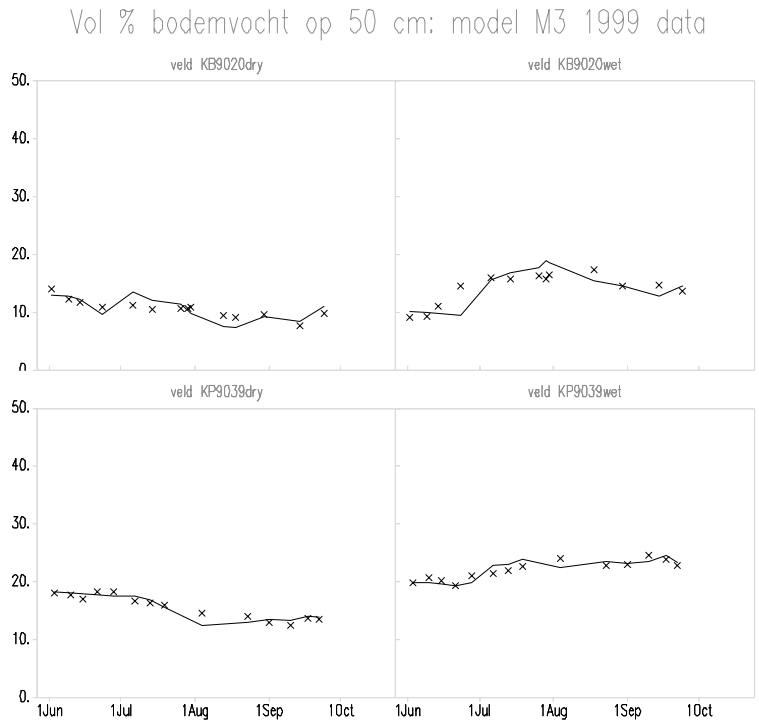
Figuur III.1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk: 25, 15, 31 en 10.



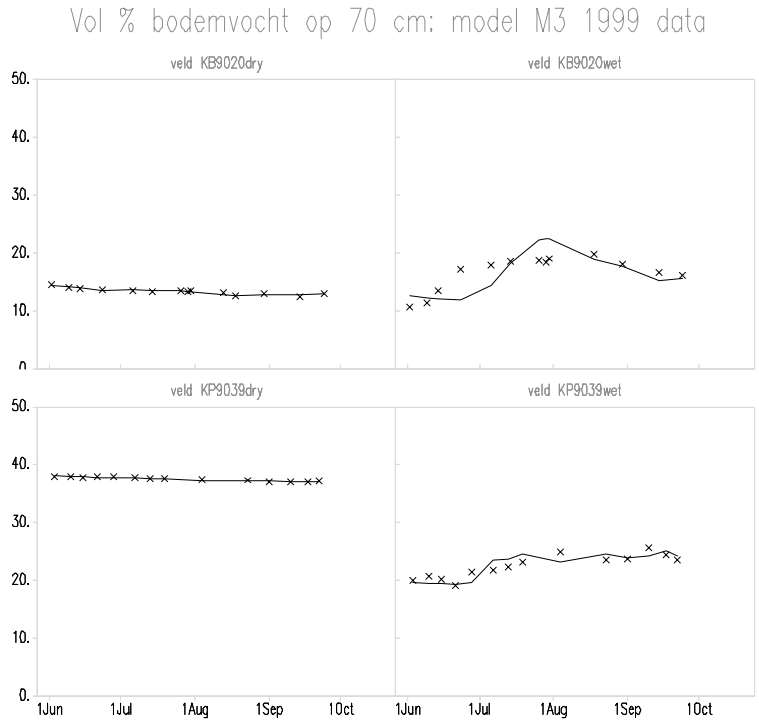
Figuur III.2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 25, 10, 28 en 16.



Figuur III-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 19, 8, 18 en 13.



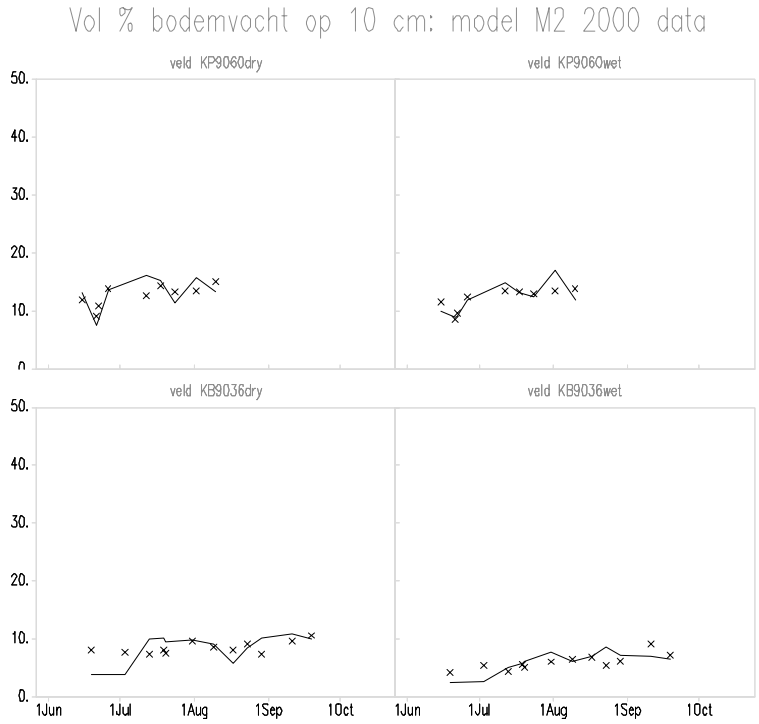
Figuur III-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 12,15, 5 en 4.



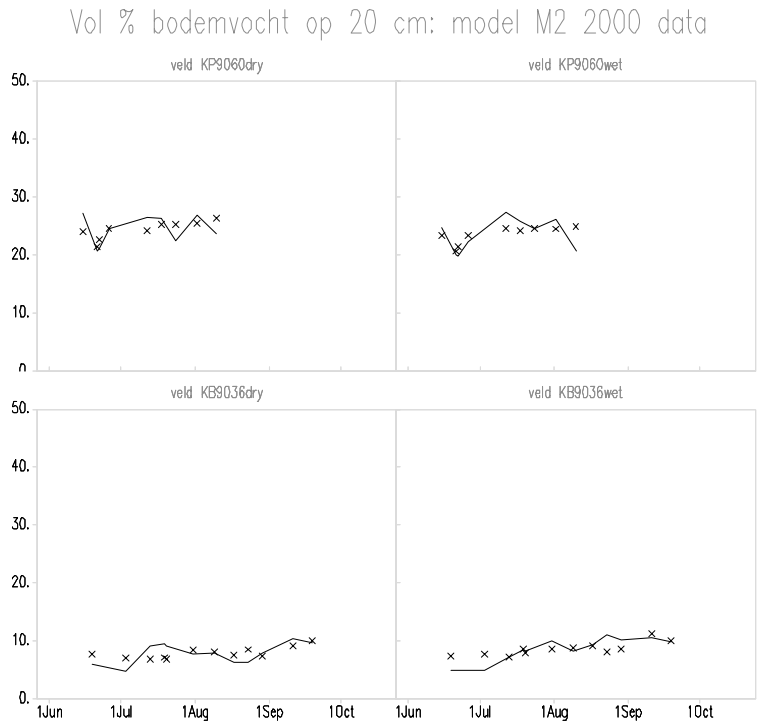
Figuur III-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.3, 16, 0.3 en 5.

Bijlage IV.

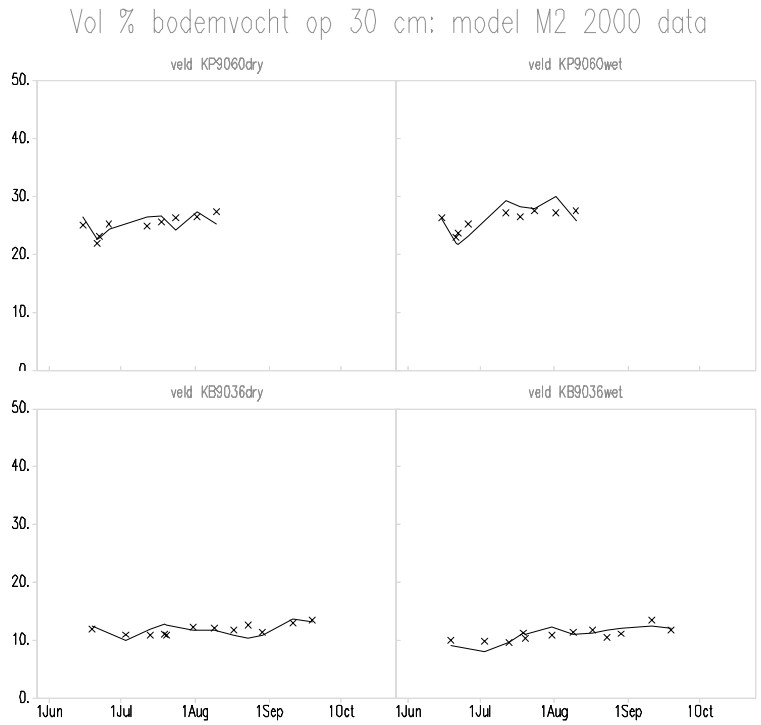
Waargenomen vocht volume % profielen in 2000 en voorspelde vocht % op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



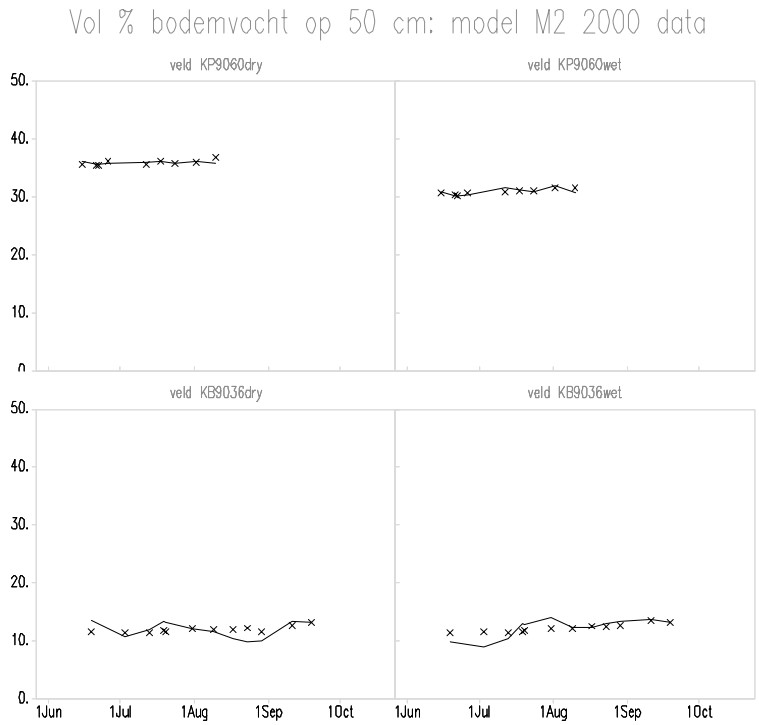
Figuur IV-1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.3, 16, 0.3 en 5.



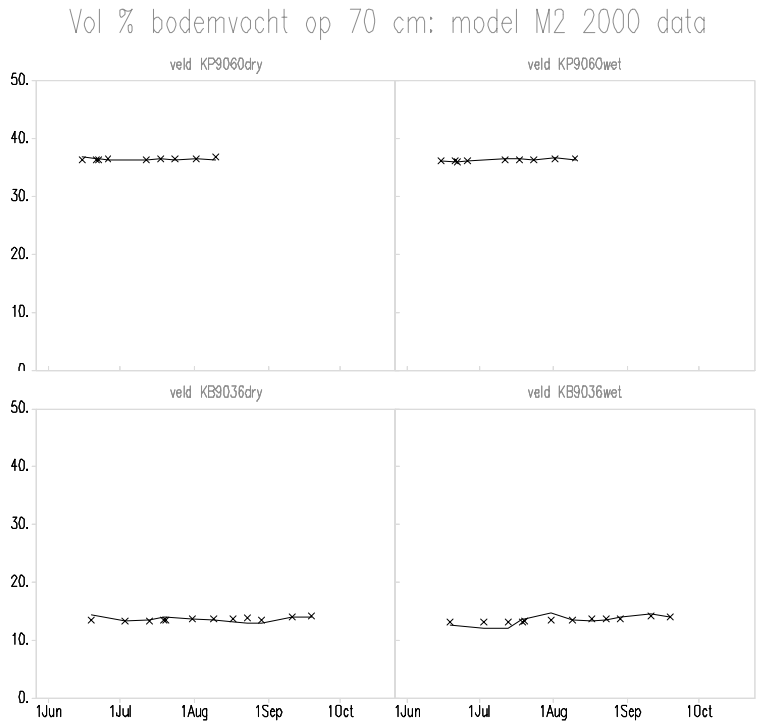
Figuur IV-2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 8, 9, 21 en 18.



Figuur IV-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 6, 7, 10 en 9.



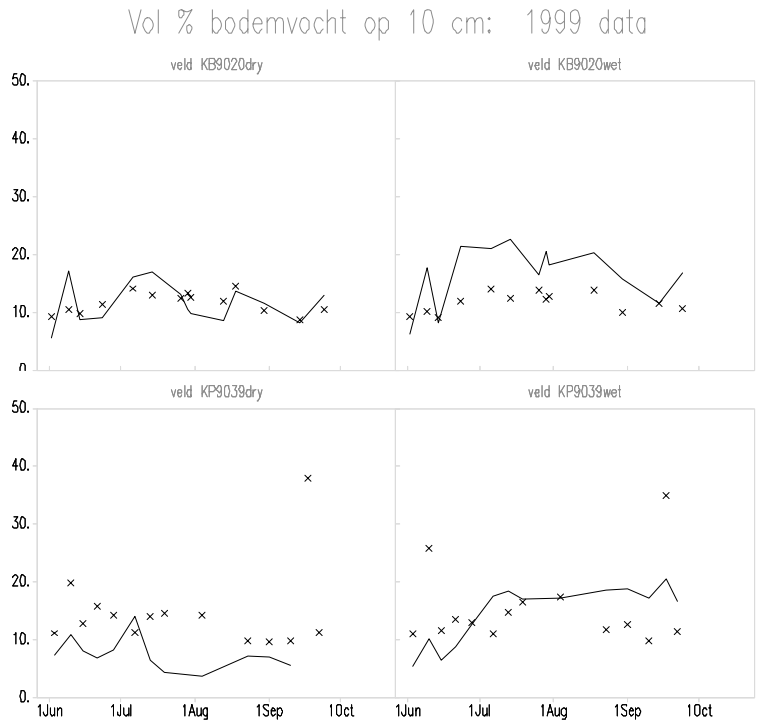
Figuur IV-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.2, 1.4, 11 en 10.



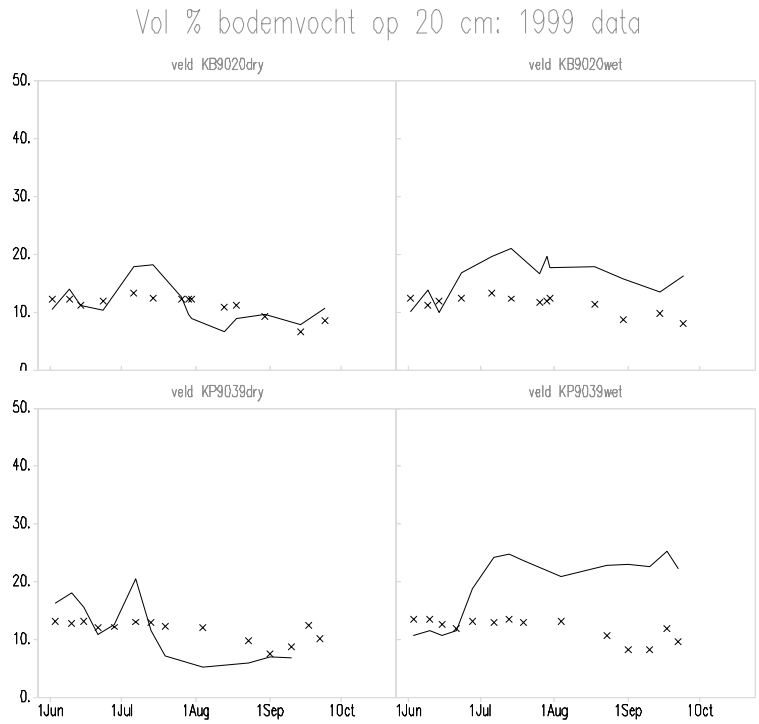
Figuur IV-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 0.7, 0.4, 3 en 5.

Bijlage V.

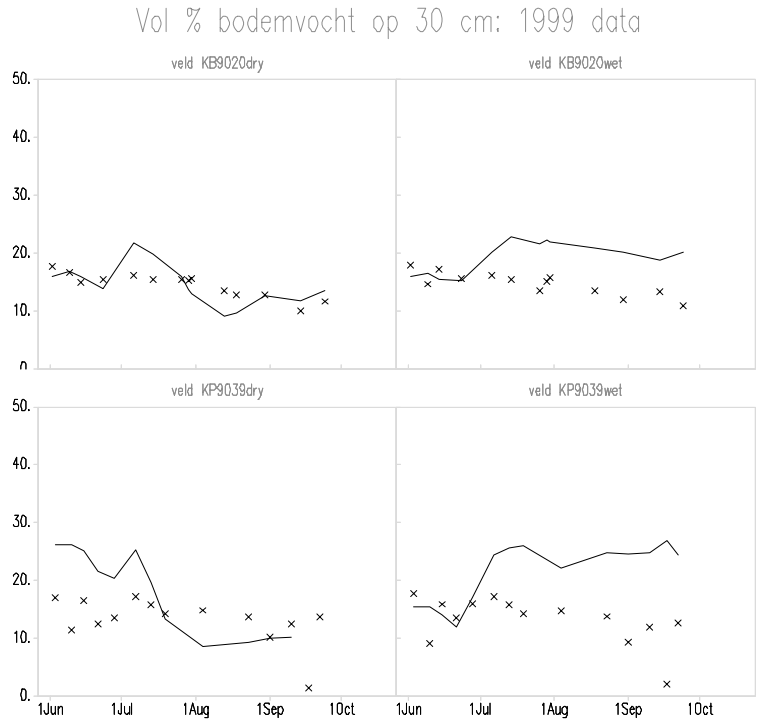
Illustratie van de instabiliteit van veldspecifieke calibratiefuncties. 1999 data met calibratiefunctie veld KB9020dry als voorspeller voor de andere velden



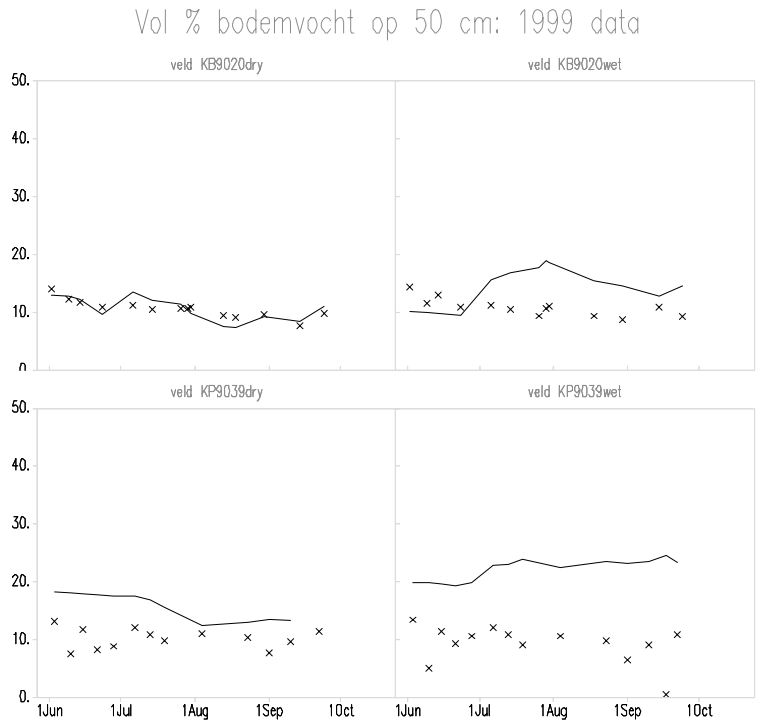
Figuur V-1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 25, 38, 81en 50.



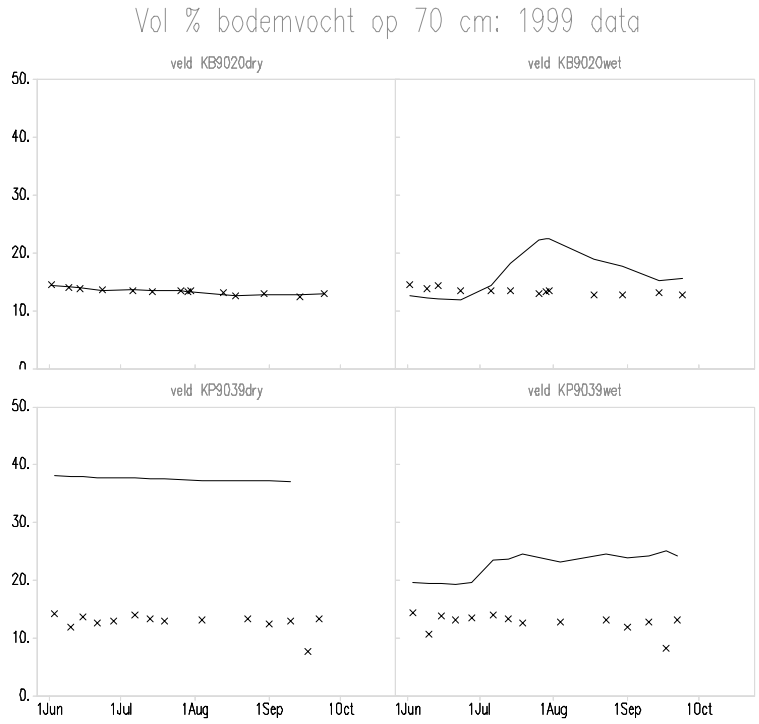
Figuur V-2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 25, 36, 33 en 51.



Figuur V-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 19, 31, 39 en 51.



Figuur V-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 12, 38, 38 en 61.



Figuur V-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 1, 38, 63 en 46.

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL

Voorspellen van droogtestress bij aardappelplanten uit reflectiemetingen aan het gewas: relatie tussen bodemvocht en ratios van pieken en reflectiemetingen

P.F.G. Vereijken[1)]

[1)] Biometris is een samenwerkingsverband tussen leerstoelgroep wiskundige en statistische methoden van Wageningen Universiteit en het centrum voor Biometrie van Plant Research International

Plant Research International B.V., Wageningen
maart 2002

Nota 167

WAGENINGEN UR

© 2002 Wageningen, Plant Research International 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, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres	:	Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
	:	Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel.	:	0317 - 47 70 00
Fax	:	0317 - 41 80 94
E-mail	:	post@plant.wag-ur.nl
Internet	:	http://www.plant.wageningen-ur.nl

Inhoudsopgave

		pagina
1.	Inleiding	1
2.	Materiaal en methoden	3
3.	Statistische analyse	5
4.	Resultaten	7
5.	Discussie	9
Bijlage I.	Waargenomen bodemvocht (volume %) profielen en dagen cropscan metingen	4 pp.
Bijlage II.	Spectraal metingen en pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	8 pp.
Bijlage III.	Waargenomen bodemvocht profielen in 1999 en geschatte bodemvochtwaarden op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	3 pp.
Bijlage IV.	Waargenomen vocht volume % profielen in 2000 en voorspelde vocht % op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	3 pp.
Bijlage V.	Illustratie van de instabiliteit van veldspecifieke calibratiefuncties. 1999 data met calibratiefunctie veld KB9020dry als voorspeller voor de andere velden	3 pp.

1. Inleiding

Gedurende de teelt van aardappelen kan droogtestress optreden. Bij uitblijven van natuurlijke neerslag kan niet tijdig beregenen leiden tot opbrengstverlies. Bij telers is behoefte aan een snelle en goedkope meetmethode in het veld op grond waarvan bij uitblijven van natuurlijke neerslag het optreden van waarschijnlijke droogtestress op korte termijn kan worden voorspeld. Bij verwachte droogtestress en ongunstige weersvooruitzichten kan dan worden besloten om het gewas te beregenen. De belangrijkste onderzoeksvraag is of reflectiemetingen aan het gewas als indicator voor droogtestress kunnen worden gebruikt. Ultieme doel van het onderzoek is te komen tot een betrouwbaar signaleringssysteem voor droogtestress op grond van lichtreflectiemetingen aan het gewas in het veld.

Er is een pilot-studie uitgevoerd met 8 proefvelden. Voor elk proefveld zijn gedurende het groeiseizoen dagelijks met de environscan methode de volumepercentage water gemeten op 5 dieptes in het voor de aardappelplanten relevante deel van de bodem. Daarnaast zijn op een beperkt aantal dagen lichtreflectiemetingen bij 16 geselecteerde golflengtes gedaan met de cropscan methode. De vraag was of de bodemvocht profielen kunnen worden gereconstrueerd uit de spectrale gewasmetingen. Er zijn legio regressiemodellen in de reflectiescores mogelijk. Meer concreet was de vraag of een viertal ratios van pieken van reflectiemetingen hiervoor konden worden gebruikt.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de aanpak en de resultaten van het verrichte onderzoek naar de relatie tussen volume percentages bodemvocht en de geselecteerde pieken ratio's. Daarnaast worden een aantal opmerkingen gemaakt bij de opzet en uitvoering van de pilot-studie, alsmede bij de weg waarlangs het ultieme doel te bereiken.

2. Materiaal en methoden

De pilot-studie

De pilot-studie is in 1999 en 2000 uitgevoerd. Er was sprake van 8 proefvelden waarvan de helft gelegen op zandgrond en de andere helft op dalgrond. De codering van de proefvelden, alsmede een korte beschrijving van de proefvelden is onderstaand weergegeven:

KB9020_droog	KB9020, 1999, veld 14, droog, N1, Seresta
KB9020_beregend	KB9020, 1999, veld 23, beregend, N1, Seresta
KP9039_droog	KP9039, 1999, veld 19, droog, N1, Seresta
KP9039-beregend	KP9039, 1999, veld 17, beregend, N1, Seresta
KP9060_droog	KP9060, 2000, veld 18, droog, N2, Seresta
KP9060_beregend	KP9060, 2000, veld 20, beregend, N2, Seresta
KB9036_droog	KB9036, 2000, veld 22, droog, N2, Seresta
KB9036_beregend	KB9036, 2000, veld 13, beregend, N2, Seresta

De KB percelen betroffen zandgrond met een organische stofgehalte van 4-5% en de KP percelen betroffen veenkoloniale dalgrond met een organische stofgehalte van 10-20%.

Voor elk proefveld zijn enviroscan en cropscanmetingen op één vaste plek in het veld verricht. Middels 5 sensoren zijn bodemvochtmetingen gedaan. De eerste sensor bevond zich aan de onderkant van de zandrug (10 cm onder de top van de zandrug en net onder de gepote aardappel). De tweede, derde, vierde en vijfde sensor bevonden zich op 20, 30, 50 en 70 cm onder de top van de zandrug. De sensoren 1, 2 en 3 bestreken de wortelzone van de aardappelplant in het begin van het groeiseizoen. Rond half juni komen de wortels pas in de buurt van de vierde sensor. Voor de toplaag met de eerste sensor is het effect van instraling het grootst. De bodemvochtmetingen van de eerste sensor bevatten daarom de meeste ruis. De verwachting was dat de metingen van de sensoren 2 en 3 de meeste informatie leveren met betrekking tot de vochtvoorziening van de aardappel planten. Gedurende het groeiseizoen zijn dagelijks om het uur meermalen bodemvochtmetingen verricht. Gedurende het groeiseizoen zijn op een beperkt aantal dagen (8 tot 14) cropscan metingen verricht in de namiddag. Een overzicht van de gemeten enviroscan en cropscan- variabelen is opgenomen in de onderstaande tabel.

Variabele	Omschrijving	Eenheid
Nr.	Number	
Datum	Date enviroscan	
Tijd	Time Enviroscan	
10 cm	Soil moisture at 0 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
20 cm	Soil moisture at 5 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
30 cm	Soil moisture at 15 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
50 cm	Soil moisture at 35 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
70 cm	Soil moisture at 55 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
V0-15	Soil layer 0-15 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V15-25	Soil layer 15-25 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V25-40	Soil layer 25-40 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V40-60	Soil layer 40-60 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V60-100	Soil layer 60-100 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
CUMV0-40	Soil layer 0-40 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
CUMV0-60	Soil layer 0-60 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
DATE	Date cropscan	
TIME	Time cropscan	
ANG	Ang cropscan	
IRR	Irradiation	
460	Wavelength 460 nm, PRI	
507	Wavelength 507 nm, PRI	
559	Wavelength 559 nm, PRI	
610	Wavelength 610 nm, PRI	
661	Wavelength 661 nm, PRI	
680	Wavelength 680 nm, PRI	
710	Wavelength 710 nm, PRI	
740	Wavelength 740 nm, PRI	
760	Wavelength 760 nm, PRI	
780	Wavelength 780 nm, PRI	
810	Wavelength 810 nm, PRI	
870	Wavelength 870 nm, PRI	
950	Wavelength 950 nm, PRI	
1091	Wavelength 1091 nm, PRI	
1220	Wavelength 1220 nm, PRI	
1600	Wavelength 1600 nm, PRI	
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index green, PRI	
FINTGRN	Light interception, green, PRI	
Red Edge	Red edge index, PRI	
Labda Red Edge	Labda red edge, PRI	
WDVI-rood	Weighted Difference Vegetation Index red, PRI	
FINTRED	Light interception, red, PRI	
Rw1	R810/R1600	
Rw2	R810/R950	
Rw3	R810/R1091	

In 2000 is het filter met golflengte 1600 nm in het apparaat vervangen door een filter met golflengte 1650 nm. Omdat 1999 vrij droog was zijn op de zandgronden (KB percelen) mogelijk meer effecten van droogtestress aanwezig. De pieken ratios Rw1 (R810/R1600), Rw2 (R810/R950), Rw3 (R810/R1091) en Rw4 (R810/R1220) zijn een maat voor de vochtinhoud van het gewas en zijn gebruikt om vocht volume percentage in de verschillende bodemlagen te voorspellen.

3. Statistische analyse

Beschrijvend: per veld zijn per laag van de bodemvocht metingen daggemiddelden berekend. Grafieken met de bodemvochtprofielen van de daggemiddelden zijn per veld gemaakt voor een indruk van zowel het niveau als het verloop van bodemvocht in de diverse bodemlagen gedurende het groeiseizoen. In de grafieken met bodemvochtprofielen zijn de dagen gemarkeerd waarop cropscan metingen zijn gedaan. Dit is gedaan voor een indruk van de resolutie van de benaderende bodemvochtprofielen, welke zouden zijn verkregen wanneer bodemvocht enkel op de cropscan dagen zou zijn gemeten en voor de andere dagen bodemvocht zou zijn berekend door interpolatie van de vochtscores op de cropscan dagen. De geïnterpoleerde profielen is het beste wat men mag verwachten bij voorspellen van bodemvocht uit cropscan metingen. Door deze benaderende vochtprofielen te vergelijken met de 'volledige' profielen van de daggemiddelden ziet men wat aan locale pieken en dalen wordt gemist. Feitelijk dient eerst te worden nagegaan of uit de 'volledige' vochtprofielen en andere vereiste inputs (ontwikkelingsstadium van het gewas, bodemtype en de verwachte weersvooruitzichten, etc.) vermoedelijke periodes van droogtestress kunnen worden berekend. Vervolgens kan worden nagegaan of de resolutie van de benaderende vochtprofielen groot genoeg is voor de berekening van deze vermoedelijke periodes van droogtestress of dat meer frequente cropscan metingen wenselijk zijn. In het uiterste geval dienen dagelijks cropscan metingen te worden gedaan. Het voor de droogte stress berekening gebruikte rekenmodel laat bovendien zien welke vochtinput vereist is en of vochtgegevens in de afzonderlijke lagen perse nodig zijn.

Voorspellen van bodemvocht volume % uit reflectie ratios

Voor de beschrijving van de relatie tussen daggemiddelden van bodemvocht volume% en de pieken ratios Rw1=R810/R1600 (R810/R1650 voor de 2000 data), Rw2=R810/R950 en Rw3=R810/R1090 en Rw4=R810/R1220 is gebruik gemaakt van de volgende calibratiefunctie:

$$\text{Bodemvochtvol \%} = b0 + b1 \times Rw1 + b2 \times Rw2 + b3 \times Rw3 + b4 \times Rw4 \qquad (1)$$

In model (1) stelt b0 het niveau voor en zijn b1 tot en met b4 regressiecoëfficiënten.

Omdat beschikbaarheid van bodemvocht voor de planten als vochtopname efficiëntie afhangen van de bodemstructuur kunnen metingen van verschillende bodems niet zondermeer op een hoop worden gegooid. Voor elk veld is per laag aan de gemeten vochtdata middels lineaire regressie calibratiefunctie (1) aangepast. Daarbij is aangenomen dat de residuele bijdragen onderling onafhankelijk verdeeld zijn met gemiddelde 0 en constante variantie σ^2. Omdat per veld slechts op 8 tot 14 dagen cropscan metingen zijn gedaan is het aantal meetpunten voor het berekenen van de calibratiefunctie erg beperkt. Als maat voor de kwaliteit van veldspecifieke calibratiefuncties is de gemiddelde procentuele schattingsfout berekend. Voor een beeld van de kwaliteit van de gefitte calibratiefuncties zijn grafieken gemaakt van de gemeten vochtwaarden en de onder het model geschatte vochtwaarden. Verder is voor de 1999 data onderzocht of verschillende calibratiefuncties per veld wenselijk zijn of dat met één calibratiefunctie voor de 4 proefvelden kan worden volstaan. Hetzelfde is gebeurd voor de data uit 2000. Een indruk van de voorspelkwaliteit van een gefitte calibratiefunctie voor andere velden wordt verkregen door de gemiddelde procentuele voorspelfout te berekenen en gemeten en voorspelde vochtwaarden grafisch weer te geven.

4. Resultaten

De grafieken van de waargenomen bodemvochtprofielen zijn opgenomen in Bijlage I. Uit de grafieken blijkt dat de resolutie van de benaderende bodemprofielen, gebaseerd op de vochtmetingen op de dagen dat cropscan metingen zijn verricht, niet altijd even hoog is en dat locale pieken en dalen gemist worden. Of de afwijkingen acceptabel zijn hangt af van de grootte van de afwijkingen die acceptabel zijn bij de berekeningen van droogtestress. Of de resolutie voor het berekenen van droogtestress voldoende is dient te worden nagegaan.

In Bijlage II zijn grafieken opgenomen van de spectrale metingen per meettijdstip. Daarnaast zijn profielen opgenomen van de gemeten ratios van pieken van reflectiemetingen. De grafieken geven een beeld van het verloop in de tijd van de gebruikte variabelen in de calibratiefunctie.

Grafieken van de geschatte bodemvocht % voor de verschillende velden onder calibratiefunctie (1) en van de waargenomen bodemvochtprofielen zijn opgenomen in de Bijlagen III en IV. Op grond van de gefitte waarden lijken veld specifieke calibratiefunctie de vochtdata redelijk te kunnen reconstrueren. Bij het vergelijken van calibratiefuncties van verschillende velden is middels regressieanalyse onderzocht in hoeverre er aanwijzingen zijn voor niveau verschillen tussen velden, constante regressiecoëfficiënten voor verschillende velden en of veldspecifieke regressiecoëfficiënten. In de Tabellen 1 en 2 zijn respectievelijk voor de data uit 1999 en uit 2000 opgenomen de F ratios (verhouding van gemiddelde kwadraatsom voor te toetsen effect en gemiddelde restkwadraatsom (MSE). Tevens zijn de berekende p-waarden van de F-toetsen en de procentuele schattingsfouten opgenomen.

Tabel 1. Berekende F-ratios, mean squared error, procentuele fouten bij aanpassen van veldspecifieke calibratiefunctie aan vocht volume % data uit 1999.

Variatiebron	df	Vol% 10 cm	Vol% 20 cm	Vol% 30 cm	Vol% 50 cm	Vol% 70 cm
Veldspecifieke niveaus	3	18.6***	18.1***	10.5***	112***	507***
Constante regressiecoëfficiënten b1…b4	4	3.8**	1.7	1.8	1.7	2.8*
Veldspecifieke regressiecoëfficiënten b1…b4	12	3.0**	3.4**	5.7***	5.6***	3.3**
MSE	35	10.6	12.2	11.0	2.8	3.1
%fout KB9020dry		25	25	19	12	1.3
%fout KB9020wet		15	10	8	15	16
%fout KP9039dry		31	28	18	5	0.3
%fout KP9039wet		10	16	13	4	5

* *P< 0.05;*
** *P< 0.01;*
*** *P< 0.001, refererend aan een F verdeling, waarbij model termen in volgende rijen niet zijn meegenomen*

Tabel 2. Berekende F-ratios, mean squared error, procentuele fouten bij aanpassen van veldspecifiek calibratiefunctie aan vocht volume % data uit 2000.

Variatiebron	df	Vol% 10 cm	Vol% 20 cm	Vol% 30 cm	Vol% 50 cm	Vol% 70 cm
Veldspecifieke niveaus	3	26.7***	249***	366***	1168***	6947***
Constante regressiecoëfficiënten b1…b4	4	5.6**	4.6**	8.8***	2.2	3.0
Veldspecifieke regressiecoëfficiënten b1…b4	12	1.3	1.4	1.4	0.8	1
MSE	22	4.0	3.4	1.9	1.4	0.3
%fout KP9060dry		10	6	3	0.3	0.3
%fout KP9060wet		10	7	6	1.0	0.3
%fout KB9036dry		22	15	8	10	2.8
%fout KB9036wet		20	13	7	8	4.1

* *P< 0.05;*
** *P< 0.01;*
*** *P< 0.001, refererend aan een F verdeling, waarbij model termen in volgende rijen niet zijn meegenomen*

De analyse resultaten in Tabel 1 en 2 wijzen uit dat sprake is van niveau verschillen tussen de velden, alsmede dat voor de 1999 data veldspecifieke calibratiefuncties wenselijk zijn. Dit houdt in dat gefitte calibratiefuncties geen of nauwelijks voorspellende waarde behoeven te hebben bij gebruik voor nieuwe velden. Ter illustratie van de instabiliteit van gefitte calibratiefuncties is voor de 1999 data de calibratiefunctie voor veld KB9020 droog gebruikt als voorspeller voor de overige drie velden. De grafieken met waargenomen bodemvochtprofielen en voorspelde bodemvocht waarden zijn opgenomen in Bijlage V. De grafieken wijzen uit dat een gefitte calibratiefunctie voor nieuwe velden geen voorspellende waarde heeft.

Conclusies: analyse van de data van de pilot-studie heeft uitgewezen dat:

- Pieken van reflectiemetingen kunnen worden gebruikt voor de reconstructie van bodemvocht volume%. Van belang is wel zich te realiseren dat de berekende procentuele schattingsfouten mogelijk een te optimistisch beeld geven wanneer de calibratiefunctie voor andere plekken op een veld zou worden gebruikt aangezien de calibratiefunctie enkel betrekking heeft op de plek specifieke situatie.
- Veldspecifieke calibraties wenselijk zijn en gefitte calibratiefuncties instabiele voorspellers blijken te zijn bij gebruik voor andere velden.

5. Discussie

Vereiste meetfrequentie spectraal metingen

Essentieel voor het onderzoek is dat de berekeningsmethode bekend is om uit 'complete' bodemvocht-profielen en andere vereiste input vast te stellen in welke periodes sprake is van vermoedelijke droogte-stress tijdens het groeiseizoen. Daarbij wordt ook duidelijk welke inputs nodig zijn en in welke vorm. Voor de vocht input is het van belang te weten of informatie over bodemvocht per laag perse nodig is of dat met een geaggregeerde vochtmetingen gerekend wordt. Verder dient te worden nagegaan of dagelijkse vochtmetingen nodig zijn of dat kan worden volstaan met een grid van vochtmetingen gedurende het seizoen en hoe fijn dat grid dan wel dient te zijn.

Smoothing van vochtdata

Spectrale metingen hebben betrekking op de plant. In het verrichte onderzoek werd bodemvocht gemeten op de dagen van de reflectiemetingen gerelateerd aan pieken ratios van spectraal metingen. Vraag is hoe snel de plant op bodemvocht reageert. Feitelijk dienen de mechanismen bekend te zijn. Wellicht geven bodemvochtmetingen op hetzelfde tijdstip als dat van de spectraalmetingen minder hoge correlaties dan een geaggregeerde maat voor bodemvocht in een korte periode direct voorafgaand aan het tijdstip van de cropscan meting. Als maat voor de droogte toestand in deze periodes zou het gemiddelde vochtpercentage kunnen worden genomen. Optimale lengte van de periode te berekenen door lengte te variëren en na te gaan voor welke lengte correlatie het grootst is.

Veldspecifieke calibratiefuncties

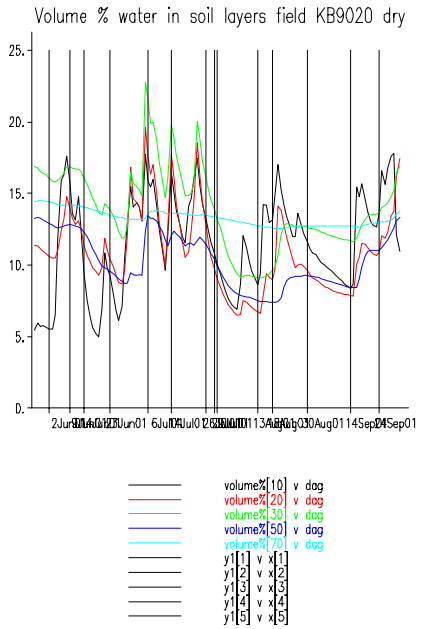
Analyse heeft uitgewezen dat niet met één calibratiefunctie voor verschillende velden kan worden volstaan. Centraal staat de vraag waar de verschillen vandaan komen en hoe hierop vat te krijgen. Feitelijk betreft het complexe data waarbij sprake is van variatie tussen velden en variatie binnen velden. In de pilot-studie werd niet op meerdere plekken binnen hetzelfde veld gemeten. Indien dit wel was gebeurd, had men een beeld gekregen van verschillen tussen plekken, zou een grotere en ruimere verzameling van data voor aanpassen van de calibratiefunctie zijn verkregen en zou een interne validatie van het gefitte calibratiefunctie mogelijk geweest zijn. Bovendien had men kunnen beschikken over schattingen van procentuele voorspelfouten bij gebruik van de calibratiefunctie voor het hele veld. In de pilot-studie is echter maximaal ingezet op variatie tussen velden door één veld te nemen voor elk van de 8 mogelijke instellingen van de proeffactoren: soort grond, wel of geen beregening en de N gift. Feitelijk behoefte aan hiërarchische calibratiefuncties waarin rekening wordt gehouden met variatie tussen en binnen velden. De situatie is hopeloos ingeval elke veldsituatie op zich zelf blijkt te staan. Gehoopt wordt echter dat verschillen tussen velden in belangrijke mate systematisch zijn en veroorzaakt worden door enkele proeffactoren (bodemstructuur, etc.) en de overblijvende variatie tussen velden klein is.

Voor toekomstige proeven voor opstellen van vocht calibratiefuncties wordt geadviseerd op meerdere plekken binnen een veld te meten. Verder wordt geadviseerd meerdere velden bij elke combinatie van instellingen van voor verschillen tussen velden belangrijk geachte factoren mee te nemen.

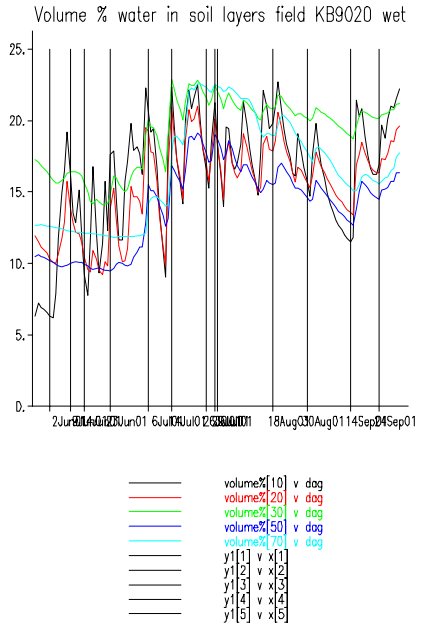
In calibratie model rekening houden met niveaus en regressiecoëfficiënten die af mogen hangen van de instellingen van de proeffactoren, alsmede met additionele random effecten voor residuele niveauverschillen en voor residuele verschillen tussen regressiecoëfficiënten van de velden na afsplitsing van eerder genoemde vaste effecten. Bovengenoemde aanpak leidt tot specifieke calibratiefuncties voor elke combinatie van instellingen van deze factoren.

Bijlage I.

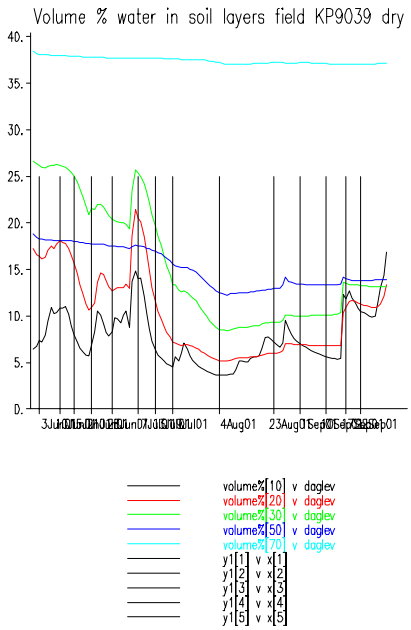
Waargenomen bodemvocht (volume %) profielen en dagen cropscan metingen



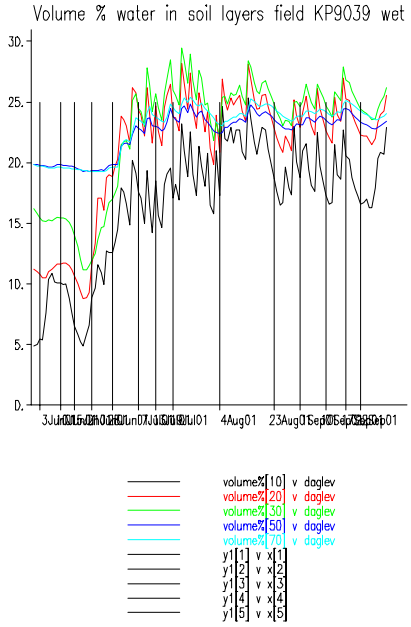
Figuur I-1. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KB9020dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



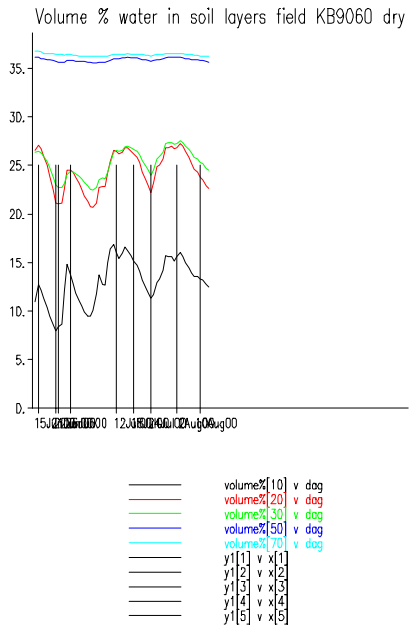
Figuur I-2. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KB9020wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



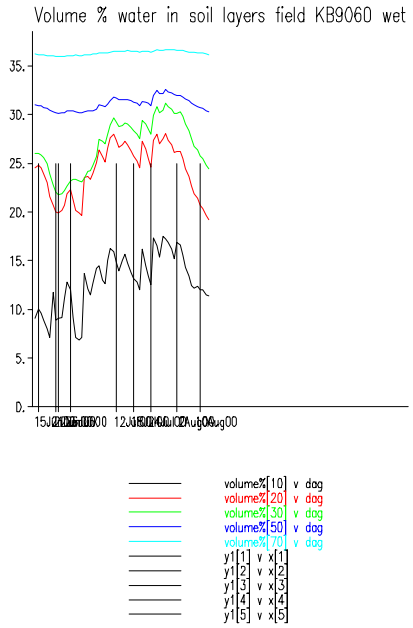
Figuur I-3. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9039dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



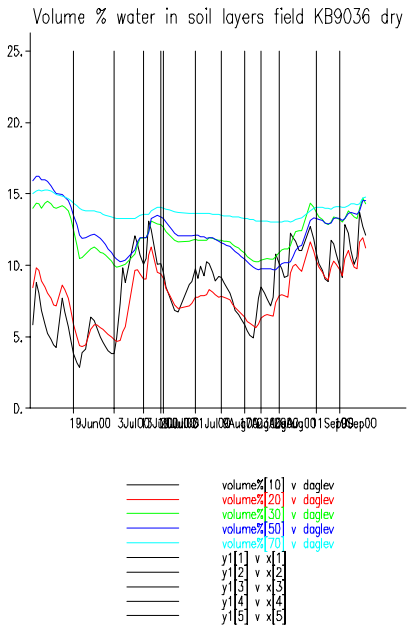
Figuur I-4. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9039wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



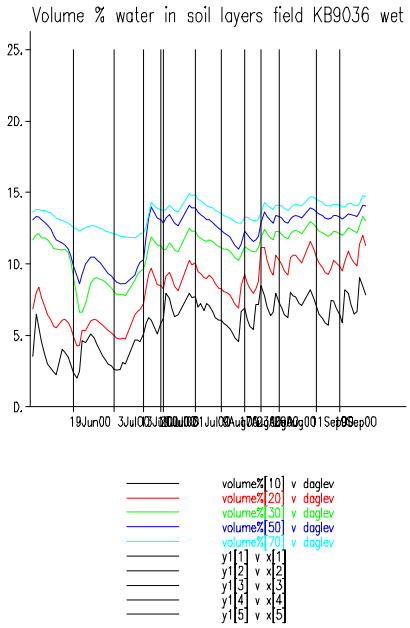
Figuur I-5. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9060dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven



Figuur I-6. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9060wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



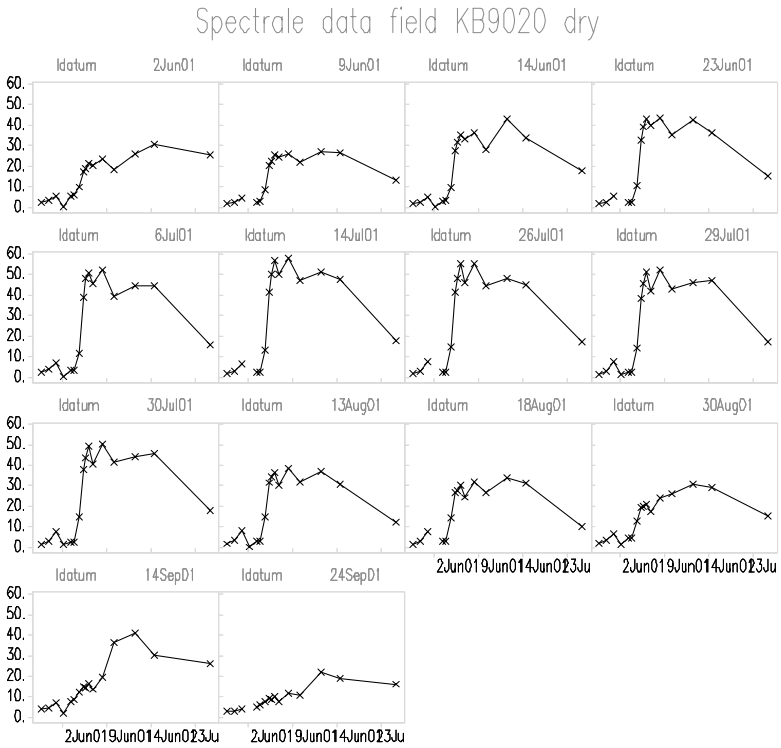
Figuur I-7. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9036dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven



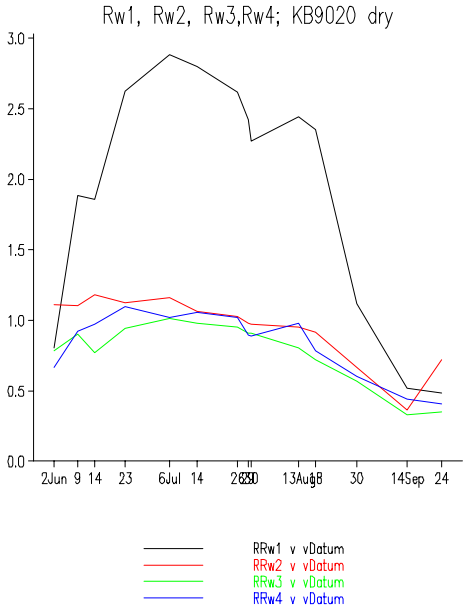
Figuur I-8. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9036wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.

Bijlage II.

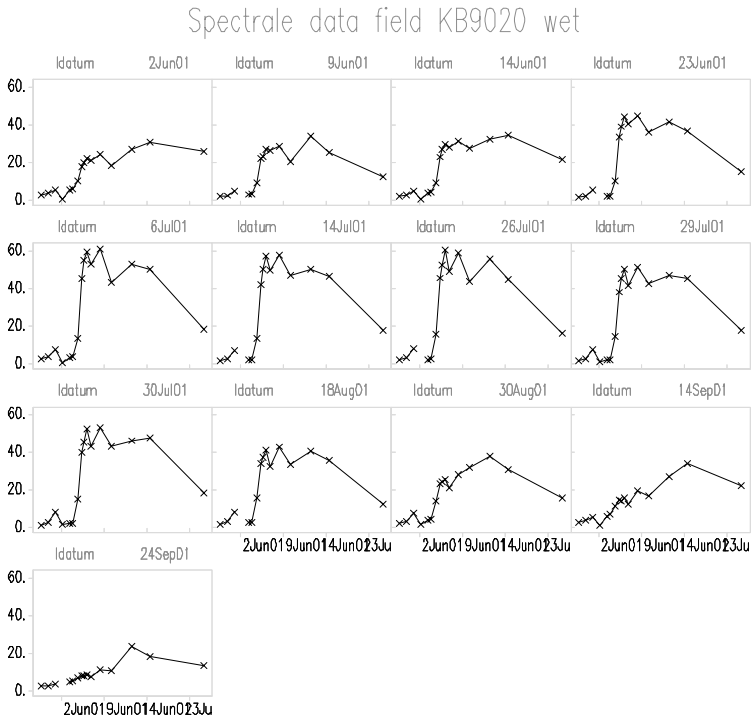
Spectraal metingen en pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



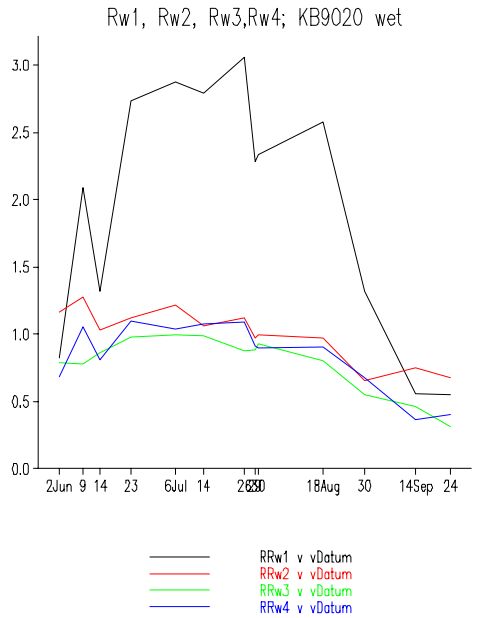
Figuur II-1. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9020dry.



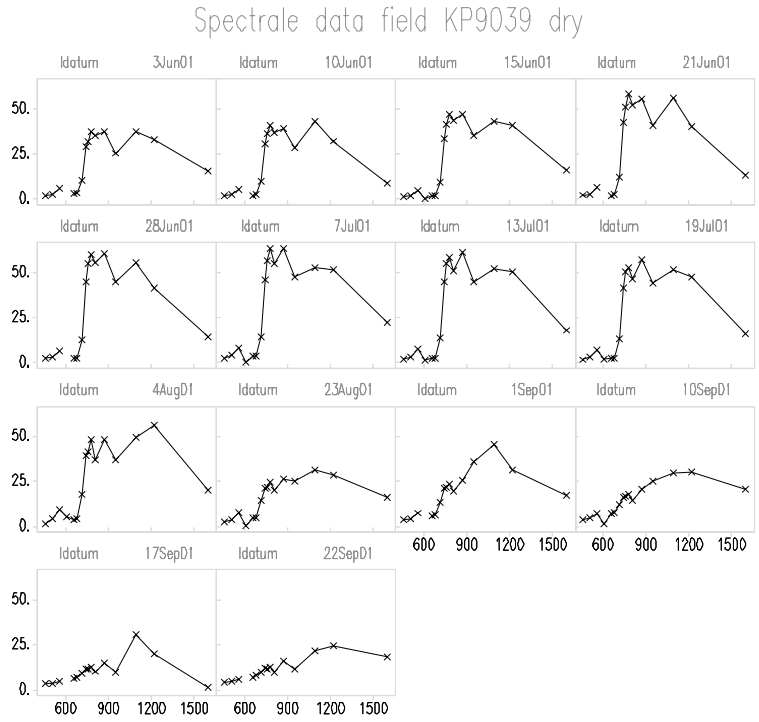
Figuur II-2. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 voor veld KB9020dry.



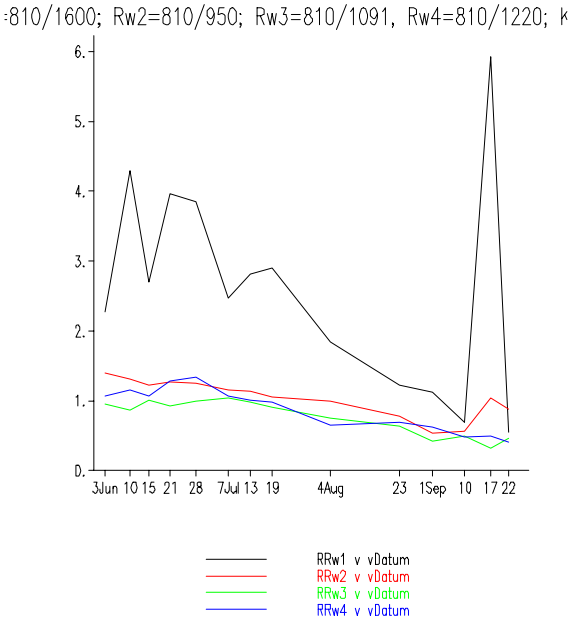
Figuur II-3. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9020wet.



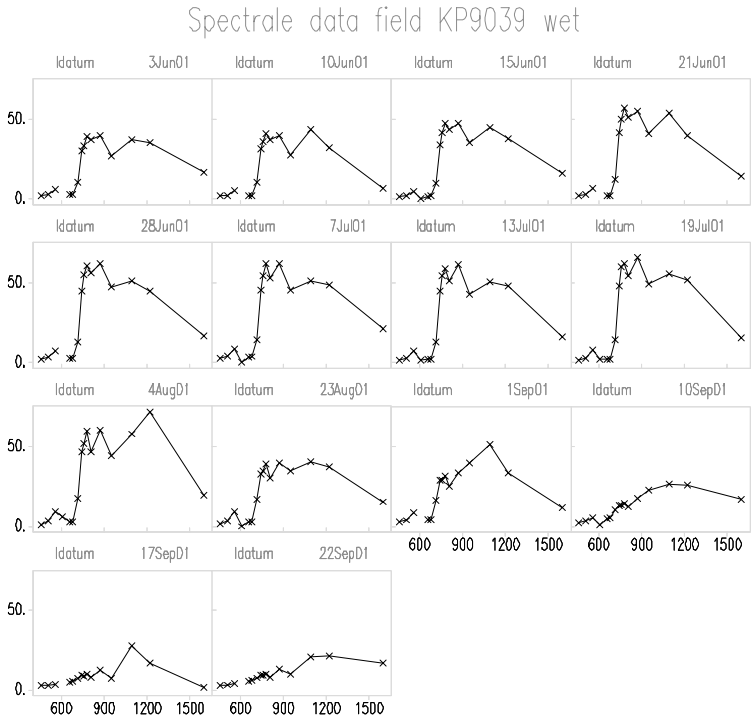
Figuur II-4. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 voor veld KB9020 wet.



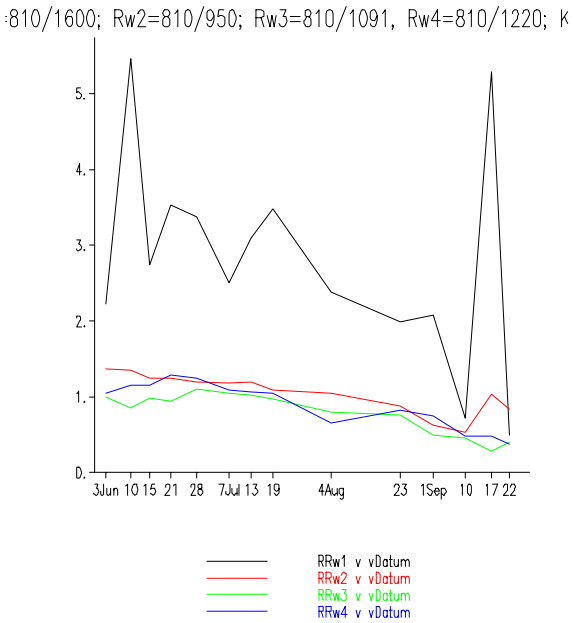
Figuur II-5. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9039 dry.



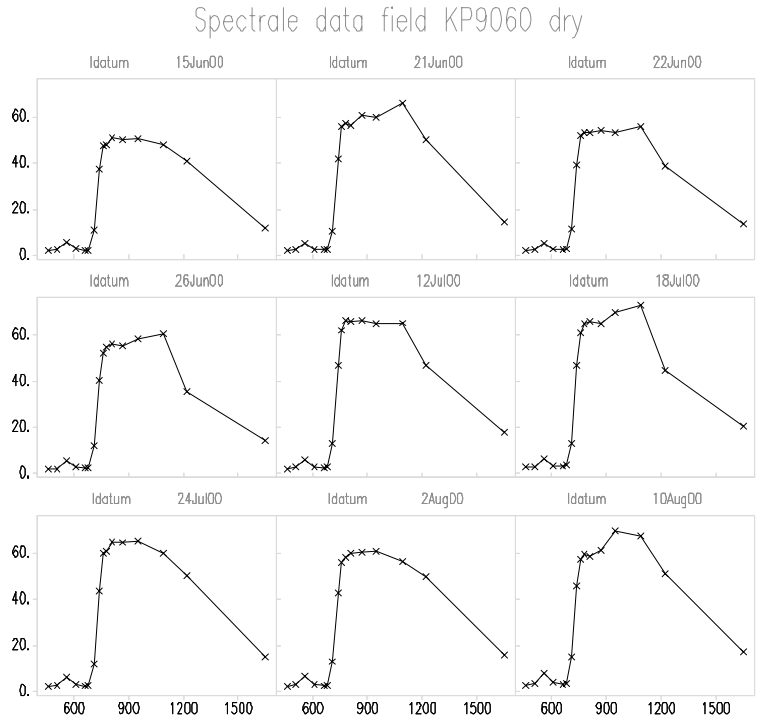
Figuur II-6. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9039 dry.



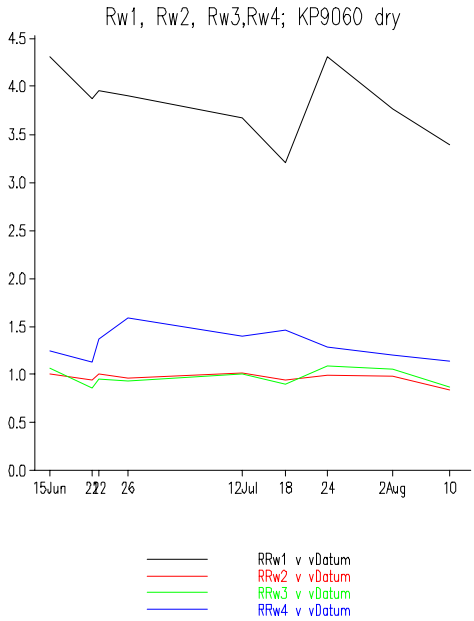
Figuur II-7. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9039 wet.



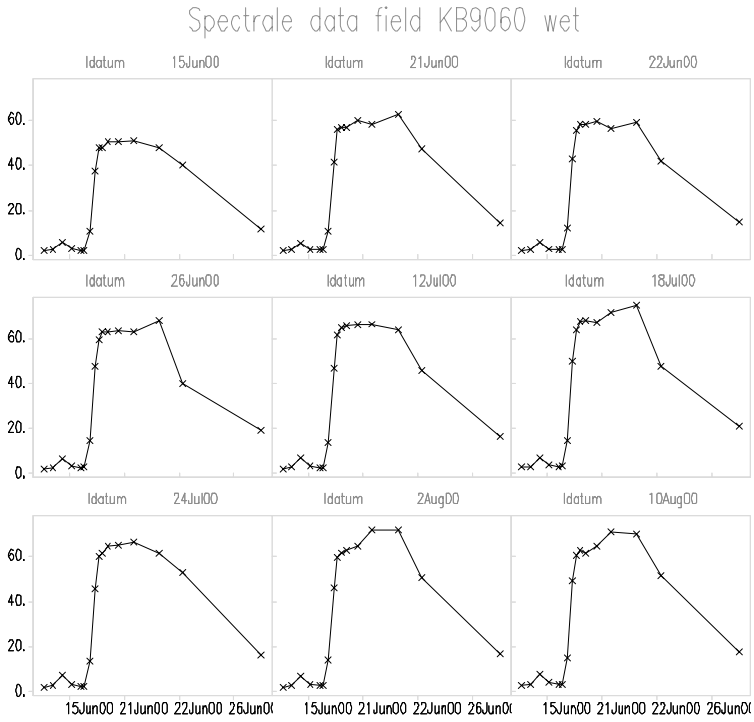
Figuur II-8. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9039 wet.



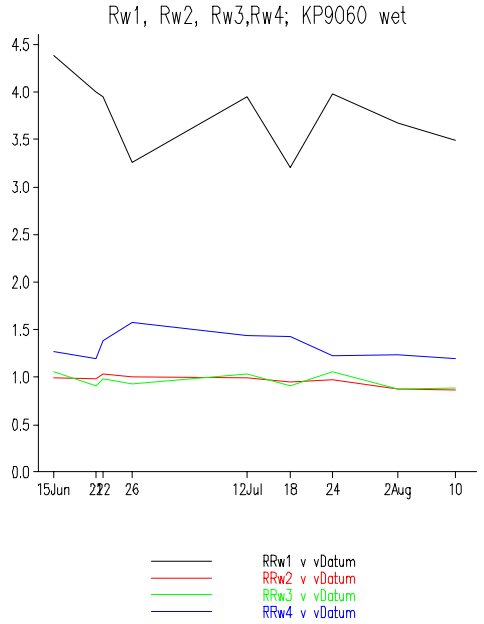
Figuur II-9. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9060 dry.



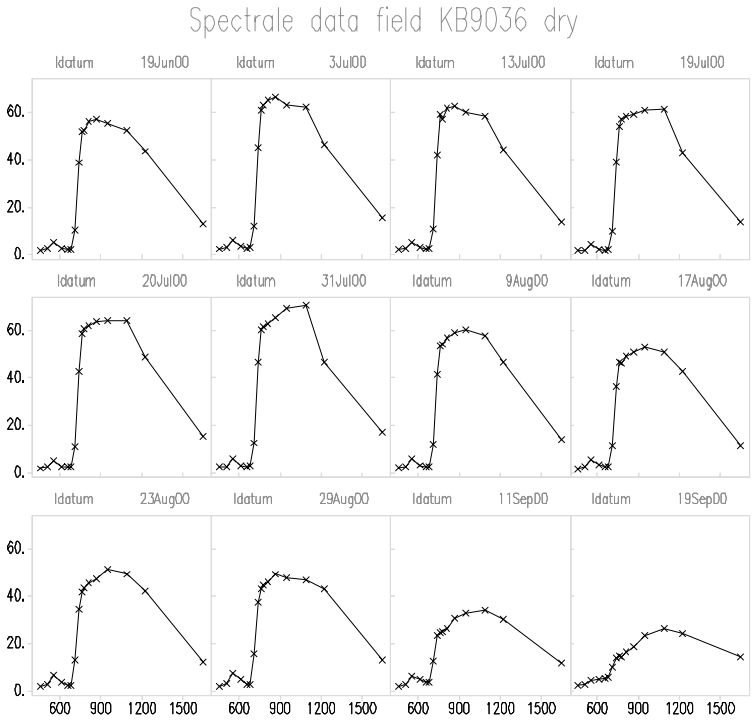
Figuur II-10. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9060 dry.



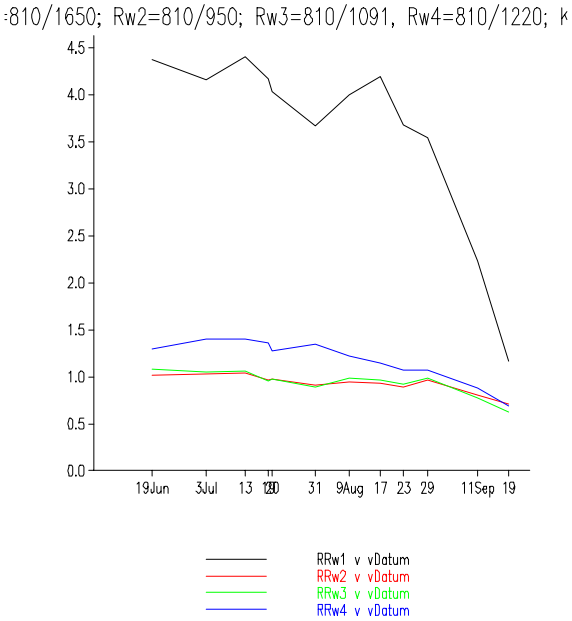
Figuur II-11. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9060 wet.



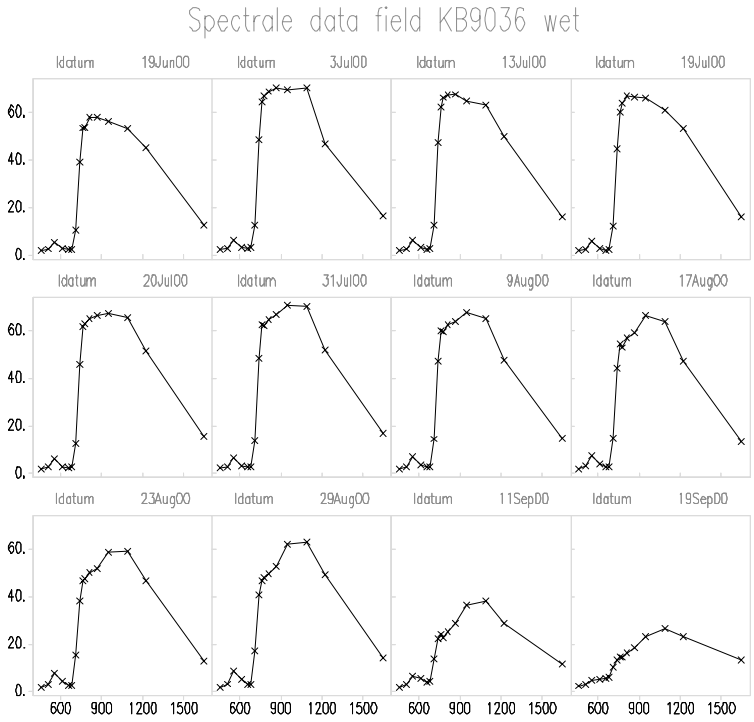
Figuur II-12. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9060 wet.



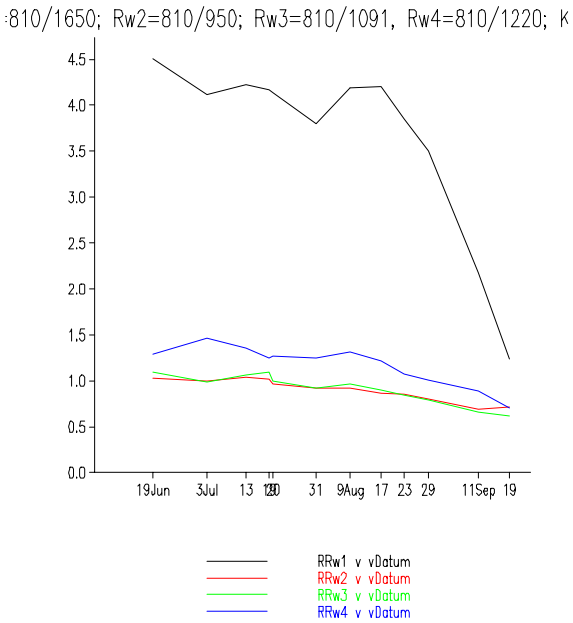
Figuur II-13. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9036 dry.



Figuur II-14. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KB9036 dry.



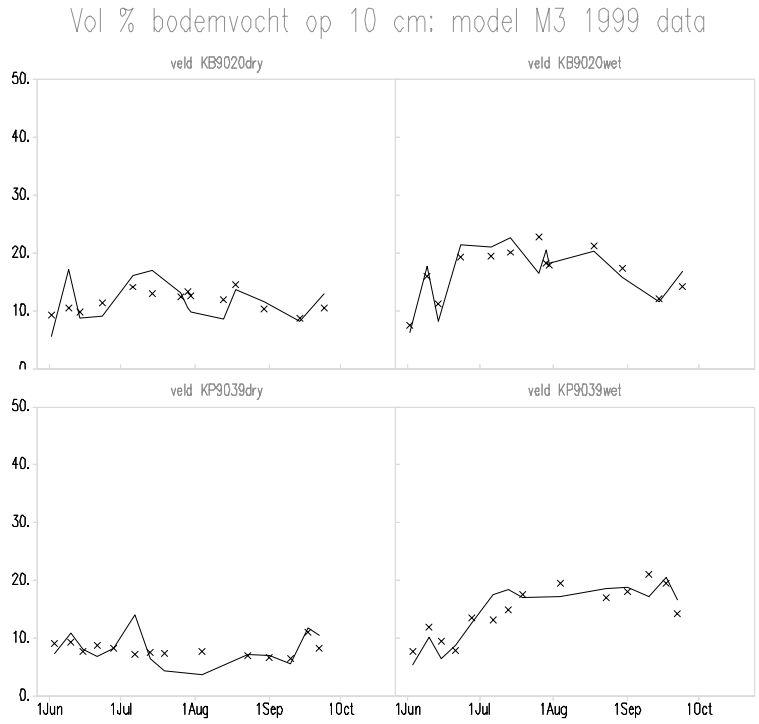
Figuur II-15. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9036 wet.



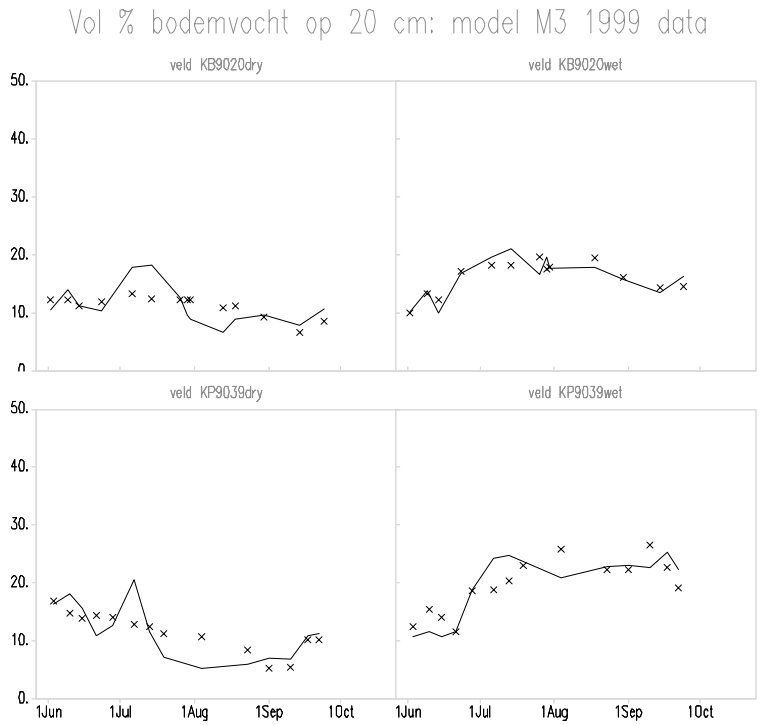
Figuur II-16. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KB9036 wet.

Bijlage III.

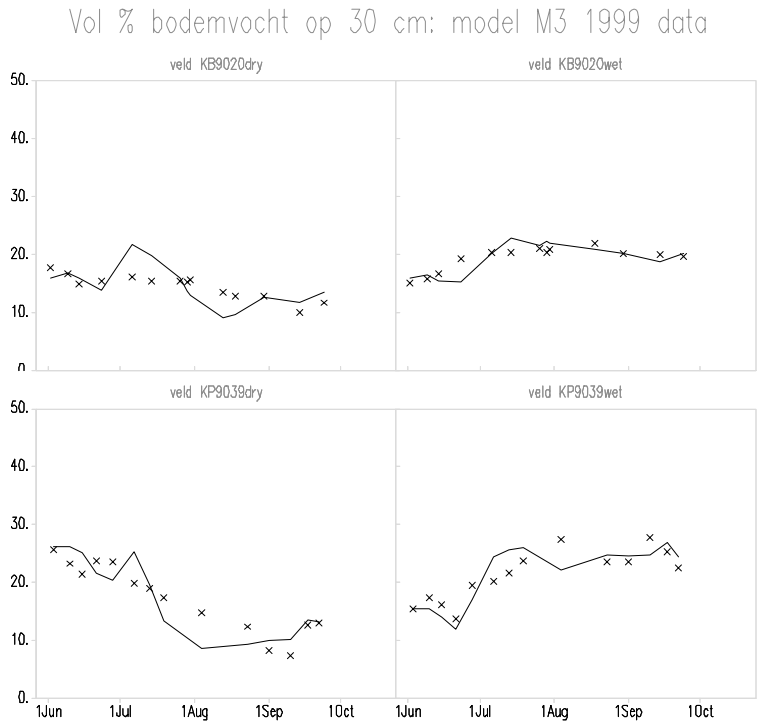
Waargenomen bodemvocht profielen in 1999 en geschatte bodemvochtwaarden op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



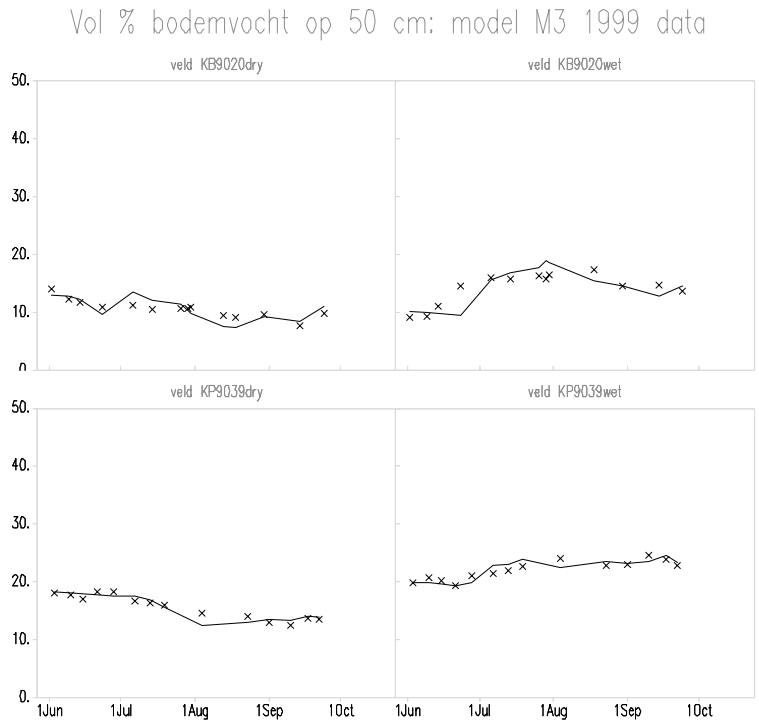
Figuur III.1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk: 25, 15, 31 en 10.



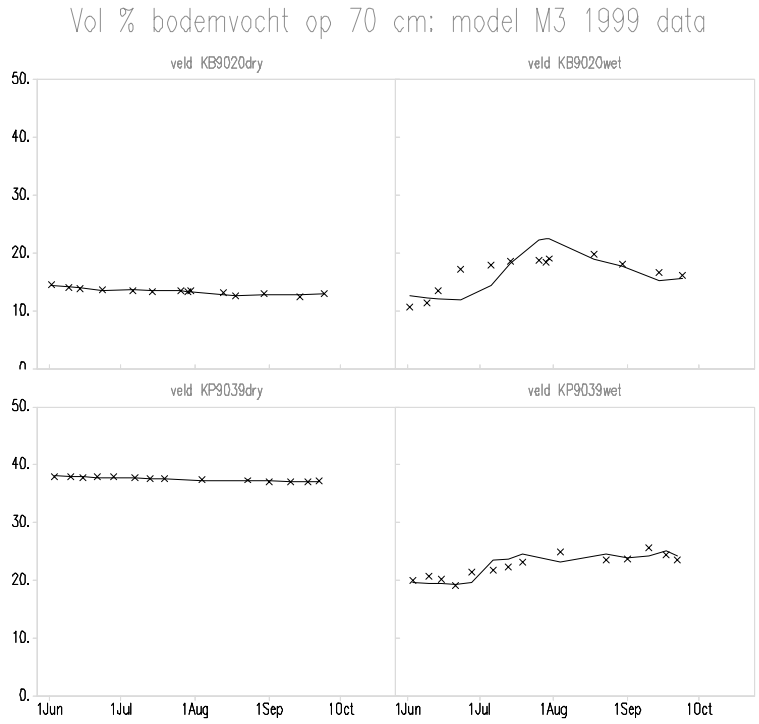
Figuur III.2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 25, 10, 28 en 16.



Figuur III-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 19, 8, 18 en 13.



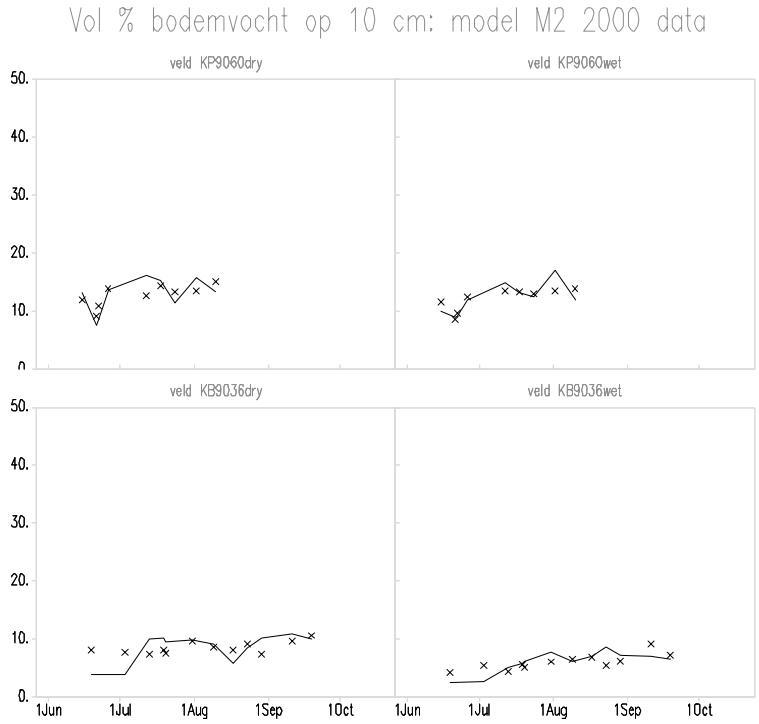
Figuur III-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 12,15, 5 en 4.



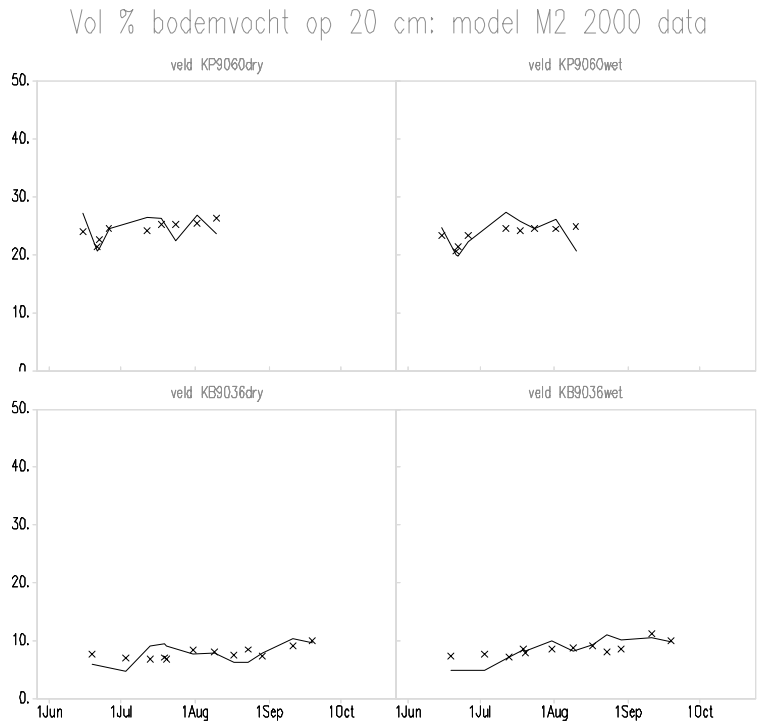
Figuur III-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.3, 16, 0.3 en 5.

Bijlage IV.

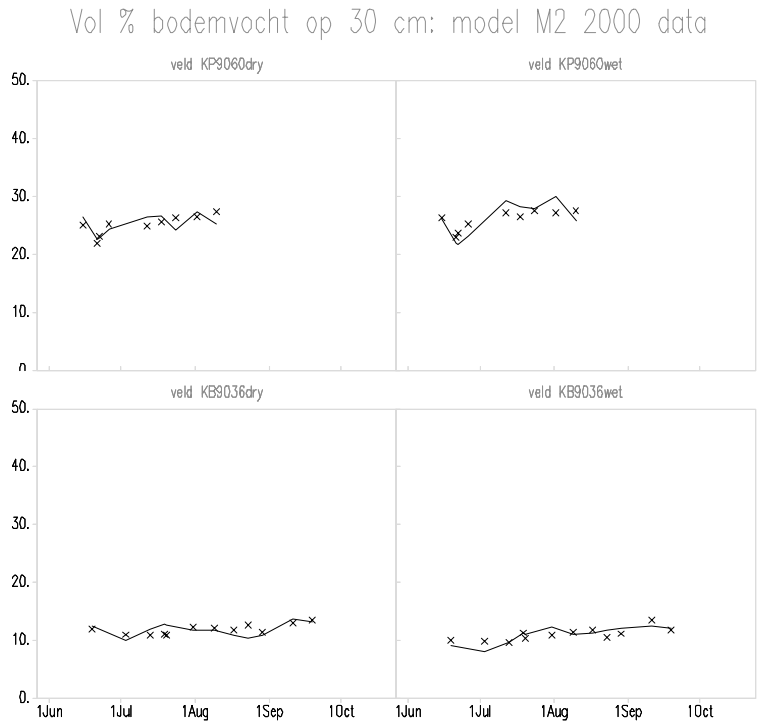
Waargenomen vocht volume % profielen in 2000 en voorspelde vocht % op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



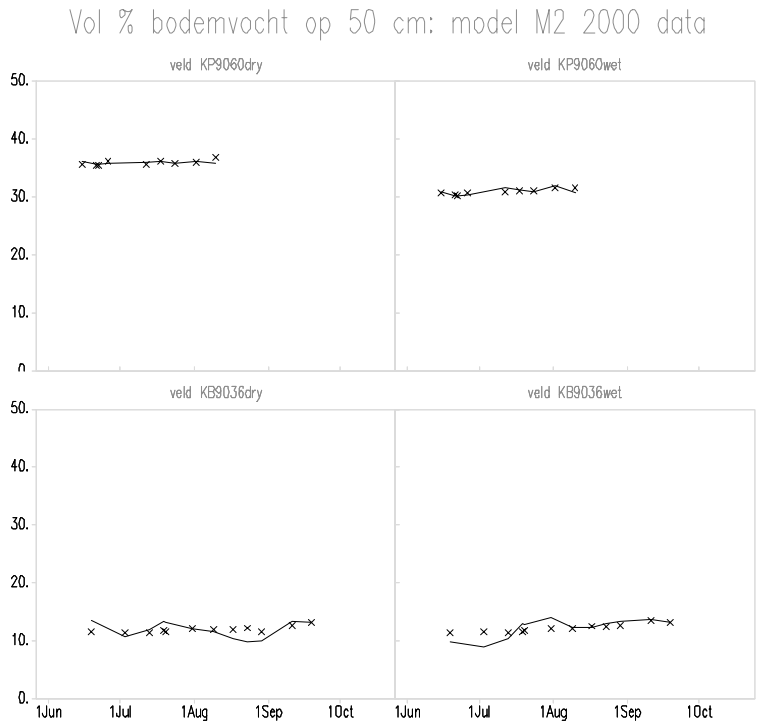
Figuur IV-1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.3, 16, 0.3 en 5.



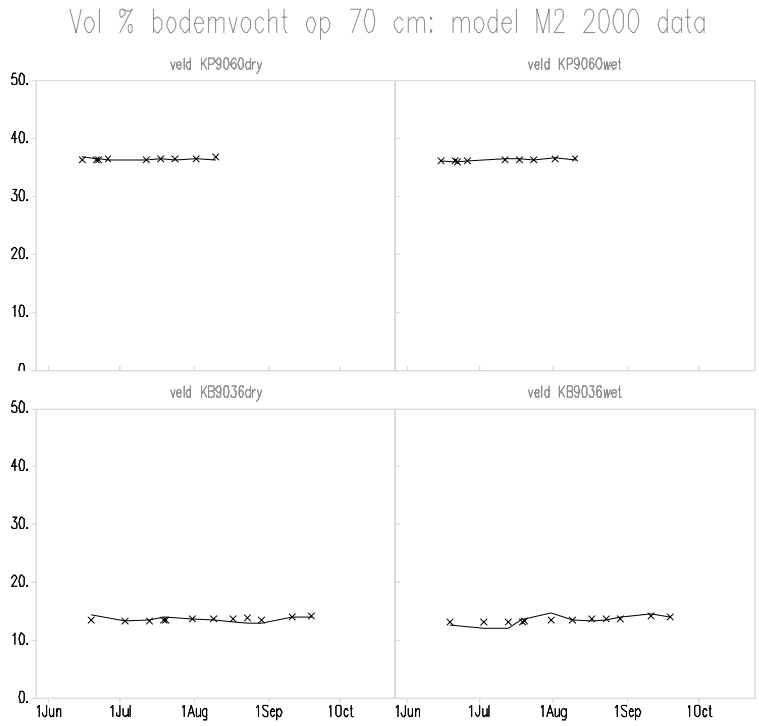
Figuur IV-2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 8, 9, 21 en 18.



Figuur IV-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 6, 7, 10 en 9.



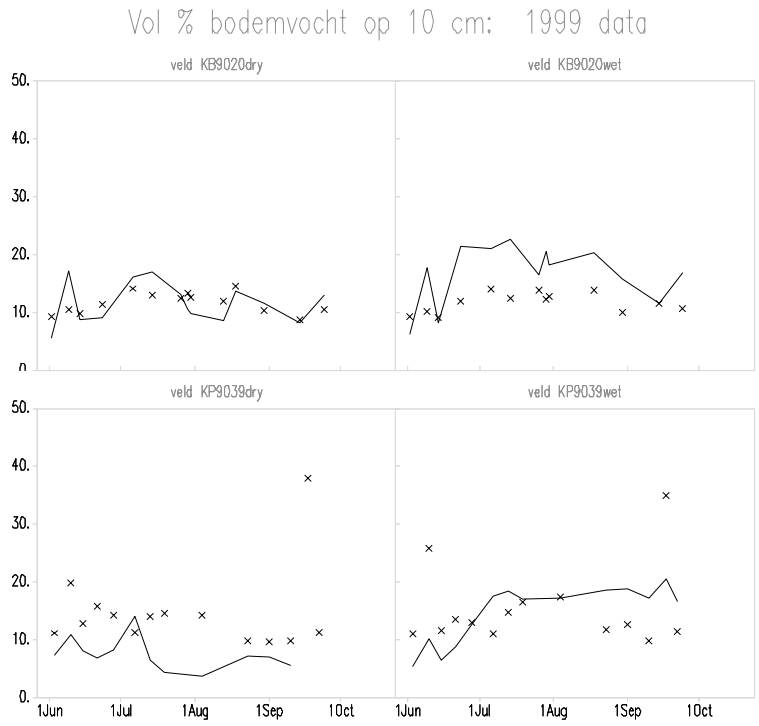
Figuur IV-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.2, 1.4, 11 en 10.



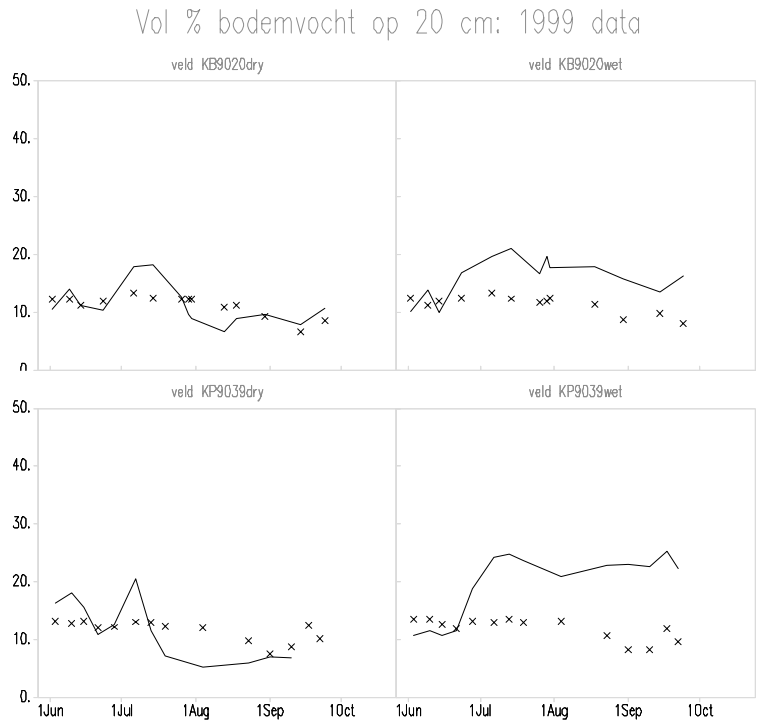
Figuur IV-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 0.7, 0.4, 3 en 5.

Bijlage V.

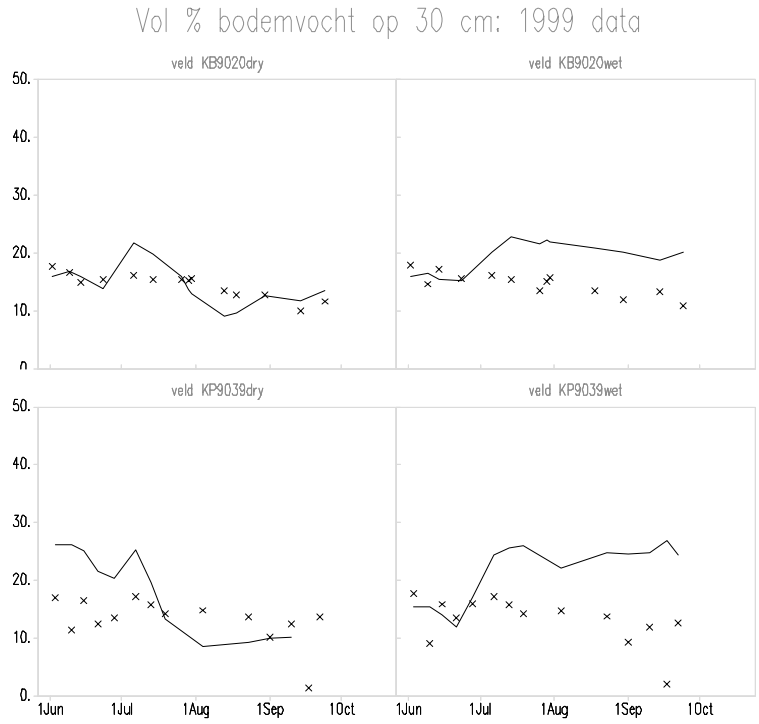
Illustratie van de instabiliteit van veldspecifieke calibratiefuncties. 1999 data met calibratiefunctie veld KB9020dry als voorspeller voor de andere velden



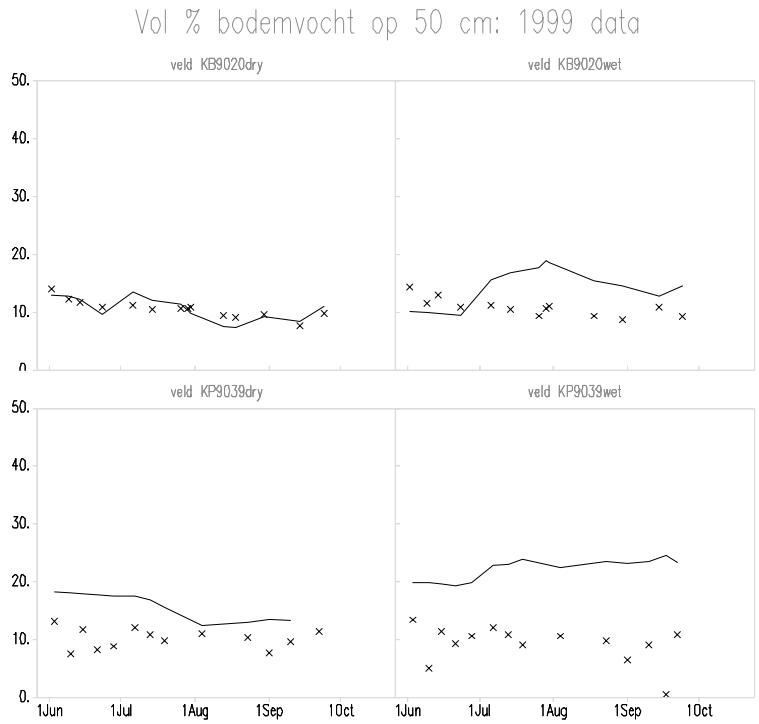
Figuur V-1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 25, 38, 81en 50.



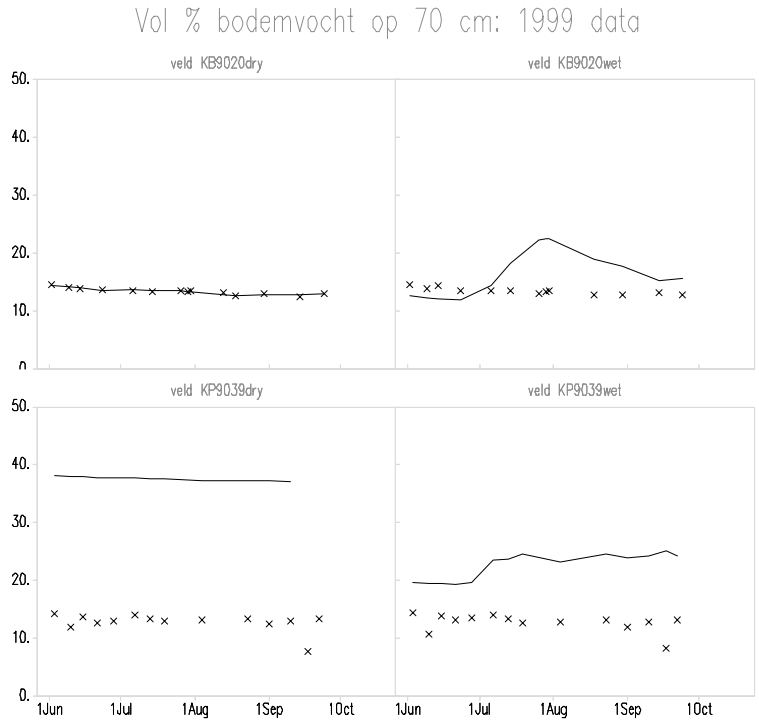
Figuur V-2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 25, 36, 33 en 51.



Figuur V-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 19, 31, 39 en 51.



Figuur V-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 12, 38, 38 en 61.



Figuur V-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 1, 38, 63 en 46.

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL

Voorspellen van droogtestress bij aardappelplanten uit reflectiemetingen aan het gewas: relatie tussen bodemvocht en ratios van pieken en reflectiemetingen

P.F.G. Vereijken[1)]

[1)] Biometris is een samenwerkingsverband tussen leerstoelgroep wiskundige en statistische methoden van Wageningen Universiteit en het centrum voor Biometrie van Plant Research International

Plant Research International B.V., Wageningen
maart 2002

Nota 167

WAGENINGEN UR

© 2002 Wageningen, Plant Research International 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, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres	:	Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
	:	Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel.	:	0317 - 47 70 00
Fax	:	0317 - 41 80 94
E-mail	:	post@plant.wag-ur.nl
Internet	:	http://www.plant.wageningen-ur.nl

Inhoudsopgave

		pagina
1.	Inleiding	1
2.	Materiaal en methoden	3
3.	Statistische analyse	5
4.	Resultaten	7
5.	Discussie	9
Bijlage I.	Waargenomen bodemvocht (volume %) profielen en dagen cropscan metingen	4 pp.
Bijlage II.	Spectraal metingen en pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	8 pp.
Bijlage III.	Waargenomen bodemvocht profielen in 1999 en geschatte bodemvochtwaarden op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	3 pp.
Bijlage IV.	Waargenomen vocht volume % profielen in 2000 en voorspelde vocht % op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4	3 pp.
Bijlage V.	Illustratie van de instabiliteit van veldspecifieke calibratiefuncties. 1999 data met calibratiefunctie veld KB9020dry als voorspeller voor de andere velden	3 pp.

1. Inleiding

Gedurende de teelt van aardappelen kan droogtestress optreden. Bij uitblijven van natuurlijke neerslag kan niet tijdig beregenen leiden tot opbrengstverlies. Bij telers is behoefte aan een snelle en goedkope meetmethode in het veld op grond waarvan bij uitblijven van natuurlijke neerslag het optreden van waarschijnlijke droogtestress op korte termijn kan worden voorspeld. Bij verwachte droogtestress en ongunstige weersvooruitzichten kan dan worden besloten om het gewas te beregenen. De belangrijkste onderzoeksvraag is of reflectiemetingen aan het gewas als indicator voor droogtestress kunnen worden gebruikt. Ultieme doel van het onderzoek is te komen tot een betrouwbaar signaleringssysteem voor droogtestress op grond van lichtreflectiemetingen aan het gewas in het veld.

Er is een pilot-studie uitgevoerd met 8 proefvelden. Voor elk proefveld zijn gedurende het groeiseizoen dagelijks met de environscan methode de volumepercentage water gemeten op 5 dieptes in het voor de aardappelplanten relevante deel van de bodem. Daarnaast zijn op een beperkt aantal dagen lichtreflectiemetingen bij 16 geselecteerde golflengtes gedaan met de cropscan methode. De vraag was of de bodemvocht profielen kunnen worden gereconstrueerd uit de spectrale gewasmetingen. Er zijn legio regressiemodellen in de reflectiescores mogelijk. Meer concreet was de vraag of een viertal ratios van pieken van reflectiemetingen hiervoor konden worden gebruikt.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de aanpak en de resultaten van het verrichte onderzoek naar de relatie tussen volume percentages bodemvocht en de geselecteerde pieken ratio's. Daarnaast worden een aantal opmerkingen gemaakt bij de opzet en uitvoering van de pilot-studie, alsmede bij de weg waarlangs het ultieme doel te bereiken.

2. Materiaal en methoden

De pilot-studie

De pilot-studie is in 1999 en 2000 uitgevoerd. Er was sprake van 8 proefvelden waarvan de helft gelegen op zandgrond en de andere helft op dalgrond. De codering van de proefvelden, alsmede een korte beschrijving van de proefvelden is onderstaand weergegeven:

KB9020_droog	KB9020, 1999, veld 14, droog, N1, Seresta
KB9020_beregend	KB9020, 1999, veld 23, beregend, N1, Seresta
KP9039_droog	KP9039, 1999, veld 19, droog, N1, Seresta
KP9039-beregend	KP9039, 1999, veld 17, beregend, N1, Seresta
KP9060_droog	KP9060, 2000, veld 18, droog, N2, Seresta
KP9060_beregend	KP9060, 2000, veld 20, beregend, N2, Seresta
KB9036_droog	KB9036, 2000, veld 22, droog, N2, Seresta
KB9036_beregend	KB9036, 2000, veld 13, beregend, N2, Seresta

De KB percelen betroffen zandgrond met een organische stofgehalte van 4-5% en de KP percelen betroffen veenkoloniale dalgrond met een organische stofgehalte van 10-20%.

Voor elk proefveld zijn enviroscan en cropscanmetingen op één vaste plek in het veld verricht. Middels 5 sensoren zijn bodemvochtmetingen gedaan. De eerste sensor bevond zich aan de onderkant van de zandrug (10 cm onder de top van de zandrug en net onder de gepote aardappel). De tweede, derde, vierde en vijfde sensor bevonden zich op 20, 30, 50 en 70 cm onder de top van de zandrug. De sensoren 1, 2 en 3 bestreken de wortelzone van de aardappelplant in het begin van het groeiseizoen. Rond half juni komen de wortels pas in de buurt van de vierde sensor. Voor de toplaag met de eerste sensor is het effect van instraling het grootst. De bodemvochtmetingen van de eerste sensor bevatten daarom de meeste ruis. De verwachting was dat de metingen van de sensoren 2 en 3 de meeste informatie leveren met betrekking tot de vochtvoorziening van de aardappel planten. Gedurende het groeiseizoen zijn dagelijks om het uur meermalen bodemvochtmetingen verricht. Gedurende het groeiseizoen zijn op een beperkt aantal dagen (8 tot 14) cropscan metingen verricht in de namiddag. Een overzicht van de gemeten enviroscan en cropscan- variabelen is opgenomen in de onderstaande tabel.

Variabele	Omschrijving	Eenheid
Nr.	Number	
Datum	Date enviroscan	
Tijd	Time Enviroscan	
10 cm	Soil moisture at 0 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
20 cm	Soil moisture at 5 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
30 cm	Soil moisture at 15 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
50 cm	Soil moisture at 35 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
70 cm	Soil moisture at 55 cm depth under ground level, volume% water	volume% water
V0-15	Soil layer 0-15 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V15-25	Soil layer 15-25 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V25-40	Soil layer 25-40 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V40-60	Soil layer 40-60 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
V60-100	Soil layer 60-100 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
CUMV0-40	Soil layer 0-40 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
CUMV0-60	Soil layer 0-60 cm, mm water/m^2	mm water/m^2
DATE	Date cropscan	
TIME	Time cropscan	
ANG	Ang cropscan	
IRR	Irradiation	
460	Wavelength 460 nm, PRI	
507	Wavelength 507 nm, PRI	
559	Wavelength 559 nm, PRI	
610	Wavelength 610 nm, PRI	
661	Wavelength 661 nm, PRI	
680	Wavelength 680 nm, PRI	
710	Wavelength 710 nm, PRI	
740	Wavelength 740 nm, PRI	
760	Wavelength 760 nm, PRI	
780	Wavelength 780 nm, PRI	
810	Wavelength 810 nm, PRI	
870	Wavelength 870 nm, PRI	
950	Wavelength 950 nm, PRI	
1091	Wavelength 1091 nm, PRI	
1220	Wavelength 1220 nm, PRI	
1600	Wavelength 1600 nm, PRI	
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index green, PRI	
FINTGRN	Light interception, green, PRI	
Red Edge	Red edge index, PRI	
Labda Red Edge	Labda red edge, PRI	
WDVI-rood	Weighted Difference Vegetation Index red, PRI	
FINTRED	Light interception, red, PRI	
Rw1	R810/R1600	
Rw2	R810/R950	
Rw3	R810/R1091	

In 2000 is het filter met golflengte 1600 nm in het apparaat vervangen door een filter met golflengte 1650 nm. Omdat 1999 vrij droog was zijn op de zandgronden (KB percelen) mogelijk meer effecten van droogtestress aanwezig. De pieken ratios Rw1 (R810/R1600), Rw2 (R810/R950), Rw3 (R810/R1091) en Rw4 (R810/R1220) zijn een maat voor de vochtinhoud van het gewas en zijn gebruikt om vocht volume percentage in de verschillende bodemlagen te voorspellen.

3. Statistische analyse

Beschrijvend: per veld zijn per laag van de bodemvocht metingen daggemiddelden berekend. Grafieken met de bodemvochtprofielen van de daggemiddelden zijn per veld gemaakt voor een indruk van zowel het niveau als het verloop van bodemvocht in de diverse bodemlagen gedurende het groeiseizoen. In de grafieken met bodemvochtprofielen zijn de dagen gemarkeerd waarop cropscan metingen zijn gedaan. Dit is gedaan voor een indruk van de resolutie van de benaderende bodemvochtprofielen, welke zouden zijn verkregen wanneer bodemvocht enkel op de cropscan dagen zou zijn gemeten en voor de andere dagen bodemvocht zou zijn berekend door interpolatie van de vochtscores op de cropscan dagen. De geïnterpoleerde profielen is het beste wat men mag verwachten bij voorspellen van bodemvocht uit cropscan metingen. Door deze benaderende vochtprofielen te vergelijken met de 'volledige' profielen van de daggemiddelden ziet men wat aan locale pieken en dalen wordt gemist. Feitelijk dient eerst te worden nagegaan of uit de 'volledige' vochtprofielen en andere vereiste inputs (ontwikkelingsstadium van het gewas, bodemtype en de verwachte weersvooruitzichten, etc.) vermoedelijke periodes van droogtestress kunnen worden berekend. Vervolgens kan worden nagegaan of de resolutie van de benaderende vochtprofielen groot genoeg is voor de berekening van deze vermoedelijke periodes van droogtestress of dat meer frequente cropscan metingen wenselijk zijn. In het uiterste geval dienen dagelijks cropscan metingen te worden gedaan. Het voor de droogte stress berekening gebruikte rekenmodel laat bovendien zien welke vochtinput vereist is en of vochtgegevens in de afzonderlijke lagen perse nodig zijn.

Voorspellen van bodemvocht volume % uit reflectie ratios

Voor de beschrijving van de relatie tussen daggemiddelden van bodemvocht volume% en de pieken ratios Rw1=R810/R1600 (R810/R1650 voor de 2000 data), Rw2=R810/R950 en Rw3=R810/R1090 en Rw4=R810/R1220 is gebruik gemaakt van de volgende calibratiefunctie:

$$\text{Bodemvochtvol \%} = b0 + b1 \times Rw1 + b2 \times Rw2 + b3 \times Rw3 + b4 \times Rw4 \qquad (1)$$

In model (1) stelt b0 het niveau voor en zijn b1 tot en met b4 regressiecoëfficiënten.

Omdat beschikbaarheid van bodemvocht voor de planten als vochtopname efficiëntie afhangen van de bodemstructuur kunnen metingen van verschillende bodems niet zondermeer op een hoop worden gegooid. Voor elk veld is per laag aan de gemeten vochtdata middels lineaire regressie calibratiefunctie (1) aangepast. Daarbij is aangenomen dat de residuele bijdragen onderling onafhankelijk verdeeld zijn met gemiddelde 0 en constante variantie σ^2. Omdat per veld slechts op 8 tot 14 dagen cropscan metingen zijn gedaan is het aantal meetpunten voor het berekenen van de calibratiefunctie erg beperkt. Als maat voor de kwaliteit van veldspecifieke calibratiefuncties is de gemiddelde procentuele schattingsfout berekend. Voor een beeld van de kwaliteit van de gefitte calibratiefuncties zijn grafieken gemaakt van de gemeten vochtwaarden en de onder het model geschatte vochtwaarden. Verder is voor de 1999 data onderzocht of verschillende calibratiefuncties per veld wenselijk zijn of dat met één calibratiefunctie voor de 4 proefvelden kan worden volstaan. Hetzelfde is gebeurd voor de data uit 2000. Een indruk van de voorspelkwaliteit van een gefitte calibratiefunctie voor andere velden wordt verkregen door de gemiddelde procentuele voorspelfout te berekenen en gemeten en voorspelde vochtwaarden grafisch weer te geven.

4. Resultaten

De grafieken van de waargenomen bodemvochtprofielen zijn opgenomen in Bijlage I. Uit de grafieken blijkt dat de resolutie van de benaderende bodemprofielen, gebaseerd op de vochtmetingen op de dagen dat cropscan metingen zijn verricht, niet altijd even hoog is en dat locale pieken en dalen gemist worden. Of de afwijkingen acceptabel zijn hangt af van de grootte van de afwijkingen die acceptabel zijn bij de berekeningen van droogtestress. Of de resolutie voor het berekenen van droogtestress voldoende is dient te worden nagegaan.

In Bijlage II zijn grafieken opgenomen van de spectrale metingen per meettijdstip. Daarnaast zijn profielen opgenomen van de gemeten ratios van pieken van reflectiemetingen. De grafieken geven een beeld van het verloop in de tijd van de gebruikte variabelen in de calibratiefunctie.

Grafieken van de geschatte bodemvocht % voor de verschillende velden onder calibratiefunctie (1) en van de waargenomen bodemvochtprofielen zijn opgenomen in de Bijlagen III en IV. Op grond van de gefitte waarden lijken veld specifieke calibratiefunctie de vochtdata redelijk te kunnen reconstrueren. Bij het vergelijken van calibratiefuncties van verschillende velden is middels regressieanalyse onderzocht in hoeverre er aanwijzingen zijn voor niveau verschillen tussen velden, constante regressiecoëfficiënten voor verschillende velden en of veldspecifieke regressiecoëfficiënten. In de Tabellen 1 en 2 zijn respectievelijk voor de data uit 1999 en uit 2000 opgenomen de F ratios (verhouding van gemiddelde kwadraatsom voor te toetsen effect en gemiddelde restkwadraatsom (MSE). Tevens zijn de berekende p-waarden van de F-toetsen en de procentuele schattingsfouten opgenomen.

Tabel 1. Berekende F-ratios, mean squared error, procentuele fouten bij aanpassen van veldspecifieke calibratiefunctie aan vocht volume % data uit 1999.

Variatiebron	df	Vol% 10 cm	Vol% 20 cm	Vol% 30 cm	Vol% 50 cm	Vol% 70 cm
Veldspecifieke niveaus	3	18.6***	18.1***	10.5***	112***	507***
Constante regressiecoëfficiënten b1…b4	4	3.8**	1.7	1.8	1.7	2.8*
Veldspecifieke regressiecoëfficiënten b1…b4	12	3.0**	3.4**	5.7***	5.6***	3.3**
MSE	35	10.6	12.2	11.0	2.8	3.1
%fout KB9020dry		25	25	19	12	1.3
%fout KB9020wet		15	10	8	15	16
%fout KP9039dry		31	28	18	5	0.3
%fout KP9039wet		10	16	13	4	5

* *P< 0.05;*
** *P< 0.01;*
*** *P< 0.001, refererend aan een F verdeling, waarbij model termen in volgende rijen niet zijn meegenomen*

Tabel 2. Berekende F-ratios, mean squared error, procentuele fouten bij aanpassen van veldspecifiek calibratiefunctie aan vocht volume % data uit 2000.

Variatiebron	df	Vol% 10 cm	Vol% 20 cm	Vol% 30 cm	Vol% 50 cm	Vol% 70 cm
Veldspecifieke niveaus	3	26.7***	249***	366***	1168***	6947***
Constante regressiecoëfficiënten b1…b4	4	5.6**	4.6**	8.8***	2.2	3.0
Veldspecifieke regressiecoëfficiënten b1…b4	12	1.3	1.4	1.4	0.8	1
MSE	22	4.0	3.4	1.9	1.4	0.3
%fout KP9060dry		10	6	3	0.3	0.3
%fout KP9060wet		10	7	6	1.0	0.3
%fout KB9036dry		22	15	8	10	2.8
%fout KB9036wet		20	13	7	8	4.1

* *P< 0.05;*
** *P< 0.01;*
*** *P< 0.001, refererend aan een F verdeling, waarbij model termen in volgende rijen niet zijn meegenomen*

De analyse resultaten in Tabel 1 en 2 wijzen uit dat sprake is van niveau verschillen tussen de velden, alsmede dat voor de 1999 data veldspecifieke calibratiefuncties wenselijk zijn. Dit houdt in dat gefitte calibratiefuncties geen of nauwelijks voorspellende waarde behoeven te hebben bij gebruik voor nieuwe velden. Ter illustratie van de instabiliteit van gefitte calibratiefuncties is voor de 1999 data de calibratiefunctie voor veld KB9020 droog gebruikt als voorspeller voor de overige drie velden. De grafieken met waargenomen bodemvochtprofielen en voorspelde bodemvocht waarden zijn opgenomen in Bijlage V. De grafieken wijzen uit dat een gefitte calibratiefunctie voor nieuwe velden geen voorspellende waarde heeft.

Conclusies: analyse van de data van de pilot-studie heeft uitgewezen dat:

- Pieken van reflectiemetingen kunnen worden gebruikt voor de reconstructie van bodemvocht volume%. Van belang is wel zich te realiseren dat de berekende procentuele schattingsfouten mogelijk een te optimistisch beeld geven wanneer de calibratiefunctie voor andere plekken op een veld zou worden gebruikt aangezien de calibratiefunctie enkel betrekking heeft op de plek specifieke situatie.
- Veldspecifieke calibraties wenselijk zijn en gefitte calibratiefuncties instabiele voorspellers blijken te zijn bij gebruik voor andere velden.

5. Discussie

Vereiste meetfrequentie spectraal metingen

Essentieel voor het onderzoek is dat de berekeningsmethode bekend is om uit 'complete' bodemvocht-profielen en andere vereiste input vast te stellen in welke periodes sprake is van vermoedelijke droogte-stress tijdens het groeiseizoen. Daarbij wordt ook duidelijk welke inputs nodig zijn en in welke vorm. Voor de vocht input is het van belang te weten of informatie over bodemvocht per laag perse nodig is of dat met een geaggregeerde vochtmetingen gerekend wordt. Verder dient te worden nagegaan of dagelijkse vochtmetingen nodig zijn of dat kan worden volstaan met een grid van vochtmetingen gedurende het seizoen en hoe fijn dat grid dan wel dient te zijn.

Smoothing van vochtdata

Spectrale metingen hebben betrekking op de plant. In het verrichte onderzoek werd bodemvocht gemeten op de dagen van de reflectiemetingen gerelateerd aan pieken ratios van spectraal metingen. Vraag is hoe snel de plant op bodemvocht reageert. Feitelijk dienen de mechanismen bekend te zijn. Wellicht geven bodemvochtmetingen op hetzelfde tijdstip als dat van de spectraalmetingen minder hoge correlaties dan een geaggregeerde maat voor bodemvocht in een korte periode direct voorafgaand aan het tijdstip van de cropscan meting. Als maat voor de droogte toestand in deze periodes zou het gemiddelde vochtpercentage kunnen worden genomen. Optimale lengte van de periode te berekenen door lengte te variëren en na te gaan voor welke lengte correlatie het grootst is.

Veldspecifieke calibratiefuncties

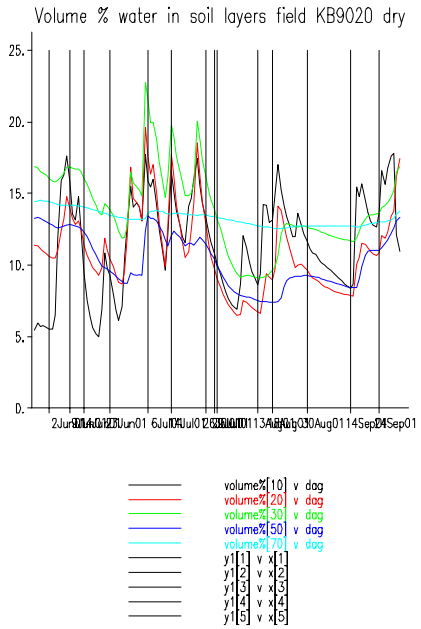
Analyse heeft uitgewezen dat niet met één calibratiefunctie voor verschillende velden kan worden volstaan. Centraal staat de vraag waar de verschillen vandaan komen en hoe hierop vat te krijgen. Feitelijk betreft het complexe data waarbij sprake is van variatie tussen velden en variatie binnen velden. In de pilot-studie werd niet op meerdere plekken binnen hetzelfde veld gemeten. Indien dit wel was gebeurd, had men een beeld gekregen van verschillen tussen plekken, zou een grotere en ruimere verzameling van data voor aanpassen van de calibratiefunctie zijn verkregen en zou een interne validatie van het gefitte calibratiefunctie mogelijk geweest zijn. Bovendien had men kunnen beschikken over schattingen van procentuele voorspelfouten bij gebruik van de calibratiefunctie voor het hele veld. In de pilot-studie is echter maximaal ingezet op variatie tussen velden door één veld te nemen voor elk van de 8 mogelijke instellingen van de proeffactoren: soort grond, wel of geen beregening en de N gift. Feitelijk behoefte aan hiërarchische calibratiefuncties waarin rekening wordt gehouden met variatie tussen en binnen velden. De situatie is hopeloos ingeval elke veldsituatie op zich zelf blijkt te staan. Gehoopt wordt echter dat verschillen tussen velden in belangrijke mate systematisch zijn en veroorzaakt worden door enkele proeffactoren (bodemstructuur, etc.) en de overblijvende variatie tussen velden klein is.

Voor toekomstige proeven voor opstellen van vocht calibratiefuncties wordt geadviseerd op meerdere plekken binnen een veld te meten. Verder wordt geadviseerd meerdere velden bij elke combinatie van instellingen van voor verschillen tussen velden belangrijk geachte factoren mee te nemen.

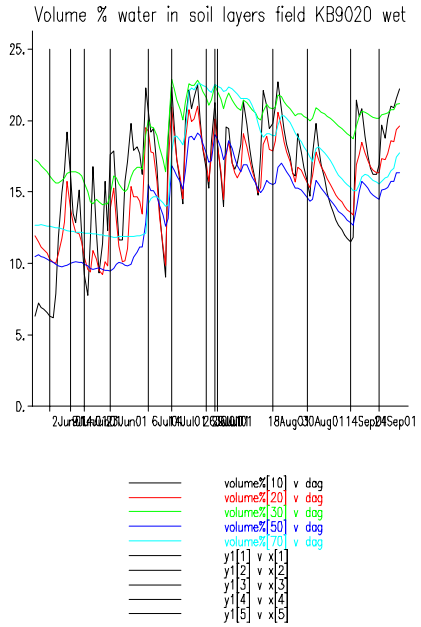
In calibratie model rekening houden met niveaus en regressiecoëfficiënten die af mogen hangen van de instellingen van de proeffactoren, alsmede met additionele random effecten voor residuele niveauverschillen en voor residuele verschillen tussen regressiecoëfficiënten van de velden na afsplitsing van eerder genoemde vaste effecten. Bovengenoemde aanpak leidt tot specifieke calibratiefuncties voor elke combinatie van instellingen van deze factoren.

Bijlage I.

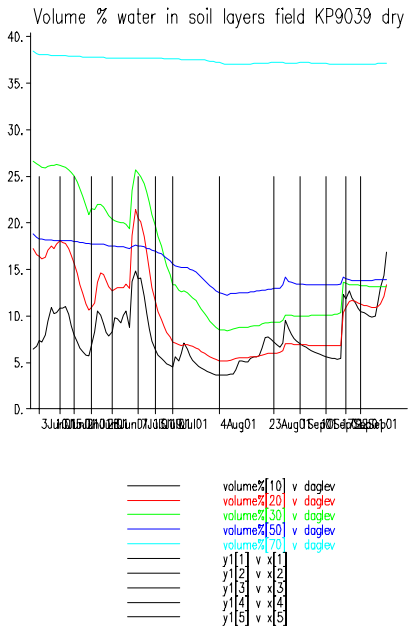
Waargenomen bodemvocht (volume %) profielen en dagen cropscan metingen



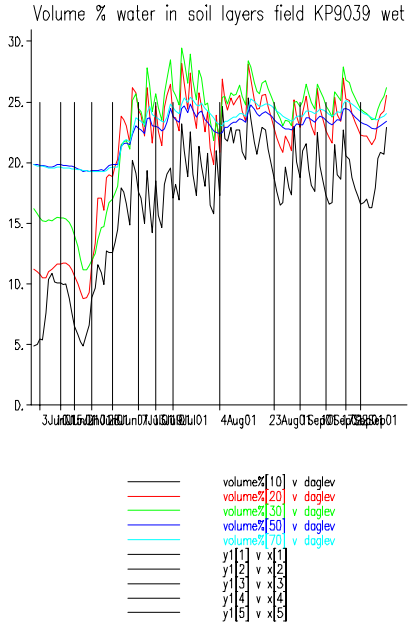
Figuur I-1. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KB9020dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



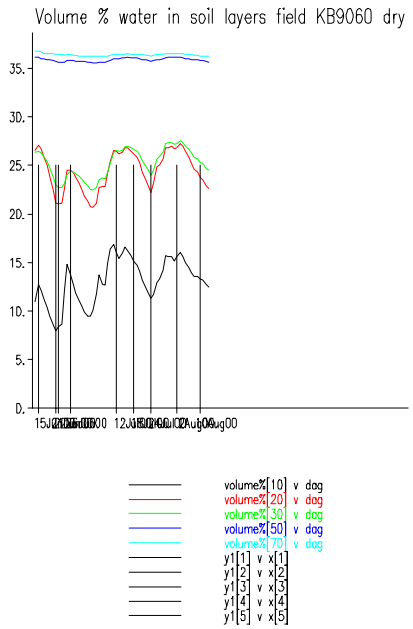
Figuur I-2. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KB9020wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



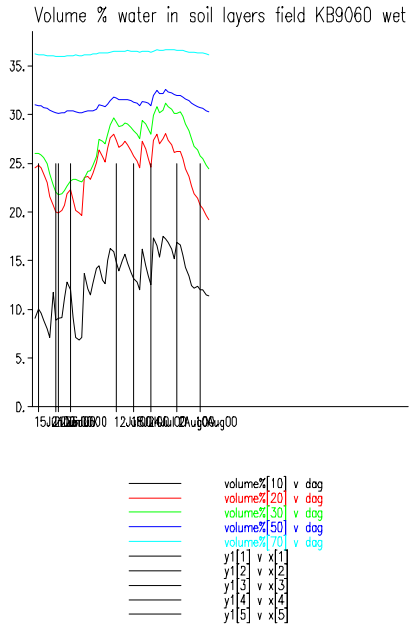
Figuur I-3. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9039dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



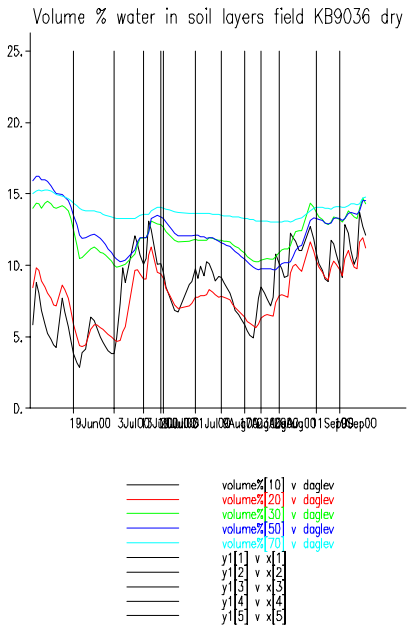
Figuur I-4. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9039wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



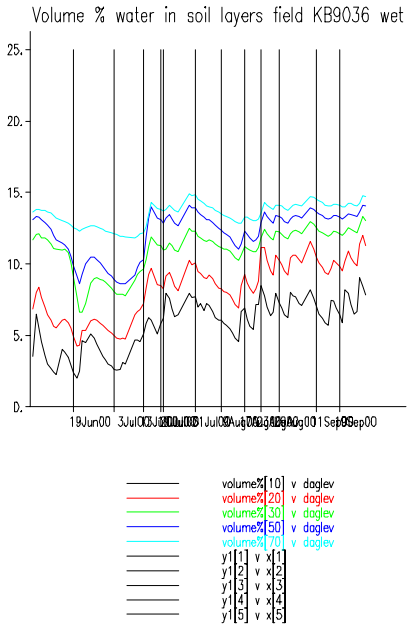
Figuur I-5. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9060dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven



Figuur I-6. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9060wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.



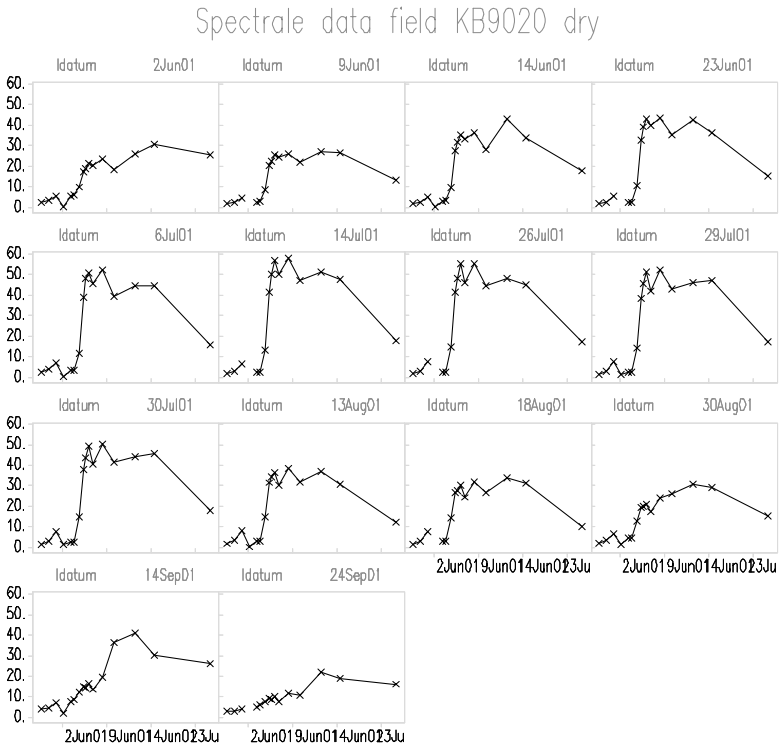
Figuur I-7. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9036dry. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven



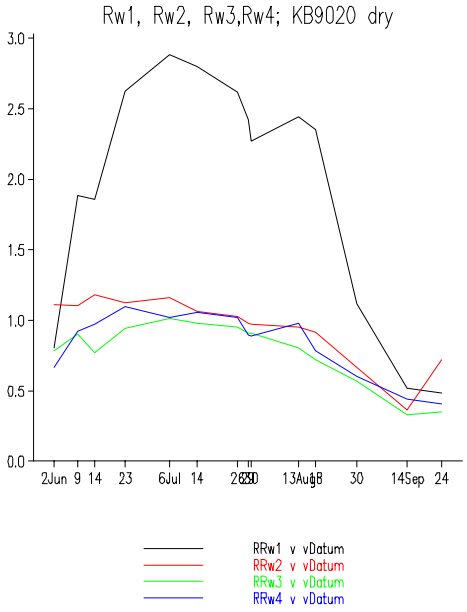
Figuur I-8. Verloop van daggemiddelden volume (%) water in de diverse bodemlagen voor veld KP9036wet. Middels verticale spikes zijn de cropscan meetdagen aangegeven.

Bijlage II.

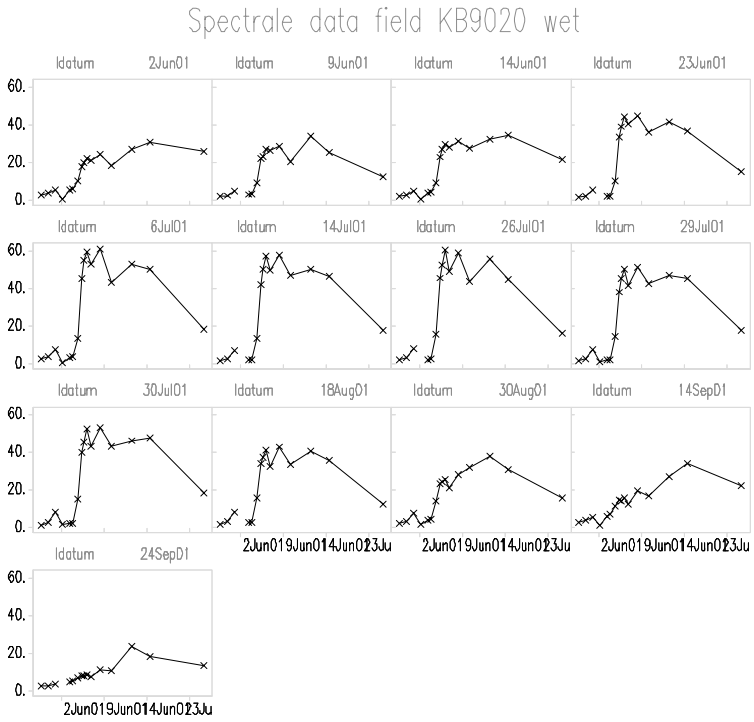
Spectraal metingen en pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



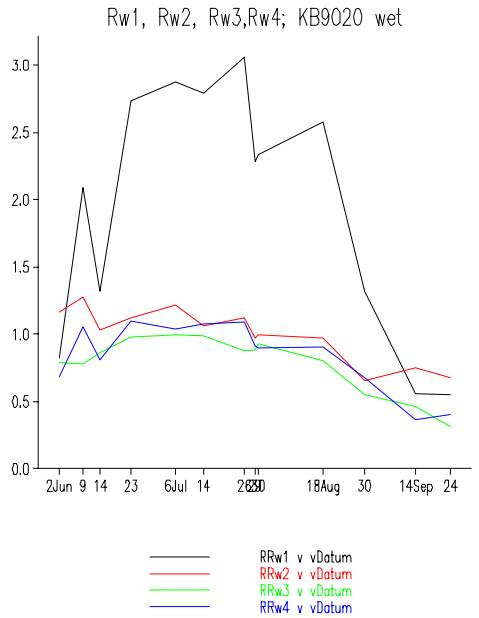
Figuur II-1. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9020dry.



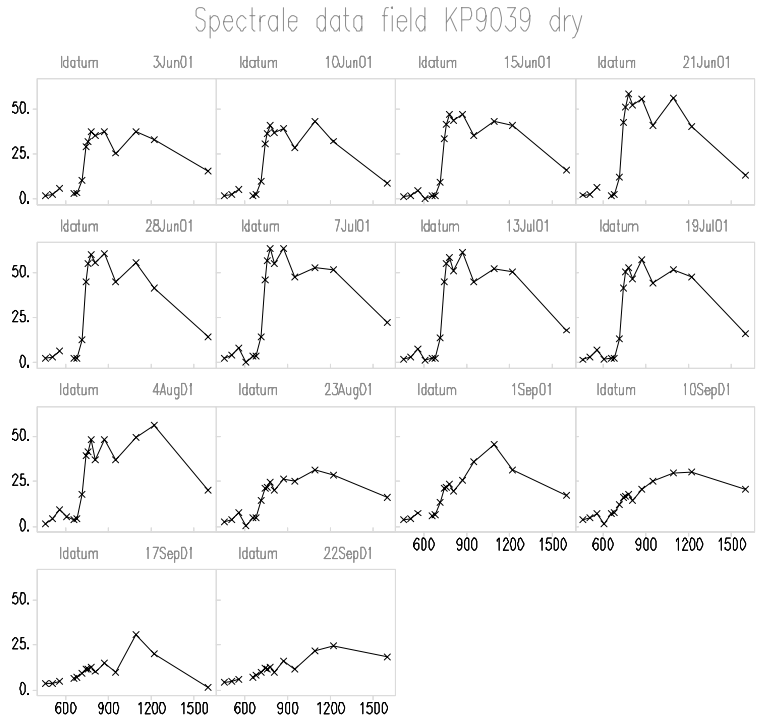
Figuur II-2. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 voor veld KB9020dry.



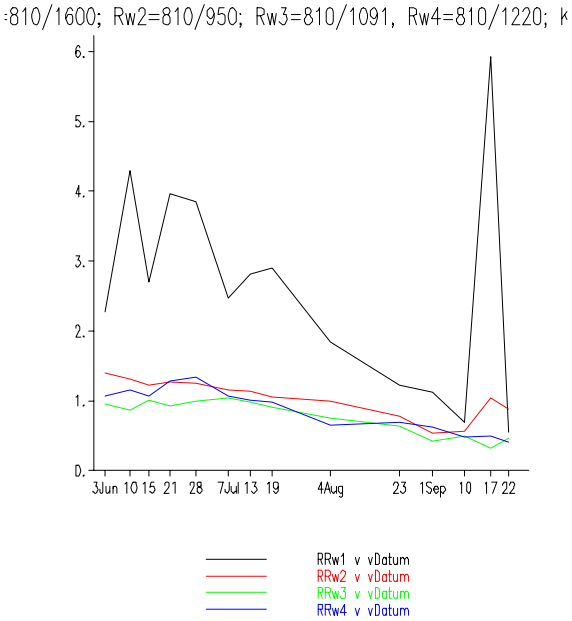
Figuur II-3. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9020wet.



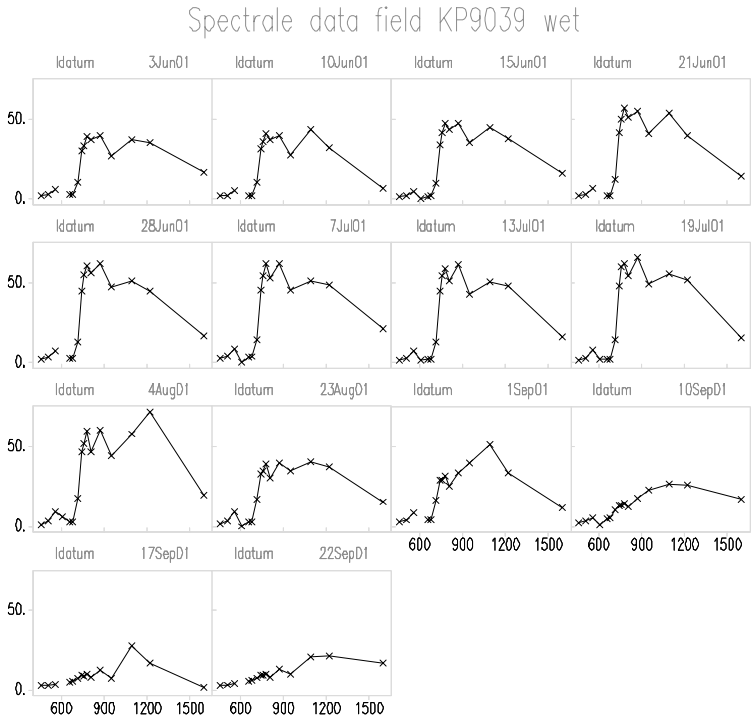
Figuur II-4. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 voor veld KB9020 wet.



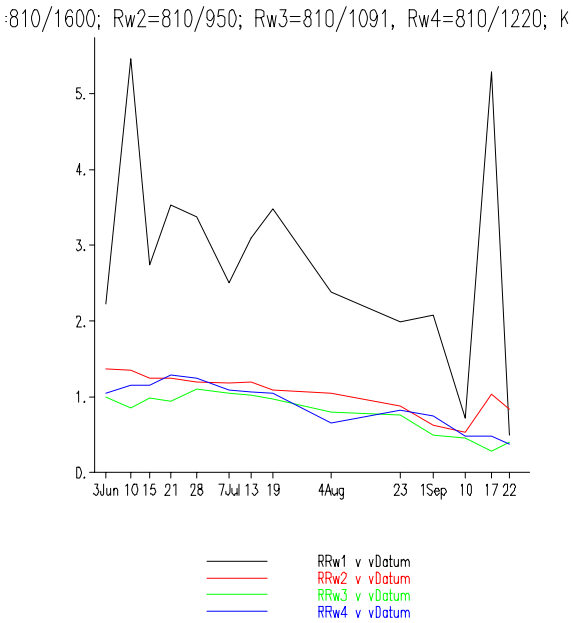
Figuur II-5. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9039 dry.



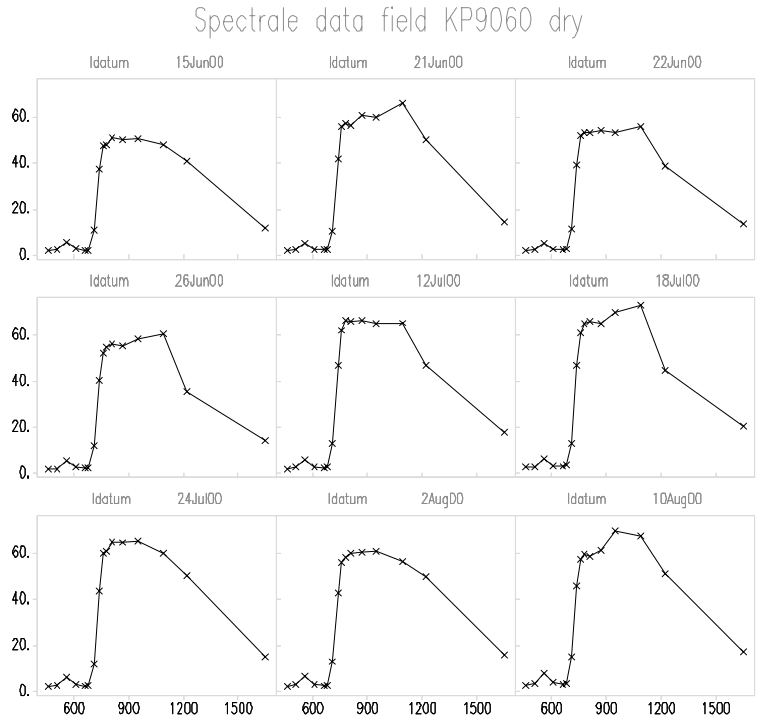
Figuur II-6. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9039 dry.



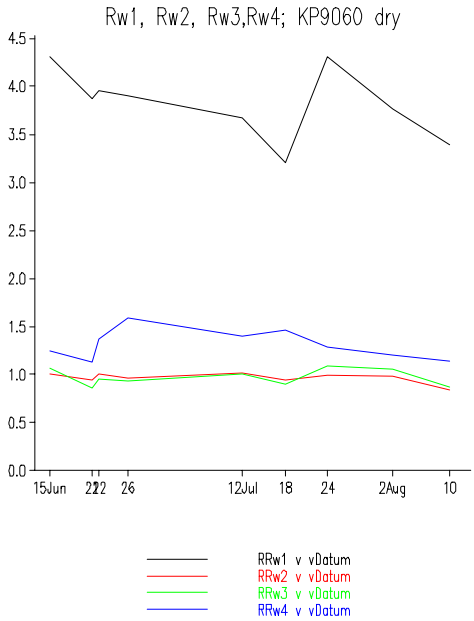
Figuur II-7. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9039 wet.



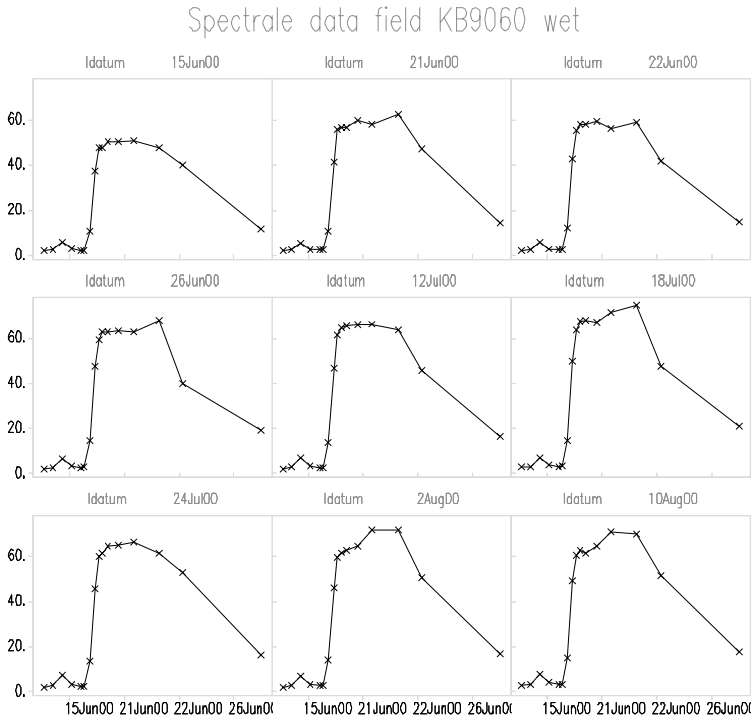
Figuur II-8. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9039 wet.



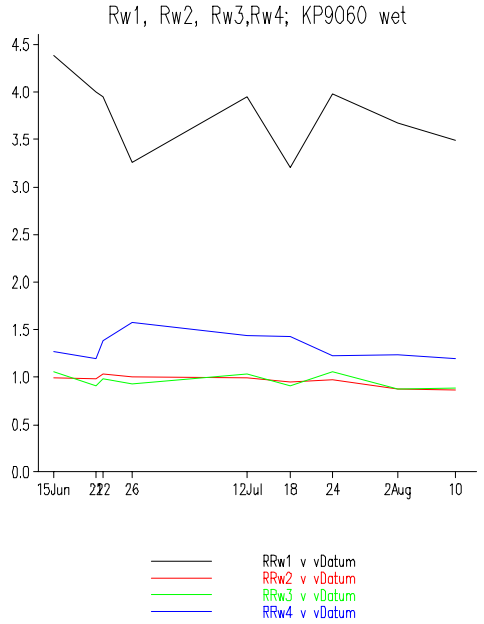
Figuur II-9. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9060 dry.



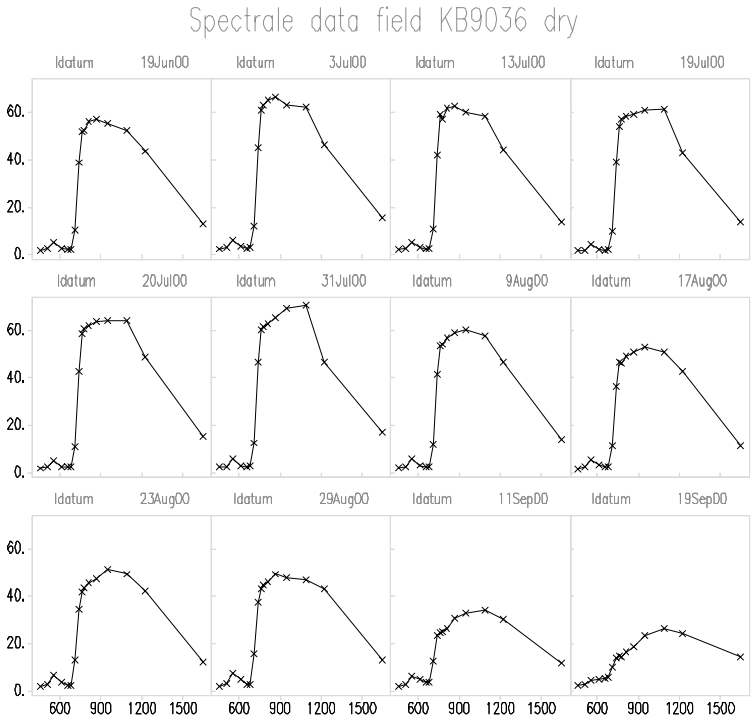
Figuur II-10. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9060 dry.



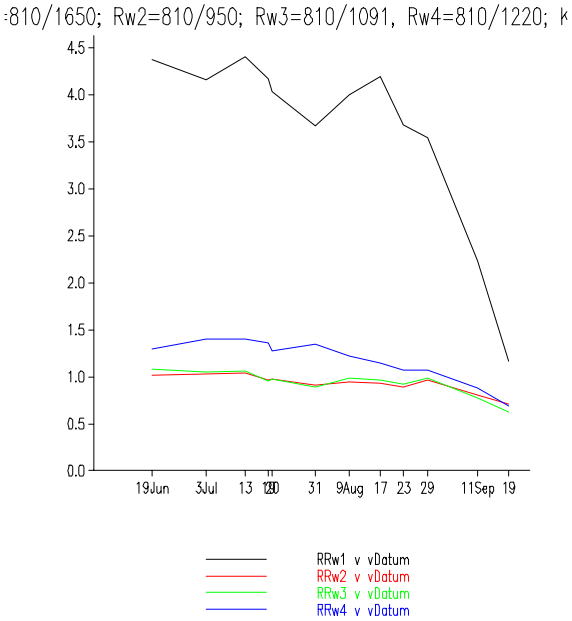
Figuur II-11. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KP9060 wet.



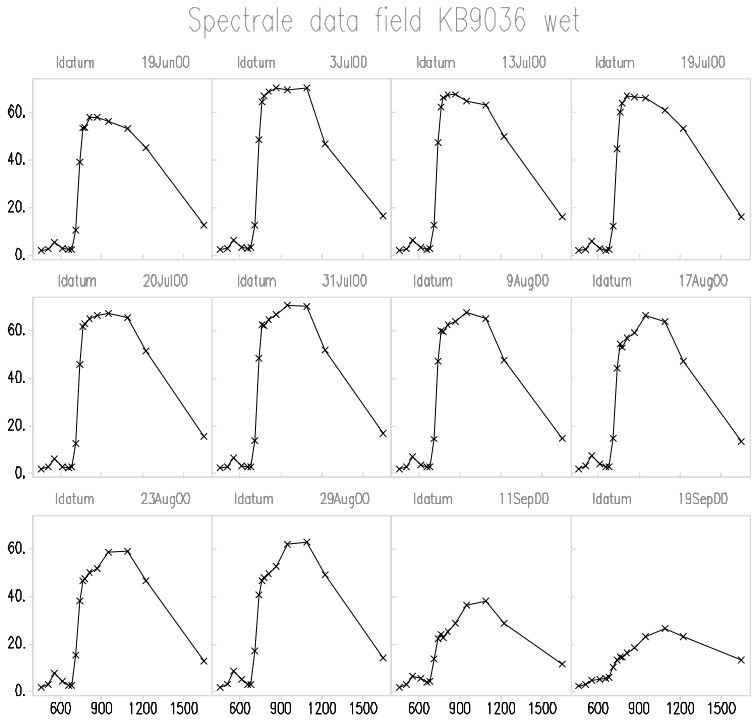
Figuur II-12. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KP9060 wet.



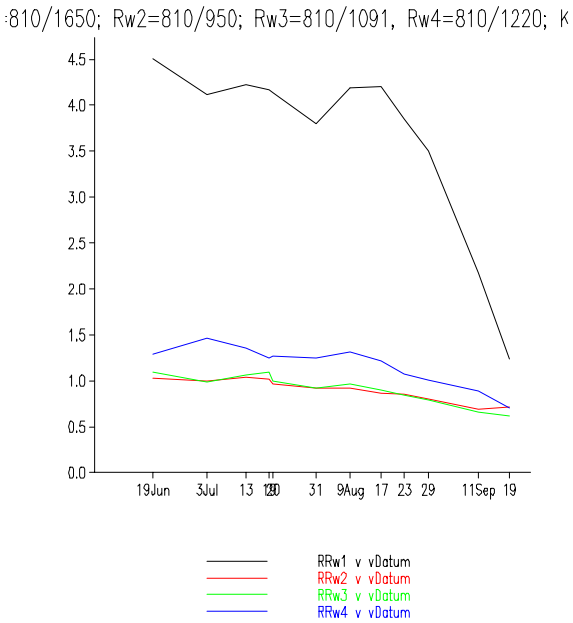
Figuur II-13. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9036 dry.



Figuur II-14. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KB9036 dry.



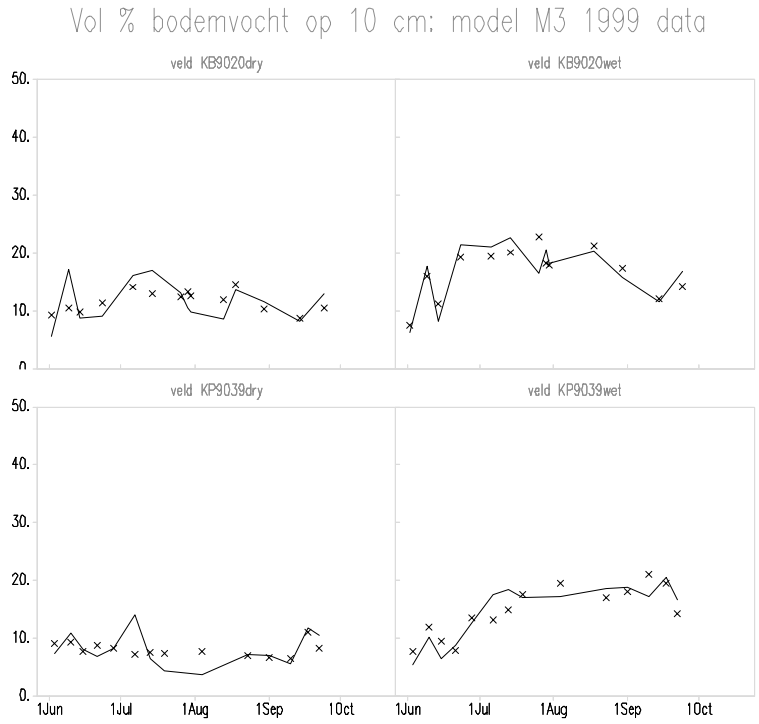
Figuur II-15. Trellis plot met gemeten spectraal profielen voor veld KB9036 wet.



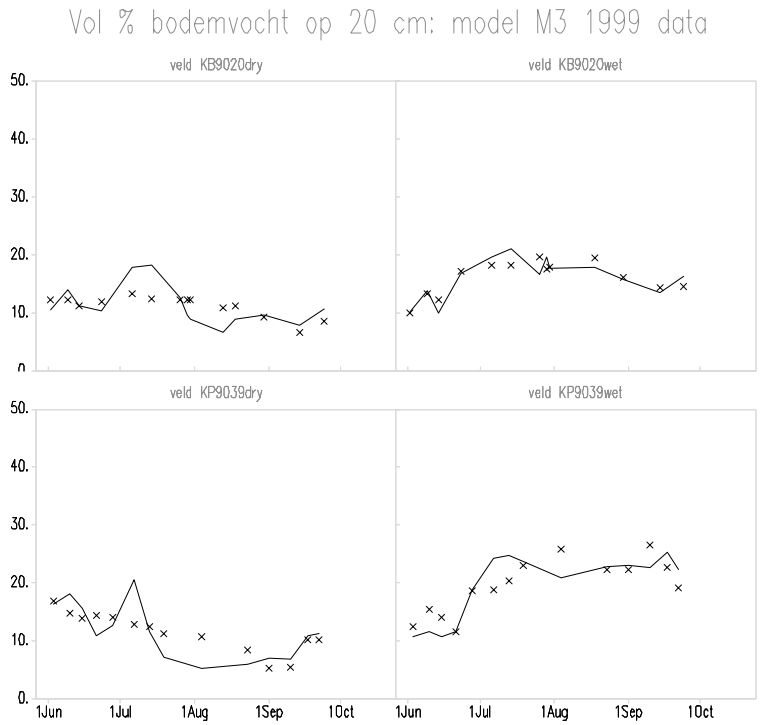
Figuur II-16. Verloop van gemeten piek ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4 voor veld KB9036 wet.

Bijlage III.

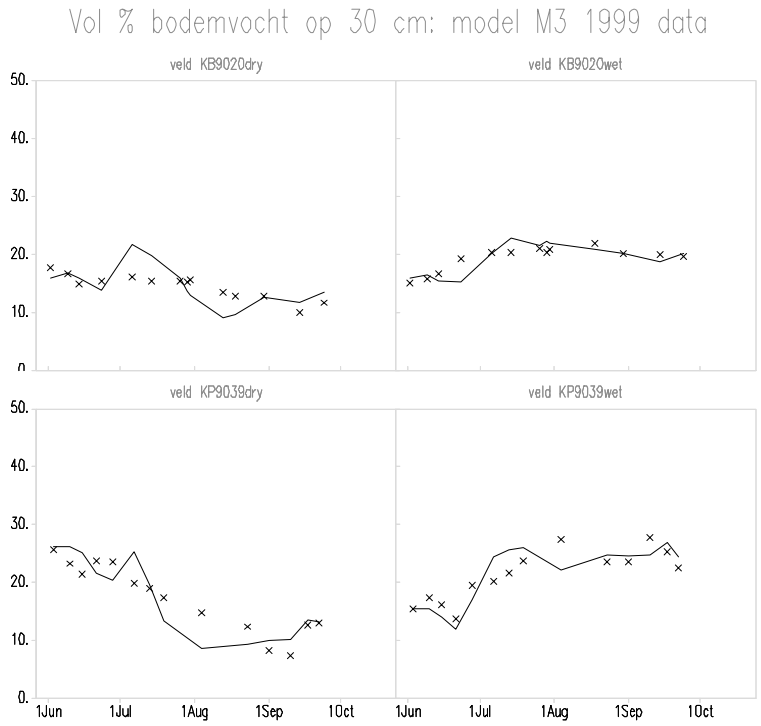
Waargenomen bodemvocht profielen in 1999 en geschatte bodemvochtwaarden op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



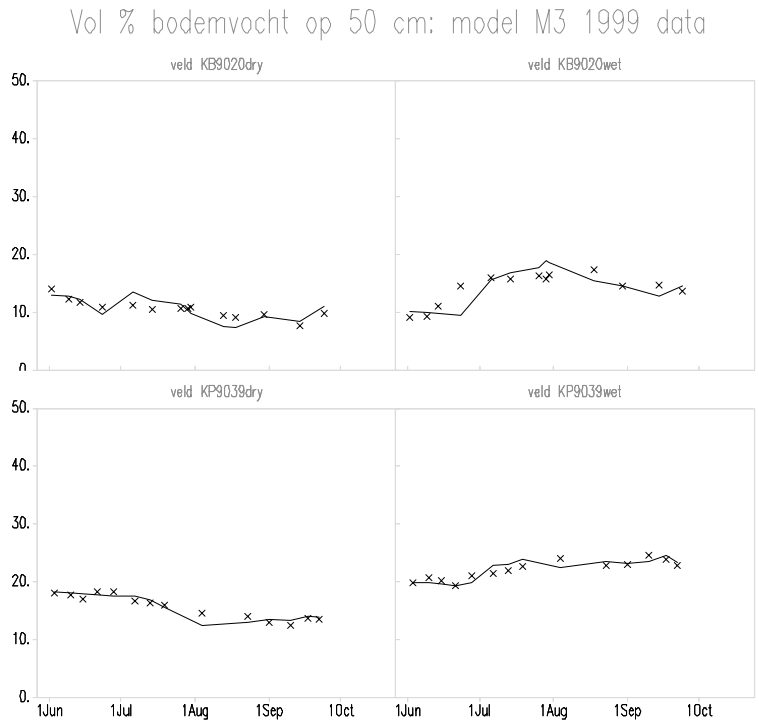
Figuur III.1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk: 25, 15, 31 en 10.



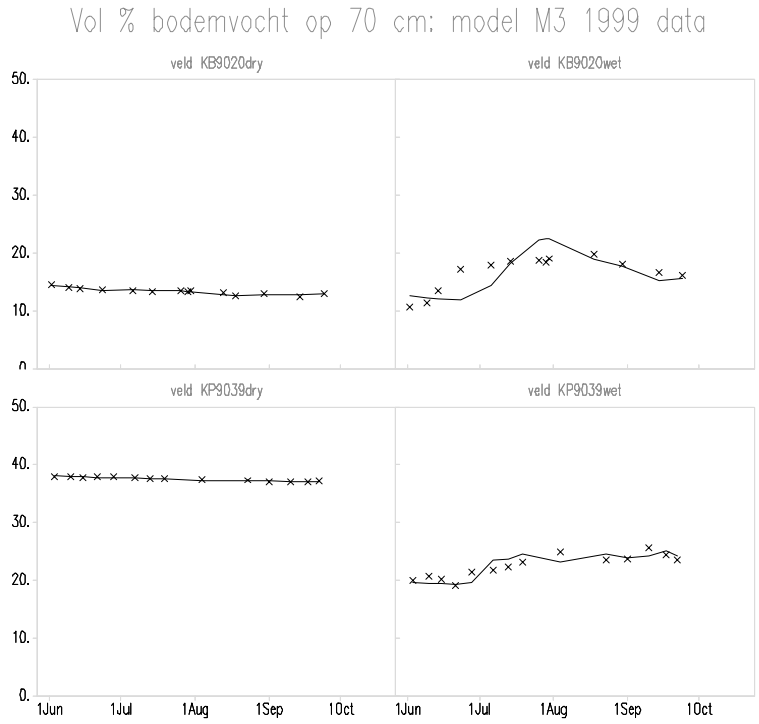
Figuur III.2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 25, 10, 28 en 16.



Figuur III-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 19, 8, 18 en 13.



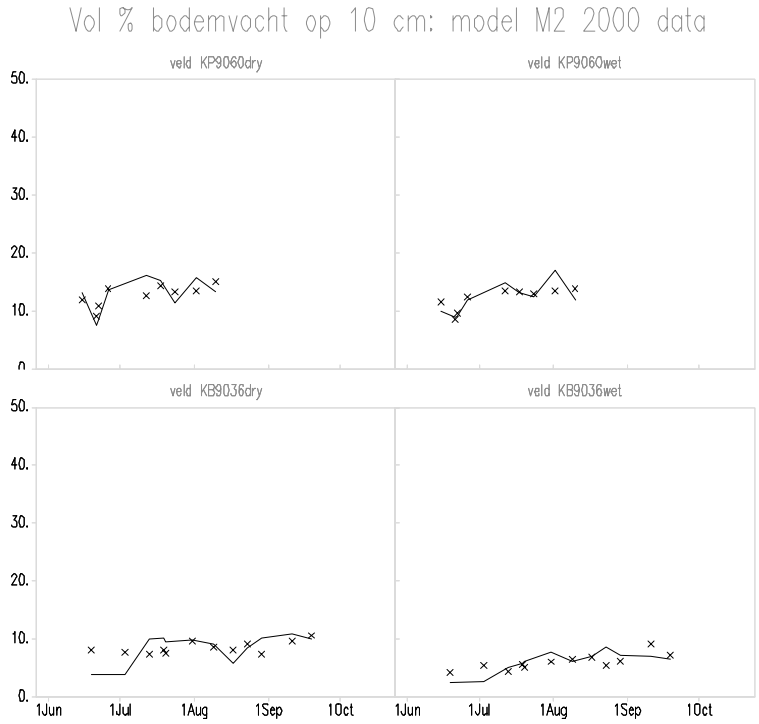
Figuur III-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 12,15, 5 en 4.



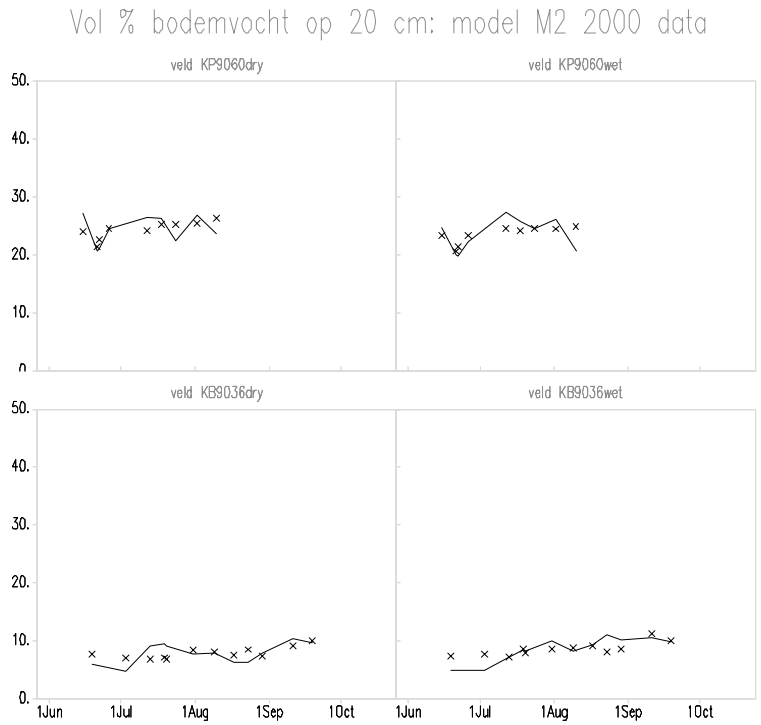
Figuur III-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M3. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.3, 16, 0.3 en 5.

Bijlage IV.

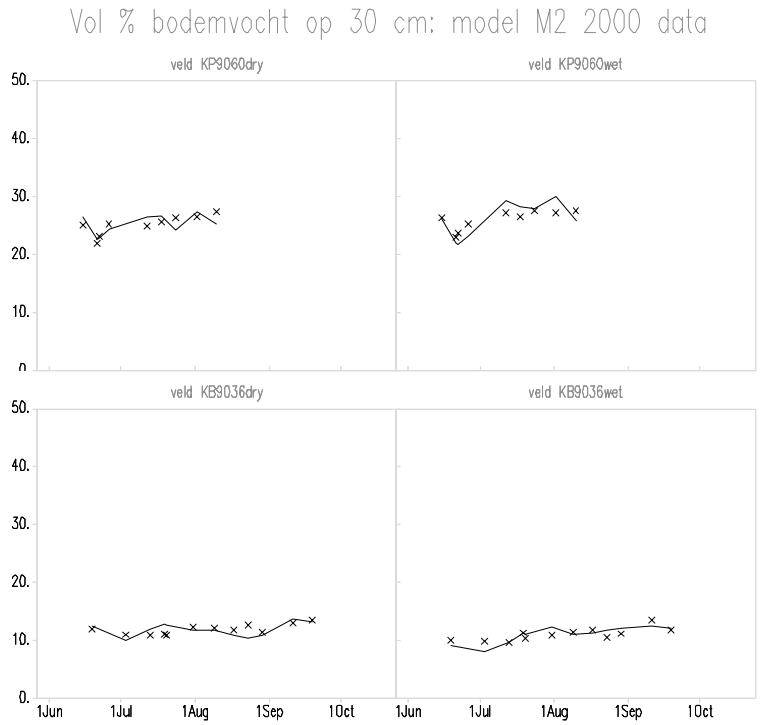
Waargenomen vocht volume % profielen in 2000 en voorspelde vocht % op grond van veldspecifieke calibratie van bodemvocht op de pieken ratios Rw1, Rw2, Rw3 en Rw4



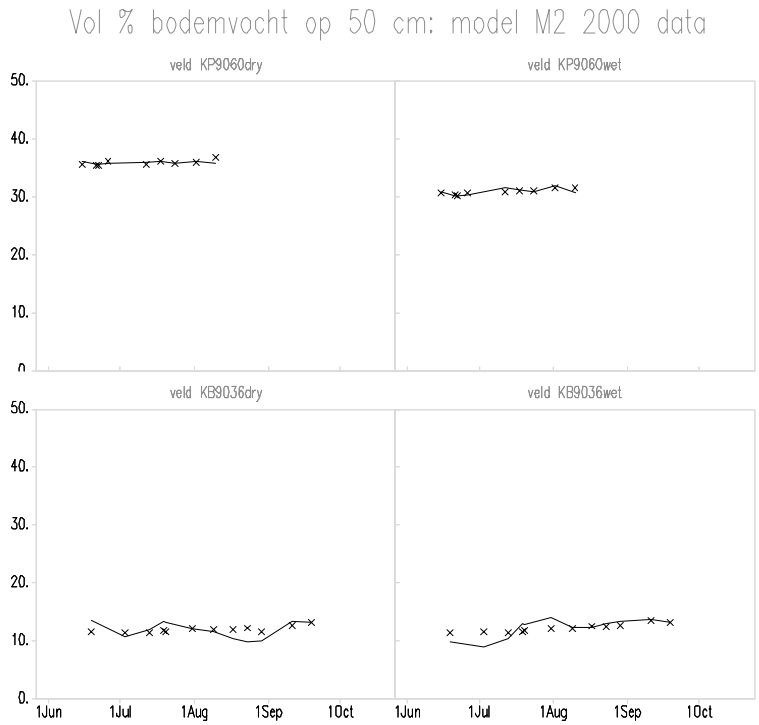
Figuur IV-1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.3, 16, 0.3 en 5.



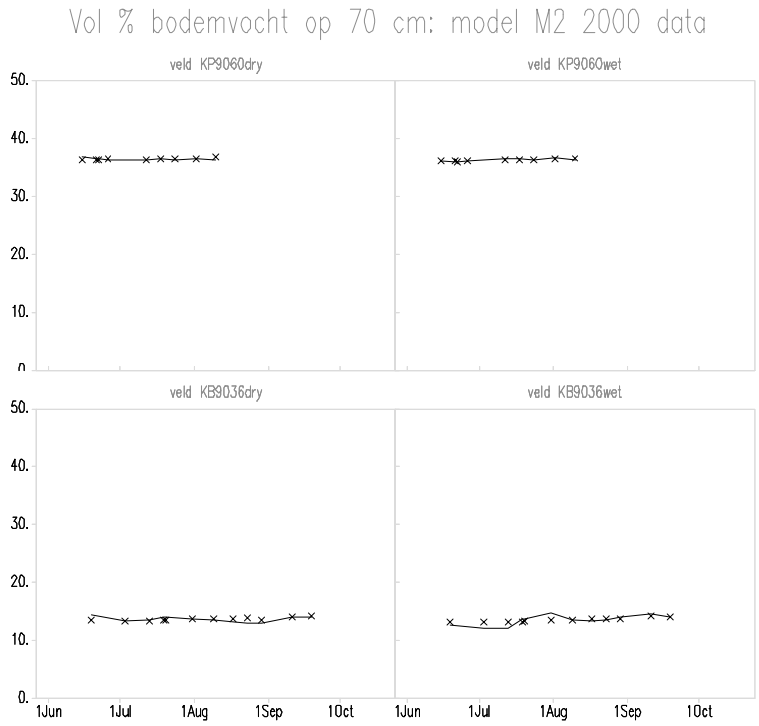
Figuur IV-2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 8, 9, 21 en 18.



Figuur IV-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 6, 7, 10 en 9.



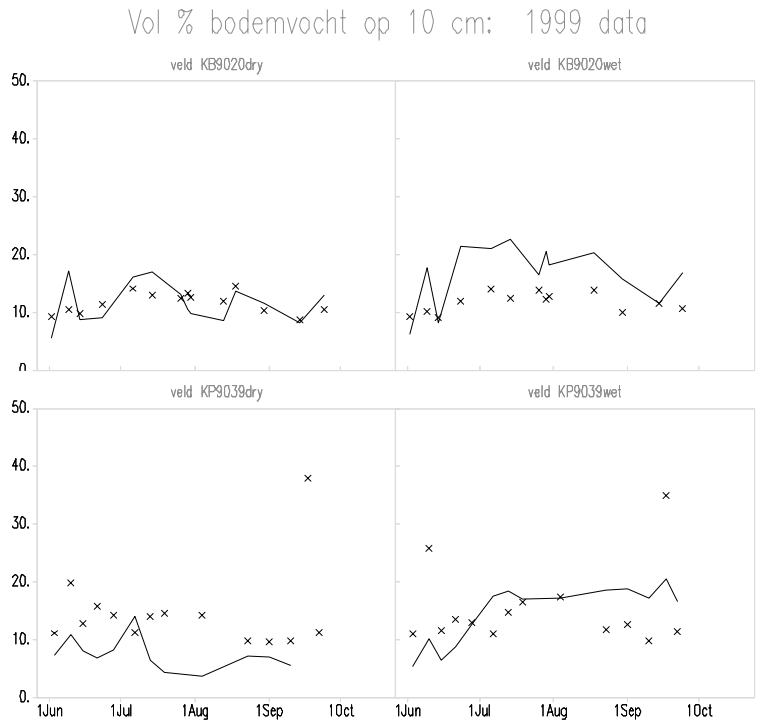
Figuur IV-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 1.2, 1.4, 11 en 10.



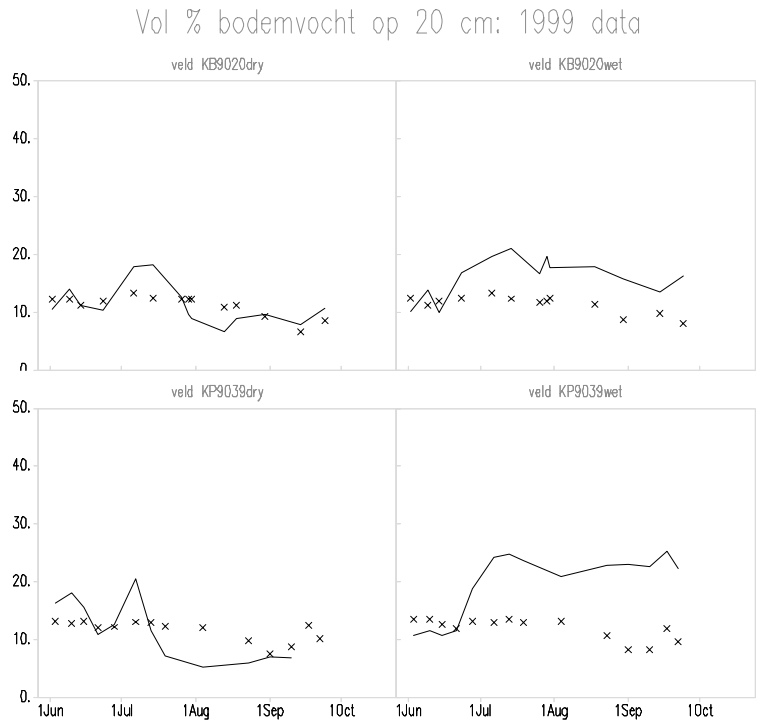
Figuur IV-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) op grond van calibratie model M2. De procentuele schattingsfouten bedragen respectievelijk 0.7, 0.4, 3 en 5.

Bijlage V.

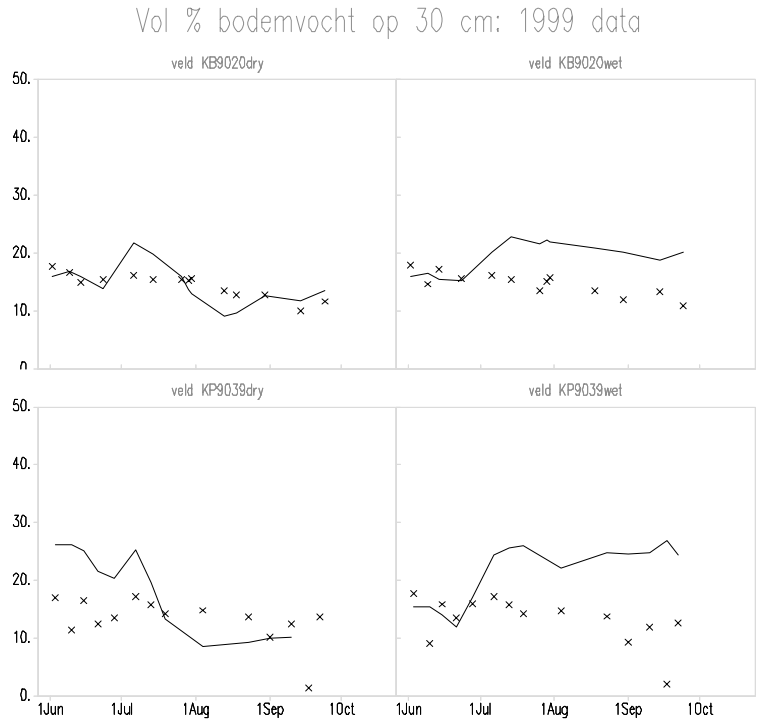
Illustratie van de instabiliteit van veldspecifieke calibratiefuncties. 1999 data met calibratiefunctie veld KB9020dry als voorspeller voor de andere velden



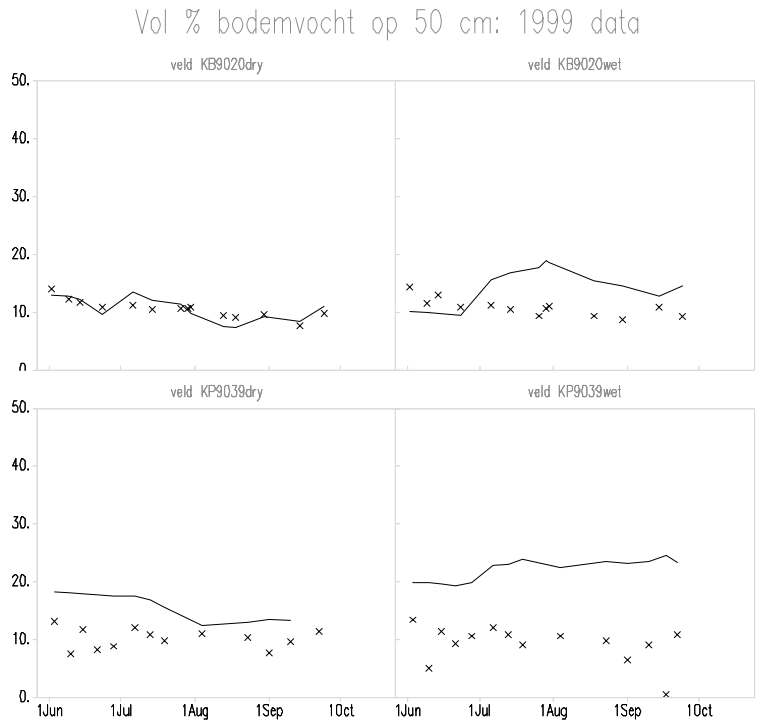
Figuur V-1. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 25, 38, 81en 50.



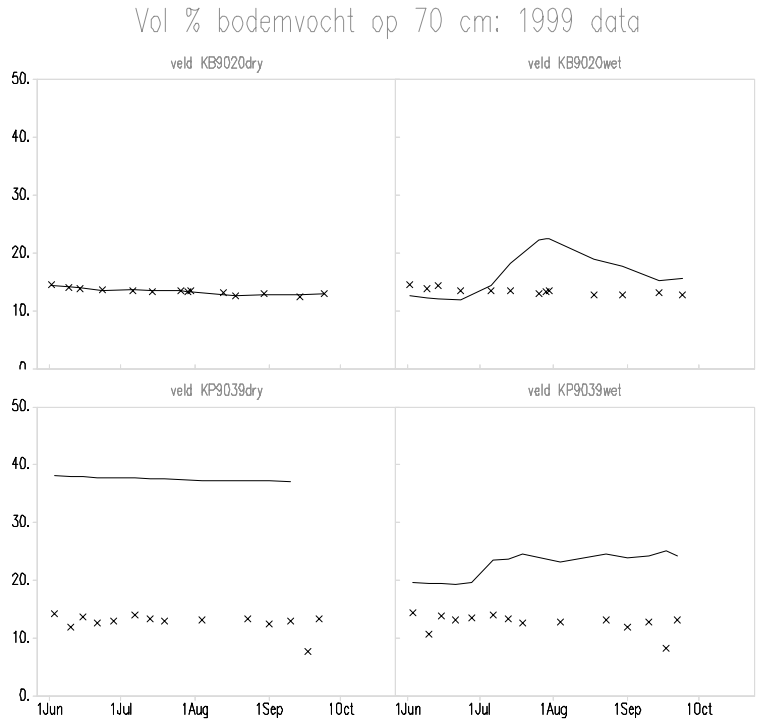
Figuur V-2. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 25, 36, 33 en 51.



Figuur V-3. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 19, 31, 39 en 51.



Figuur V-4. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 12, 38, 38 en 61.



Figuur V-5. Waargenomen vocht % profielen en voorspelde waarden (x) onder calibratie functie veld KB902dry. De procentuele voorspelfouten bedragen respectievelijk 1, 38, 63 en 46.