

2000.01.11
28.01.00

**Toetsing van de beregeningsplanner met het hydrologische
model SWAP2.0.**

Onderzoeksresultaten 1997

**W.J.M. de Groot
M.J.D. Hack-ten Broeke**

BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen

Rapport 661

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1999

LSM 9713857

REFERAAT

Groot, W.J.M., de en M.J.D. Hack-ten Broeke, 1999. *Toetsing van de beregeningsplanner met het hydrologische model SWAP2.0. Onderzoekresultaten 1997*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 661. 80 blz. 10 tab.; 7 ref.; 4 aanh.

Dit rapport beschrijft de resultaten van hydrologische berekeningen voor het project 'Beregenen op Maat' in Noord-Brabant voor het jaar 1997. Het doel was beoordeling van de bruikbaarheid van de beregeningsplanner met verbeterde profielkeuze, onderzoeken van de potentiële bruikbaarheid van grondmonsteranalyse in combinatie met vertaalfuncties voor bodemfysische karakteristieken en berekenen van de potentiële waterbesparingmogelijkheden door beregeningsplanning met SWAP2.0. Vergelijking van de door beregeningsplanner en het hydrologische model SWAP2.0 berekende vochtinhoud van de wortelzone met de metingen op perceelsniveau gaven aan dat er in een beperkt aantal gevallen de vochtinhoud voldoende beschreven wordt. Vergelijking op perceelsniveau bleek achteraf weinig zinvol vanwege de schaalverschillen van de methoden. Grondmonsteranalyse in combinatie met vertaalfuncties leverde geen verbetering op van de vochtboekhouding. Op het niveau van meetlokaties wordt voor 1997 op grasland een potentiële waterbesparing met SWAP2.0 berekend van 63% (29mm/ha). Op maïsland neemt het berekende watergebruik echter met 118% (39 mm/ha) toe.

Trefwoorden: berekening, bodemfysische karakteristiek, maïsland, grasland, profielopbouw, drukhoogte, vochtgehalte en watergebruik

ISSN 0927-4499

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 7-55 00 over te maken op banknummer 26 70 54 612 ten name van DLO Staring Centrum, Wageningen, onder vermelding van Rapport 661. De bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 1999 DLO Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO),
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Projectnummer 86069

[Rapport 661/IS/06-99]

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Werkwijze	15
2.1 Invoergegevens en veldwaarnemingen	15
2.1.1 Bodemkundige invoer voor de planner	15
2.1.2 Veldwaarnemingen waterhuishouding	16
2.2 Methode van grondmonsteranalyse en gebruik vertaalfunctie	16
2.3 Vergelijking van de resultaten van de beregeningsplanner met SWAP2.0 op perceelsniveau in 1997	18
2.4 Calibratie van SWAP2.0 op meetlokaties	18
2.5 Berekening in de verschillende scenario's	19
3 Resultaten	21
3.1 Berekeningen met SWAP 2.0 in relatie tot resultaten van de beregeningsplanner en waarnemingen op perceelsniveau	21
3.1.1 Grasland	21
3.1.2 Maïspan	24
3.2 Berekeningen beregeningsvarianten op het niveau van meetlokaties	26
3.2.1 Calibratie	26
3.2.2 Resultaten grasland	27
3.2.3 Resultaten maïspan	29
4 Conclusies en Discussie	33
4.1 Conclusies vergelijking SWAP2.0 met beregeningsplanner en met methode grondmonsteranalyse op perceelsniveau	33
4.2 Conclusies berekeningen beregeningsvarianten op niveau van meetlokaties	34
4.3 Algemene conclusies	34
4.4 Discussie en aanbevelingen	35
Literatuur	37

Aanhangsels

1 Waterretentiekenmerken van de bovengrond op basis van metingen op de onderzoekspcelen vergeleken met de kenmerken van de gekozen bodemfysische bouwsteen vóór en ná calibratie.	39
2 Profielbeschrijvingen van de representatieve profielen voor de beregeningsplanner en SWAP2.0 met gebruikte analyseresultaten voor de vertaalfunctie naar bodemfysische kenmerken	47
3 Profielbeschrijvingen vóór en ná calibratie voor SWAP2.0. Profielbeschrijvingen vóór calibratie komen overeen met de profielen zoals gebruikt voor de beregeningsplanner	55

4	Vochtgehalten en drukhoogten vóór en ná calibratie vergeleken met metingen op meetlokaties in maïs- en graslandpercelen	57
---	---	----

Woord vooraf

Dit rapport beschrijft de resultaten van onderzoek van hydrologische berekeningen met SWAP2.0 voor het project 'Beregenen op Maat' voor het jaar 1997. Dit project werd uitgevoerd door PR (Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden), PAV (Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt) en SC-DLO (DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied). De projectleiding was in handen van het PR. Het BLGG (Bodemkundig Laboratorium voor Grond en Gewasonderzoek) heeft grondmonsteranalyses uitgevoerd. De resultaten en de rapportage zijn besproken in de onderzoeksgroep, die als volgt was samengesteld.

W. Luten	(PR, voorzitter)
M.H.A. de Haan	(PR, secretaris)
J. Alblas	(PAV)
J. Boomaerts	(PR)
H. Everts	(PR)
W.J.M. de Groot	(SC-DLO)
M.J.D. Hack-ten Broeke	(SC-DLO)
I.E. Hoving	(PR)
J.M.A. Nijssen	(PR)
W. Nugteren	(Opticrop BV)
A.P. Philipsen	(PR)
R. Ruijtenberg	(Provincie Noord- Brabant)
P.J.M. Snijders	(PR)

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van hydrologische berekeningen voor het project 'Beregenen op Maat' in Noord-Brabant voor het jaar 1997.

Voor het onderzoeksgedeelte waar SC-DLO zich op heeft gericht zijn drie doelstellingen geformuleerd:

- a) beoordeling van de bruikbaarheid van de beregeningsplanner op perceelsniveau bij een verbeterde keuze van bodemkundige profielbeschrijvingen,
- b) beoordeling van de potentiële bruikbaarheid voor het verkrijgen van bodemkundige gegevens via vertaalfuncties voor het berekenen van bodemfysische karakteristieken uit textuurgegevens en daarvoor gebruikmakend van grondmonsteranalyse op perceelsniveau,
- c) beoordeling van de potentiële waterbesparingsmogelijkheden door de toepassing van de beregeningsplanning berekend met SWAP2.0 op het niveau van meetlokaties.

Negen bedrijven in de provincie Noord-Brabant zijn in 1997 betrokken geweest bij het onderzoek naar de bruikbaarheid van de beregeningsplanner. Eén bedrijf viel gedurende het groeiseizoen vanwege bedrijfsomstandigheden af. Tijdens het groeiseizoen is gebruik gemaakt van de PC-versie van de beregeningsplanner om de juiste hoeveelheid en tijdstip van beregening vast te stellen. Op drie percelen per bedrijf zijn vochtmonsters genomen om de door de beregeningsplanner berekende vochtinhoud van de wortelzone te kunnen toetsen. Daarnaast is de vochtinhoud, zoals de beregeningsplanner die berekent, vergeleken met resultaten van het meer gedetailleerde model SWAP2.0 (Van Dam et al., 1997) om de bruikbaarheid van de beregeningsplanner na te gaan.

In 1996 bleken met name de bodemkundige invoergegevens voor de beregeningsplanner een gevoelige schakel in de gebruiksmogelijkheden van de beregeningsplanner te vormen. De keuze van de juiste profielopbouw was van cruciaal belang voor het met succes toepassen van de beregeningsplanner. De bodeminventarisaties van de zeven bedrijven die ook in het eerste onderzoeksjaar (1996) meededen (De Groot en Hack-ten Broeke, 1997) zijn gebruikt om tot een verbeterde keuze van representatieve profielen voor de beregeningsplanner te komen. Daartoe zijn alle profielbeschrijvingen van een beregeningseenheid (een aantal percelen met dezelfde beregeningsbehoefte) met elkaar vergeleken op dikte van de wortelzone, keuze van dikte van bodemlagen en bodemfysische bouwstenen van de Staringreeks. De meest representatieve beschrijving is vervolgens gekozen. Voor twee nieuwe bedrijven zijn volgens een aangepast protocol (De Groot en Everts, 1997) inventarisaties verricht.

In 1997 is getracht met verbeterde profielkeuze van bodemkundige invoergegevens de beregeningsplanner nauwkeuriger te kunnen laten functioneren. De resultaten wijzen niet op een behoorlijke verbetering. De beregeningsplanner (versie 1.0) is ondanks verbetering van de keuze van die bodemkundige uitgangsgegevens op een

beperkt aantal percelen in staat de vochtinhoud van de wortelzone zodanig te berekenen dat beregeningsplanning voldoende mogelijk is.

De overeenkomst tussen de rekenresultaten in 1997 van de beregeningsplanner met het rekenmodel SWAP2.0 bij gebruikmaking van dezelfde invoergegevens blijkt ook beperkt. Voor geen enkel perceel geldt, dat met de beregeningsplanner én SWAP2.0 voldoende rekenresultaten werden geboekt. De resultaten op twee maïspercelen vormen twijfelgevallen. In die gevallen was alleen het door SWAP2.0 berekende verschil in vochtinhoud te groot. Beoordeling van de bruikbaarheid van de beregeningsplanner met SWAP2.0-berekeningen op perceelsniveau heeft weinig zin en dit geldt dus ook voor de vergelijking van de perceelsgemiddelde vochtinhoud berekend met de beregeningsplanner en berekeningen met SWAP2.0. . SWAP2.0 berekent de vochtuishouding op puntniveau (meetplekken) en niet zozeer op perceelsniveau, omdat dan ruimtelijke (bodem-)variabiliteit een grote rol gaat spelen. SWAP2.0 is nogal gevoelig voor de juistheid van de bodemfysische karakteristieken, zoals ook later bleek uit de calibratie. De beregeningsplanner volgt een relatief eenvoudiger vochtboekhouding en is daarom minder of anders gevoelig voor deze gegevens.

Ter verbetering van het gebruik van de beregeningsplanner is calibratie op basis van vochtmetingen als onderdeel van de opstartprocedure een mogelijkheid om nader te onderzoeken. Calibratie van de basisgegevens vereist wel de nodige kennis van het systeem. Nugteren (1999) geeft aan dat enkele wijzigingen in de beregeningsplanner in 1998 ook tot verbeteringen hebben geleid. Boomaerts en Hoving (1999) komen tot de conclusie dat de beregeningsplanner in 1998 op 19 van de 28 percelen redelijk tot goed heeft voldaan.

Op de onderzoeksbedrijven zijn in het voorjaar op de lokaties van de representatieve bodemprofielen voor de beregeningsplanner door BLGG grondmonsters genomen en profielen beschreven om textuur- en organische stofanalyses te kunnen uitvoeren. Met vertaalfuncties (Wösten et al., 1995) zijn uit de gemeten textuur en organischestofgehalten bodemfysische karakteristieken afgeleid. Deze karakteristieken zijn gebruikt om in eerste instantie met het model SWAP2.0 na te gaan of dit verbetering oplevert van de beschrijving van de waterhuishouding op perceelsniveau. Bij positieve resultaten zou implementatie in de beregeningsplanner zinvol zijn. Deze extra grondmonsteranalyse in combinatie met vertaalfuncties voor de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken leverden nauwelijks of geen verbetering van de beregeningsplanning op; het is desondanks wel aan te bevelen om bij de bodeminventarisatie regelmatig grondmonsteranalyse te gebruiken. Hierdoor kan de keuze van de bouwstenen van de Staringreeks verbeterd worden.

Om met SWAP2.0 goede voorspellingen te doen over het gebruik van water bij andere beregeningsvarianten (scenario's) dient het model de werkelijkheid zo goed mogelijk te voorspellen. Calibratie van SWAP2.0 op basis van meetgegevens van de meetplekken is nodig voordat vervolgberekeningen (scenario's) mogelijk zijn. Op drie percelen per bedrijf zijn net als in 1996 meetplekken ingericht om metingen te verrichten aan de vochtuishouding (De Groot en Hack-ten Broeke, 1997). Het PR heeft daarvoor wekelijks metingen verricht aan grondwaterstanden en aan

vochtgehalten en drukhoogten op 15 en 25 cm – mv met behulp van TDR-sondes en tensiometers. De meetlokaties kwamen overeen met de lokaties van de representatieve profielbeschrijvingen voor de beregeningsplanner. Gemeten drukhoogten en vochtgehalten op de meetplekken zijn vergeleken met de resultaten van de berekeningen met SWAP2.0 voor de praktijk van 1997. Bij de calibratie is gebruik gemaakt van de calibratie van 1996 (slechts enkele meetplekken waren hetzelfde), de grondmonsteranalyses van BLGG, spreiding in de gemeten worteldieptes op perceelsniveau en kleine afwijkingen in bouwsteenkeuze. Deze afwijkingen zijn een gevolg van afwijkende bodemeigenschappen ten opzichte van die van de gemiddelde bouwsteen en op basis van de geschatte textuur is vervolgens de representatieve profielopbouw zoals die voor de beregeningsplanner is gebruikt aangepast..

De vergelijking van de situatie gedurende het groeiseizoen in 1997 met andere beregeningsvarianten geeft meer inzicht in de bandbreedte van waterbesparingsmogelijkheden. De volgende varianten zijn berekend:

- Geen berekening
- Berekening volgens de criteria van de beregeningsplanner
- Berekening volgens de praktijk +10 mm per gift.

Theoretisch kan gebruik van de beregeningsplanning bij grasland in 1997 leiden tot een verdere waterbesparing van 63% (gemiddeld 29 mm/ha, variërend van -11 mm tot +103 mm/ha), terwijl op maïsland het watergebruik juist met 164% toeneemt (gemiddeld 54mm/ha; variërend van 0 tot 114 mm/ha) 39mm/ha; spreiding 0 tot 101 mm/ha) Als september niet in beschouwing wordt genomen is het verschil voor maïsland 118%. De bruto maïsproductie kan dan met maximaal 9% (1,8 ton ds/ha) toenemen. De procentuele waterbesparing op natte en droge bedrijven verschilt weinig. Op grasland was op nattere bedrijven 14 mm/ha besparing mogelijk en op drogere bedrijven 57 mm/ha. Op maïsland kon dit verschil niet worden geconstateerd. Het berekende theoretisch watergebruik geldt onder de voorwaarden dat op alle percelen exact volgens de criteria van de beregeningsplanner wordt berekend en dat de hydrologie net zo nauwkeurig wordt beschreven.

Ten opzichte van de praktijk in 1997, maar met 10 mm grotere beregeningsgiften (=beregeningvariant 'als voorheen') bedraagt de waterbesparing door exact beregenen volgens de criteria van de beregeningsplanner op grasland 73% (47 mm/ha) en bedraagt het extra watergebruik op maïsland 98% (43mm/ha).

Vergeleken met de resultaten van de studie naar verschillende beregeningsvarianten in 1996 wijken deze conclusies weinig af. Op grasland is waterbesparing mogelijk en op maïsland niet.

Het met SWAP2.0 berekende watergebruik volgens de criteria van de beregeningsplanner betekent voor grasland een potentiële waterbesparing en voor maïsland juist een hoger watergebruik. De betrouwbaarheid van deze uitkomst wordt vooral bepaald door de kwaliteit van de calibratie op de metingen van de meetplekken. Op grasland bedroeg de verklaarde variantie van de berekende ten opzichte van de gemeten vochtgehalten in de wortelzone gemiddeld 57% en op maïsland 84%. De onzekerheid

rond de uitspraak van het percentage verandering van het watergebruik lijkt bij grasland daarmee groter dan voor maïsland. De onzekerheid over de uitspraak van waterbesparing wordt overigens niet alleen bepaald door de berekeningswijze van de vochtgehalten, maar ook door andere parameters. Het aangeven van marges is pas goed mogelijk als er met het model SWAP2.0 een onzekerheidsanalyse is gedaan. De onzekerheid rond de uitspraak over waterbesparing wordt ook bepaald door de nauwkeurigheid waarmee veldwaarnemingen zijn gedaan. Afwijkingen in neerslagmetingen, verdamping, metingen van de grondwaterstand, drukhoogten en vochtgehalten kunnen ook een belangrijke rol spelen.

1 Inleiding

Dit rapport beschrijft de resultaten van hydrologische berekeningen voor het project 'Beregenen op Maat' in Noord-Brabant voor het jaar 1997. In 1996 bleken met name de bodemkundige invoergegevens voor de beregeningsplanner een gevoelige schakel in de gebruiksmogelijkheden van de beregeningsplanner.

Bij het onderzoek in 1996 zijn metingen gebruikt om het model SWAP 2.0 te kalibreren (De Groot en Hack-ten Broeke, 1997). De belangrijkste kalibratieparameters waren keuze van de bodemfysische bouwstenen van de Staringreeks en bewortelingsdiepte. Hierdoor werden de modelresultaten van SWAP2.0 beter, maar de vergelijkbaarheid met de toepassing van de beregeningsplanner in 1996, waarbij gebruik was gemaakt van de oorspronkelijke gegevens verviel ermee. In 1996 zijn representatieve bodemprofielen niet altijd nauwkeurig genoeg gekozen en is uitgegaan van de geschatte bewortelbare diepte. De plaatsen voor de meetplekken (met grondwaterstandsbuizen en andere metingen van de vochthuishouding) werden vaak op een andere lokatie gekozen. De verwachting voor 1997 was dat wanneer alle metingen van één representatieve plek afkomstig zouden zijn, beregeningsplanner en berekeningen met SWAP2.0 goed vergelijkbaar zijn. Daarom is in 1997 vooraf opnieuw gekeken naar de te gebruiken representatieve profielopbouw voor elk perceel en zijn de keuze van meetlokaties en berekeningen van zowel de planner als SWAP2.0 daarop afgestemd.

Voor nauwkeuriger inschatting van de bodemfysische karakteristieken is voorgesteld om de mogelijkheid van grondmonsteranalyse in combinatie met bodemfysische vertaalfuncties te onderzoeken. De vertaalfuncties zijn rekenregels waarmee van eenvoudig te meten bodemkenmerken zoals textuur en organische stofgehalte bodemfysische karakteristieken worden berekend.

Naast een vergelijking van de resultaten van de beregeningsplanner in 1997 met SWAP2.0 (zonder en met grondmonsteranalyse) blijft het de vraag wat de besparingsmogelijkheden zijn voor het watergebruik bij berekening. Daarvoor kan het model SWAP2.0 na calibratie op de meetgegevens van de meetlokaties worden gebruikt (vergelijkbaar met 1996). Calibratie voor de simulaties op meetplekken bleek nodig, omdat beworteling op perceelsniveau is gemeten en omdat de beschreven profielopbouw op basis van schattingen is uitgevoerd en het bodemfysisch gedrag kan afwijken van dat van de gekozen bouwsteen, zoals ook is geconstateerd in 1996 (De Groot en Hack-ten Broeke, 1997).

Voor het onderzoeksgedeelte waar het SC-DLO zich op heeft gericht zijn zodoende drie doelstellingen geformuleerd:

- d) beoordeling van de bruikbaarheid van de beregeningsplanner (versie 1.0) wanneer een betere keuze van bodemkundige profielbeschrijvingen wordt gedaan,

- e) beoordeling van de potentiële bruikbaarheid van vertaalfuncties voor het berekenen van bodemfysische karakteristieken uit textuurgegevens en daarvoor gebruikmakend van grondmonsteranalyse,
- f) beoordeling van de potentiële waterbesparingsmogelijkheden door de toepassing van de beregeningsplanning berekend met SWAP2.0.

In het tweede hoofdstuk wordt de werkwijze besproken. Daarin komen metingen aan de orde en worden de rekenmethoden toegelicht. In hoofdstuk 3 zijn de resultaten van de berekeningen vermeld. Allereerst zijn dat de resultaten van berekeningen volgens de werkelijk uitgevoerde berekening van 1997 vergeleken met de beregeningsplanner en de metingen op perceelsniveau. Daarna volgen de rekenresultaten van berekeningen met SWAP2.0 voor scenario's na calibratie op puntniveau.

2 Werkwijze

Negen bedrijven in de provincie Noord-Brabant zijn in 1997 betrokken geweest bij het onderzoek naar de bruikbaarheid van de beregeningsplanner. Het bedrijf van Mulders viel gedurende het groeiseizoen vanwege bedrijfsomstandigheden af. Tijdens het groeiseizoen is gebruik gemaakt van de PC-versie van de beregeningsplanner (versie 1.0) om de juiste hoeveelheid en tijdstip van beregening vast te stellen. Op drie percelen per bedrijf zijn intensief metingen verricht om de door de beregeningsplanner berekende vochtinhoud te kunnen toetsen. Daarnaast is de hydrologie, zoals de beregeningsplanner die berekent, vergeleken met resultaten van het meer gedetailleerde model SWAP2.0 (Van Dam et al, 1997) om na te gaan of berekende vochtgehalten en beregeningsadviezen daarmee in overeenstemming zijn. In dit hoofdstuk wordt eerst kort ingegaan op de invoergegevens voor de beregeningsplanner en de waarnemingen in 1997. Daarna wordt de methode voor mogelijke verbetering van de bodemkundige invoergegevens met behulp van grondmonsteranalyse en vertaalfuncties toegelicht en de verschillende beregeningsvarianten besproken.

2.1 Invoergegevens en veldwaarnemingen

2.1.1 Bodemkundige invoer voor de planner

De bodeminventarisaties van de zeven bedrijven die ook in het eerste onderzoeksjaar (1996) meededen (de Groot en Hack -ten Broeke, 1997), zijn gebruikt om tot een verbeterde keuze van representatieve profielen voor de beregeningsplanner te komen. Daartoe zijn alle profielbeschrijvingen van een beregeningseenheid (een aantal percelen met dezelfde beregeningsbehoefte) met elkaar vergeleken op dikte van de wortelzone, keuze van dikte van bodemlagen en bodemfysische bouwstenen van de Staringreeks (Wösten et al., 1994). De meest representatieve beschrijving is vervolgens gekozen. Later bleek dat het maïsperceel van Smulders op een geheel nieuwe lokatie kwam te liggen. Dit is niet meer tijdig ontdekt, waardoor de beregeningsplanner is gebruikt met een verkeerde profielopbouw.

Voor twee nieuwe bedrijven zijn volgens een aangepast protocol (De Groot en Everts, 1997) inventarisaties verricht. De aanpassing in dit protocol voor bodeminventarisatie voor de beregeningsplanner betreft met name de grotere bijdrage van de boer met zijn kennis van de droogtegevoeligheid van de percelen, waardoor sneller tot indeling van percelen kan worden overgegaan. Daarna werd op representatieve plekken een profielbeschrijving gemaakt die geldend is voor één of meer percelen met dezelfde droogtegevoeligheid. De beworteling op grasland is vervolgens gemeten en die op maïsland is vastgesteld op basis van bewortelbaarheid van de bodem.

2.1.2 Veldwaarnemingen waterhuishouding

Op drie percelen per bedrijf zijn net als in 1996 metingen verricht aan de vochthuishouding (De Groot en Hack -ten Broeke, 1997). Het PR heeft daarvoor wekelijks metingen verricht aan grondwaterstanden en aan vochtgehalten en drukhoogten op 15 en 25 cm – mv met behulp van TDR-sondes en tensiometers. De grondwaterstanden worden ook gebruikt voor de beregeningsplanner. Door de overige metingen ontstond inzicht in de waterhuishouding op meetlokatie-niveau. In aanhangsel 1 zijn per lokatie de gemeten vochtgehalten en drukhoogten tegen elkaar uitgezet in pF-curves. In de figuren zijn ook pF-curves van de gekozen bodemfysische bouwsteen van de Staringreeks (Wösten et al, 1986) voor de bovengrond opgenomen om een idee te krijgen over de afwijkingen die kunnen ontstaan. Daarnaast is de pF-curve van de bouwsteen van de bovengrond ná calibratie (indien die afweek) weergegeven.

Vervolgens zijn verstoorde grondmonsters van de wortelzone genomen in elk onderzoeksperceel (mengmonster van 12 steken), waarvan na wegen en drogen ook het vochtgehalte kon worden bepaald. Door het steken met de gutsboor van een groot aantal monsters en dit te mengen ontstond een gemiddelde van het hele perceel. Voor de wekelijkse metingen van drukhoogten en vochtgehalten zijn de meetplekken uitgekozen op dezelfde lokaties als waar de representatieve profielen voor de beregeningsplanner zijn beschreven. Dit betekent, dat een aantal meetplekken ten opzichte van 1996 verlegd zijn. In onderstaand overzicht is aangegeven in welke percelen de meetplekken lagen en of de meetplekken verplaatst zijn. Dit betreft alleen grasland, omdat voor maïsland alle meetplekken gewijzigd zijn, doordat de meetinstrumenten in de herfst verwijderd zijn. Uiteindelijk zijn er maar vijf plekken ongewijzigd (waarvan er drie overblijven).

Tabel 1 Overzicht van de graslandpercelen van de bedrijven die in 1996 en 1997 aan het onderzoek hebben meegedaan. Aangegeven is of de meetplek binnen een perceel sinds 1996 verplaatst is

Bedrijf/perceel	1996	1997
Janssen	2, 11	2(verplaatst), 13
School	1, 5	1 (verplaatst), 4
v. Genugten	4, 7	4, 8
Smulders	11, 18	10, 20
Mulders	7, 16	7, 16
Keijzers	5, 10	5, 10

* wegens bedrijfsomstandigheden beperkt gevolgd.

2.2 Methode van grondmonsteranalyse en gebruik vertaalfunctie

Tot nu toe werd voor de fysische transportkarakteristieken van de bodem, die de doorlatendheid en de vochtretentie beschrijven, gebruik gemaakt van de Staringreeks. Dit is een reeks gemiddelde karakteristieken, bepaald door middeling van gemeten karakteristieken die tot een bepaalde textuur- en organische stofklasse behoren. Een bodemprofiel kan worden beschreven door de classificatie van de bodemlagen weer te geven in textuur- en organische stofklassen. Door deze bodemlagen op basis van deze kenmerken te koppelen aan bouwstenen van de Staringreeks kan een fysisch bodemprofiel worden opgebouwd. Het nadeel van deze werkwijze en de gevolgde

classificatie is het gebruik van gemiddelde karakteristieken. Hierdoor gaat de heterogeniteit die in de praktijk wordt waargenomen, verloren. Om hier aan tegemoet te komen is het gebruik van vertaalfuncties voor de bodemfysische karakteristieken uit de gemeten textuur en organischestofgehalten voorgesteld.

De door Van Genuchten (1980) ontwikkelde analytische vergelijkingen om respectievelijk de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek te beschrijven zien er als volgt uit:

Empirische vergelijking voor de waterretentiekarakteristiek:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^{1-1/n}}$$

Empirische vergelijking voor de doorlatendkarakteristiek:

$$K(h) = \frac{K_s ((1 + |\alpha h|^n)^{1-1/n} - |\alpha h|^{n-1})^2}{(1 + |\alpha h|^n)^{n(1-1/n)(l+2)}}$$

θ = vochtgehalte

θ_r = residuair vochtgehalte bij drukhoogte $h = -1 \cdot 10^6$ cm

θ_s = vochtgehalte bij verzadiging

h = drukhoogte in cm

K = doorlatendheid (cm/dag)

K_s = doorlatendheid bij verzadiging (cm/dag)

α , l en n zijn parameters die de specifieke vorm van de karakteristieken bepalen.

Er zijn vertaalfuncties ontwikkeld om voor de meest voorkomende grondsoorten uit textuurgegevens (lutumgehalte, leemgehalte en mediaan van de zandfractie) en organischestofgehalte de waarden voor de zes parameters (θ_r , θ_s , K_s , α , l en n) van de twee karakteristieken te berekenen (Wösten et al., 1994). Hiervoor zijn dezelfde gemeten karakteristieken gebruikt als voor de vaststelling van de gemiddelde karakteristieken per bouwsteen (de Staringreeks). De breedte van het meetspectrum is daardoor niet verruimd, maar er wordt meer rekening gehouden met de variatie in textuur- en organischestofgehalte.

Op de onderzoeksbedrijven zijn in het voorjaar profielbeschrijvingen gemaakt en grondmonsters genomen om textuur- en organischestofanalyses te kunnen uitvoeren. Door het beschrijven van de profielopbouw ontstond inzicht in de benodigde bemonstering voor de representatieve profielopbouw zoals die was gekozen voor de beregeningsplanner. Het was namelijk niet mogelijk exact hetzelfde punt als waar het representatieve profiel beschreven was weer te bezoeken.. Er is om praktische redenen van maximaal drie lagen per profiel een grondmonster genomen. Het Bodemkundig Laboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (BLGG) in Oosterbeek heeft de profielbeschrijvingen samen met SC-DLO uitgevoerd. BLGG heeft de analyses verricht. De monsters zijn genomen op plekken waar ook de representatieve profielen voor de beregeningsplanner zijn gekozen. Aangezien de profielen niet gelijktijdig zijn beschreven en de locatie van de eerste keer boring niet exact meer

bekend is, week de laagopbouw van de twee verschillende profielbeschrijvingen wel eens af. De laagopbouw van de oorspronkelijke profielbeschrijvingen is aangehouden om verschillen door monsternamen op een iets afwijkende locatie te elimineren. In aanhangsel 2 zijn de profielbeschrijvingen met de schattingen en metingen voor de textuur en organischestofgehalten van de verschillende meetplekken gegeven. Voor de berekeningen met SWAP2.0 in de vergelijking met de beregeningsplanner is de oorspronkelijke laagopbouw aangehouden.

Voor het onderzoek naar het gebruik van de vertaalfuncties op basis van grondmonsteranalyse is alleen gekeken naar het effect ervan bij gebruik in het simulatiemodel SWAP2.0. Bij positieve resultaten wordt implementatie in de beregeningsplanner zinvol.

2.3 Vergelijking van de resultaten van de beregeningsplanner met SWAP2.0 op perceelsniveau in 1997

Met het simulatiemodel SWAP2.0 zijn in eerste instantie berekeningen uitgevoerd die de hydrologische situatie gedurende het groeiseizoen van 1997 zoveel mogelijk nabootsen. Daarbij is uitgegaan van dezelfde bodemkundige gegevens als die de beregeningsplanner gebruikte. Hierdoor werd het mogelijk om de resultaten van beide rekenmethoden direct onderling te vergelijken. Daarnaast kon een vergelijking worden gemaakt met vochtmetingen. Vochtgehalten van grondmonsters (met een gutsboor genomen) zijn gebruikt om de vochtinhoud van de wortelzone te berekenen. Deze vochtinhouden zijn daarna zowel met SWAP2.0 en met de berekeningen van de beregeningsplanner vergeleken. Met SWAP2.0 is ook de situatie gedurende het groeiseizoen van 1997 doorgerekend op basis van de bodemkundige gegevens uit de grondmonsteranalyse in combinatie met vertaalfuncties. Hierdoor is vergelijking mogelijk met de methode van de bouwstenen van de Staringreeks.

2.4 Calibratie van SWAP2.0 op meetlocaties

Om met SWAP2.0 goede voorspellingen te doen over het gebruik van water bij andere beregeningsvarianten (scenario's) dient het model de werkelijkheid zo goed mogelijk te voorspellen. SWAP2.0 berekent in principe in verticale richting en is zodoende eigenlijk alleen vergelijkbaar met metingen op puntniveau (meetplekken) en niet zozeer met perceelsniveau, omdat dan ruimtelijke (bodem-)variabiliteit een grote rol gaat spelen. Calibratie van SWAP2.0 met meetgegevens van de meetplekken is daarom nodig voordat vervolgberekeningen (scenario's) mogelijk zijn. Gemeten drukhoogten en vochtgehalten op de meetplekken zijn vergeleken met de resultaten van de berekeningen met SWAP2.0 voor de praktijk van 1997. Deze calibratie is vergelijkbaar met die voor 1996. Door gebruik te maken van onderstaande uitgangspunten is de representatieve profielopbouw zoals die voor de beregeningsplanner is gebruikt aangepast zodat de simulaties en metingen van drukhoogten en vochtgehalten op 15 en 25 cm – mv. zoveel mogelijk overeen komen. Achtereenvolgens is gebruik gemaakt van gegevens over:

- a) calibratie van 1996 (slechts 3 locaties op dezelfde plek)

- b) de grondmonsteranalyses van BLGG
- c) spreiding in de gemeten worteldieptes op perceelsniveau
- d) kleine afwijkingen in bouwsteenkeuze als gevolg van afwijkende eigenschappen ten opzichte van de gemiddelde bouwsteen op basis van de geschatte textuur.

2.5 Berekening in de verschillende scenario's

Op basis van de calibratie van SWAP2.0 op puntniveau is het mogelijk om voorspellingen te doen voor andere beregeningsvarianten (scenario's). De vergelijking van de situatie gedurende het groeiseizoen in 1997 met andere beregeningsvarianten geeft meer inzicht in de bandbreedte van waterbesparingsmogelijkheden. De volgende varianten zijn berekend:

- Geen berekening
- Berekening volgens de criteria van de beregeningsplanner
- Berekening volgens de praktijk van 1997 +10 mm extra per gift .

De laatste variant geeft een eerste indruk van de hoeveelheid berekening zoals voor introductie van de beregeningsplanner gebruikelijk was (uit enquêtegegevens 1996). Dit is conform de berekeningen voor beregeningsvarianten in 1996 (De Groot & Hack- ten Broeke, 1997). Er is daarbij nog geen gebruik gemaakt van de rekenregels afgeleid door Hoogland et al. (1998) uit berekening van de jaren 1994 en 1995.

3 Resultaten

3.1 Berekeningen met SWAP 2.0 in relatie tot resultaten van de beregeningsplanner en waarnemingen op perceelsniveau

De met het model SWAP2.0 berekende vochtinhoud van de wortelzone is evenals de met de beregeningsplanner berekende vochtinhoud vergeleken met de gemeten gemiddelde vochtinhoud die bepaald is met grondmonsters op perceelsniveau. Hiervoor is steeds uitgegaan van dezelfde bodemgegevens (zonder calibratie). Bij de berekeningen met SWAP2.0 zijn zowel de resultaten van gebruik van de bouwstenen van de Staringreeks (tabelwaarden) als de resultaten van het gebruik van grondmonsteranalyse in combinatie met vertaalfuncties betrokken.

3.1.1 Grasland

In tabel 2 zijn de gemiddelden van de absolute verschillen in vochtinhoud tussen de metingen en de verschillende berekeningen aangegeven. Daar waar deze verschillen met de metingen beperkt blijven tot maximaal 3 mm per dm beworteling worden de verschillen acceptabel geacht. Tevens is de mate van verband tussen gemeten en berekende vochtinhoud op graslandpercelen uitgedrukt in het percentage verklaarde variantie. De verklaarde variantie was significant, wanneer met de F-toets een minimale statistische waarde wordt overschreden. Als aan beide genoemde criteria wordt voldaan gaan we ervan uit dat de rekenmethode de metingen redelijk goed heeft benaderd. Deze situaties zijn in de tabel onderstreept aangegeven. Met de beregeningsplanner zijn op 5 percelen berekeningen in overeenstemming met perceelsgemiddelde metingen van de vochtinhoud, namelijk bij School op perceel 4, bij Van Genugten op perceel 4, bij Keijzers op perceel 5, bij Strous op perceel 1 en op Cranendonk op perceel 8. SWAP2.0 berekent alleen bij Keijzers op perceel 5 redelijk volgens de metingen. SWAP2.0 in combinatie met grondmonsteranalyse levert in geen enkel geval voldoende resultaten.

Voor geen enkel perceel geldt, dat met zowel de beregeningsplanner als SWAP2.0 voldoende rekenresultaten werden geboekt. Onderlinge vergelijking is dus niet erg zinvol.

Tabel 2 Berekende gemiddelde absolute verschillen in vochtinhoud van de wortelzone op graslandpercelen en het percentage verklaarde variantie van de rekenmethoden beregeningsplanner, SWAP2.0 met tabelgegevens en SWAP2.0 met grondmonsteranalyse in combinatie met een vertaalfunctie. Onderstreept zijn de gevallen, waarbij de verschillen acceptabel klein zijn én de verklaarde variantie groot genoeg

Bedrijf/ perceel	n (aantal waar- nemin- gen)	Gemiddeld verschil in vochtinhoud tussen metingen en berekeningen			Verklaarde variantie door de rekenmethoden van de metingen		
		Beregenings- planner (mm)	SWAP2.0 met bouw- stenen Staring- reeks (mm)	SWAP2.0 met grond- monsters (mm)	Beregenings- planner (%)	SWAP2.0 met bouw- stenen Staring- reeks (%)	SWAP2.0 met grond- monsters (%)
Janssen							
2	18	16	25	19	11	6	6
13	18	18	41	69	0	8	0
School							
1	18	9	11	11	9	28 ¹	36 ¹
4	16	<u>6</u>	25	25	<u>45¹</u>	38 ¹	44 ¹
v. Genugten							
4	18	<u>7</u>	15	24	<u>56¹</u>	79 ¹	76 ¹
8	18	12	14	12	69 ¹	55 ¹	57 ¹
Smulders							
10	17	16	17	21	23 ¹	0	34 ¹
20	17	22	23	26	2	7	13
Keijzers							
5	17	<u>6</u>	<u>7</u>	18	<u>64¹</u>	<u>79¹</u>	75 ¹
10	18	9	24	15	45 ¹	76 ¹	67 ¹
Strous							
1	18	<u>9</u>	18	21	69 ¹	68 ¹	86 ¹
3	17	10	25	26	28 ¹	18	22
Vink							
2	16	11	13	22	79 ¹	72 ¹	76 ¹
11	17	22	29	32	61 ¹	57 ¹	67 ¹
Cranendonk							
8	19	<u>5</u>	13		<u>55¹</u>	32 ¹	
24	18	23	30		47 ¹	30 ¹	
44	15(*2)	30	19		49 ¹	7	

¹ = significant

Voor het succesvol toepassen van de beregeningsplanner is het belangrijk om vooral in droge perioden de vermindering van de vochtvoorraad voldoende te volgen. Hoving et al. (1998) heeft twee perioden uit de zomer van 1997 genomen voor nader onderzoek, namelijk begin juni en de eerste drie weken van augustus. In tabel 3 is deze methode gebruikt om zowel voor de beregeningsplanner als SWAP2.0 (Staringreeks en grondmonsteranalyse) na te gaan of de uitdroging van de wortelzone voldoende wordt gevolgd. Hoving et al. (1998) gebruikte ook de maximale vochtvoorraad (Vmax) als criterium. Deze voorraad wordt echter in SWAP2.0 niet gebruikt en vergelijking hiermee heeft daarom weinig zin.

Tabel 3 Vergelijking van de verandering in de vochtvoorraad van de wortelzone in mm in twee droge perioden in juni en augustus bij graslandpercelen

Bedrijf	Perceel	Droge periode in juni			
		Meting (mm)	Beregenings-planner [†] (mm)	SWAP 2.0 [†] (mm)	Grond-monsters [†] (mm)
Janssen	2	16	<u>17</u>	<u>14</u>	7
	13	5	<u>4</u>	<u>4</u>	0
School	1	10	<u>5</u>	<u>11</u>	7
	4	16	3	6	6
v. Genugten	4	18	5	<u>13</u>	8
	8	19	6	4	5
Smulders	10	12	0	-1	1
	20	19	6	<u>13</u>	3
Keijzers	5	15	<u>15</u>	<u>11</u>	6
	10	12	0	<u>9</u>	<u>9</u>
Strous	1	17	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>15</u>
	3	11	<u>16</u>	25	15
Vink	2	10	2	<u>14</u>	9
	11	23	6	10	3
Cranendonk	8	29	16	<u>22</u>	
	24	19	10	<u>12</u>	
	44	21/37	7	1	

Bedrijf	Perceel	Droge periode in augustus			
		Meting (mm)	Beregenings-planner [†] (mm)	SWAP 2.0 [†] (mm)	Grond-monsters [†] (mm)
Janssen	2	13	<u>9</u>	<u>13</u>	4
	13	12	2	1	0
School	1	13	6	<u>9</u>	7
	4	8	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>7</u>
v. Genugten	4	21	-1	2	-1
	8	8	<u>11</u>	<u>9</u>	<u>6</u>
Smulders	10	22	5	9	10
	20	9	0	<u>6</u>	<u>5</u>
Keijzers	5	2	17	12	11
	10	1	<u>-1</u>	<u>0</u>	<u>-1</u>
Strous	1	3	<u>11</u>	<u>9</u>	<u>6</u>
	3	25	<u>18</u>	11	11
Vink	2	16	<u>18</u>	<u>16</u>	8
	11	28	<u>32</u>	<u>20</u>	8
Cranendonk	8	9	-1	-2	
	24	16	<u>20</u>	<u>13</u>	
	44	17/13	6	5	

[†] Onderstreept = verschil kleiner dan 3 mm per dm beworteling

In 15 van de 34 gevallen beschrijft de beregeningsplanner de uitdroging in de droge periode voldoende. SWAP2.0 beschrijft in 21 van de 34 gevallen deze uitdroging voldoende. Stellen we echter als criterium dat in beide droge perioden de vermindering van de vochtvoorraad in de wortelzone maximaal 3 mm per dm beworteling mag zijn, dan komen we tot het resultaat dat de beregeningsplanner slechts bij Janssen op perceel 2 en bij Strous op beide graslandpercelen in beide perioden voldoet. SWAP2.0 berekent voor beide perioden bij Janssen op perceel 2, School op perceel 1, Smulders perceel 20, Keijzers perceel 10, Strous perceel 1, Vink perceel 2 en Cranendonk perceel 24 redelijk volgens de metingen (7 van de 17 percelen).

Vergelijken we de resultaten van de beregeningsplanner voor deze droge perioden met die van tabel 2 dan blijkt dat alleen perceel 1 van Strous in beide gevallen aan de gestelde criteria voldoet. Bij de berekeningen met SWAP2.0 voldeed alleen perceel 1 van School in beide analyses voldoende hieraan. Op de overige percelen wordt de vochtvoorraad in droge perioden blijkbaar wel voldoende beschreven, maar bij de analyse van tabel 2 wordt ook naar de afwijkingen in natte perioden gekeken en daar voldeden berekeningen met de beregeningsplanner en SWAP2.0 op veel percelen niet aan. Toch is het wel belangrijk dat ook vernatting voldoende wordt gevolgd, want anders zullen de berekeningen in een er op volgende droge periode met een verkeerde begintoestand starten.

3.1.2 Maïsland

In tabel 4 zijn de gemiddelden van de absolute verschillen in vochtinhoud tussen de metingen en de verschillende berekeningen aangegeven. Daar waar deze verschillen met de metingen beperkt blijven tot maximaal 3mm per dm beworteling zijn de verschillen acceptabel geacht. Tevens is de mate van verband tussen gemeten en berekende vochtinhoud op graslandpercelen uitgedrukt in het percentage verklaarde variantie. De verklaarde variantie was significant, wanneer met de F-toets een minimale statistische waarde wordt overschreden. Als aan beide criteria wordt voldaan gaan we ervan uit dat de rekenmethode de metingen redelijk goed heeft benaderd. Deze situaties zijn in de tabel onderstreept. Met de beregeningsplanner komen van twee maïspcelen namelijk van Keijzers en Strous de berekeningen voldoende overeen met de metingen. SWAP2.0 berekende ook voor twee percelen de vochtinhoud van de wortelzone redelijk volgens de metingen. Dit was bij Van Genugten en Smulders. Ten opzichte van het gebruik van de bodemfysische bouwstenen van de Staringreeks levert grondmonsteranalyse in geen enkel geval een beter rekenresultaat op.

Voor geen enkel perceel geldt, dat met zowel de beregeningsplanner als SWAP2.0 het verloop van de metingen voldoende werd beschreven. Onderlinge vergelijking is dus niet erg zinvol.

Voor het succes van de beregeningsplanner is het belangrijk dat het de vermindering van de vochtvoorraad in droge perioden voldoende volgt. Voor maïs was met name het voldoende volgen in de droge periode van augustus cruciaal voor een goede beregeningsplanning. In tabel 5 is analoog aan Hoving et al. (1998) aangegeven in welke mate de uitdroging in de droge periode van augustus werd gevolgd.

Tabel 4 Berekende gemiddelde absolute verschillen in vochtinhoud van de wortelzone op maïslandpercelen en het percentage verklaarde variantie van de rekenmethoden beregeningsplanner, SWAP2.0 met tabelgegevens en SWAP2.0 met grondmonsteranalyse in combinatie met een vertaalfunctie. Onderstreept zijn de gevallen, waarbij de verschillen acceptabel klein zijn én de verklaarde variantie groot genoeg

Bedrijf	n (aantal waar- nemin- gen)	Gemiddeld verschil in vochtinhoud tussen metingen en berekeningen			Verklaarde variantie door de rekenmethode van de metingen		
		Berege- nings- planner (mm)	SWAP2.0 met bouw- stenen Staring- reeks (mm)	SWAP2.0 met grond- monsters (mm)	Beregenings- planner (%)	SWAP2.0 met bouw- stenen Staring- reeks (%)	SWAP2.0 met grond- monsters (%)
Janssen	13	29	21	24	4	26 ¹	38 ¹
School	13	23	30	49	34 ¹	51 ¹	54 ¹
v. Genugten	13	19	<u>11</u>	21	5	<u>87</u> ¹	77 ¹
Smulders	12	46	<u>9</u>	19	0	<u>88</u> ¹	81 ¹
Keijzers	13	<u>12</u>	23	21	<u>70</u> ¹	51 ¹	22
Strous	13	<u>8</u>	15	11	<u>48</u> ¹	65 ¹	59 ¹
Vink	13	29	19	26	<u>62</u> ¹	83 ¹	81 ¹
Cranendonk	11	18	39		28	0	

¹=significant

Tabel 5 Vergelijking van de verandering in de vochtvoorraad van de wortelzone in mm in de droge periode van augustus bij snijmaïspercelen

Bedrijf	Meting (mm)	Planner ¹ (mm)	SWAP2.0 ¹ (mm)	Grond-monsters ¹ (mm)
Janssen	7	<1	2	1
School	4	1	<u>3</u>	<u>2</u>
v. Genugten	6	3	9	<u>7</u>
Smulders	5	1	<u>5</u>	<u>5</u>
Keijzers	4	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>2</u>
Strous	3	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Vink	6	3	1	1
Cranendonk	7	2	1	

¹ Onderstreept = verschil kleiner dan 3 mm per dm beworteling.

De beregeningsplanner volgde op de maïspercelen van Keijzers en Strous de vermindering van de vochtvoorraad goed. SWAP2.0 met invoergegevens van de Staringreeks berekent op de percelen van School, Smulders, Keijzers en Strous de uitdroging ook goed. Grondmonsteranalyse leverde bij School, Van Genugten, Smulders, Keijzers en Strous een goed resultaat op. Alleen bij Van Genugten was dat een verbetering ten opzichte van SWAP2.0 met bodemfysische bouwstenen van de Staringreeks.

Vergelijken we de resultaten van deze droge periode-analyse met die van tabel 4 dan blijkt dat de percelen van Keijzers en Strous in beide gevallen met de beregeningsplanner goed voldoen. Vergelijking van de SWAP2.0 resultaten met die van tabel 4 levert een sterk verschillend beeld op. De percelen van School, Keijzers en Strous voldeden bij de droge periode-analyse wel, maar bij de kwantitatieve analyse niet. Omgekeerd waren de resultaten van Van Genugten bij de kwantitatieve analyse goed, terwijl het met de droge periode-analyse net niet voldeed. Op het eerste gezicht lijkt hetzelfde criterium, namelijk verschil in verandering van de vochtvoorraad gehanteerd te zijn. De analyse uit tabel 4 besloeg echter de hele groeiperiode. Hierdoor lijkt dit criterium strenger. Bij die analyse ging het om een gemiddeld verschil en bij de droge periodeanalyse om slechts één verschil. Conclusie

is dat slechts het maïspaneel van Smulders in alle gevallen door SWAP2.0 voldoende berekend werd. Voor de percelen van Van Genugten, Keijzers, Strous en Vink geldt twijfel.

Bij onderlinge vergelijking van de resultaten van SWAP2.0 en de beregeningsplanner blijkt dat geen enkel maïspaneel met beide rekenmethoden en volgens alle analyses voldoende overeenkomt met de metingen. De percelen van Strous en Keijzers vormen een twijfelgeval. Smulders wordt met SWAP2.0 wel steeds goed berekend, maar met de beregeningsplanner niet. Dit heeft vrijwel zeker te maken met de eerder genoemde wisseling van maïspaneel, waardoor bij de beregeningsplanner met de verkeerde profielopbouw is gerekend. Vergelijking heeft dan geen zin meer.

3.2 Berekeningen beregeningsvarianten op het niveau van meetlokaties

In deze paragraaf worden de resultaten van de vergelijking van de berekening in het groeiseizoen van 1997 met andere beregeningsvarianten besproken. Hierdoor ontstaat meer inzicht in de bandbreedte van het watergebruik en de potentiële besparingsmogelijkheden. Voorafgaand aan deze scenarioberekeningen is eerst een calibratie uitgevoerd op de metingen. De volgende varianten zijn daarvoor doorgerekend:

- 1 Geen berekening
- 2 Berekening volgens de criteria van de beregeningsplanner
- 3 Berekening volgens de praktijk van 1997 +10 mm per gift.

3.2.1 Calibratie

In aanhangsel 4 zijn de vochtgehalten en drukhoogten vóór en ná calibratie samen met de metingen op de meetlokaties weergegeven. In eerste instantie is uitgegaan van de representatieve profielopbouw voor de beregeningsplanner en de gemeten beworteling in 1997. Een aangepaste bouwsteenkeuze voor de humushoudende bovengrond was vaak de methode om de simulatie van de praktijk op de meetplekken van 1997 te verbeteren. Deze verandering werd doorgevoerd als de metingen (zie aanhangsel 1) een andere pF-curve aangaven. Op een aantal meetplekken werd deze aangepaste bouwsteenkeuze ook gesteund door de grondmonsteranalyse. Daarnaast bleek uit de grondmonsteranalyse dat de ondergrond bij Janssen en School voor een (groter) deel uit matig grof zand bestaat, terwijl in het veld matig fijn zand was geschat. Aanpassing hiervan leverde een aanzienlijke verbetering van de simulatie op. In aanhangsel 3 zijn de originele profielopbouw en die na calibratie weergegeven. Daarin is ook met een voetnoot aangegeven wanneer de bouwstenen zijn aangepast op basis van de grondmonsteranalyse. Met gebruik van laboratoriumanalyse van grondmonsters kan de geschatte profielopbouw in bouwstenen van de Staringreeks dus verbeterd worden. Zulke monsters kunnen ook als referentie dienen voor nieuwe schattingen en worden dan schattingsmonsters genoemd.

3.2.2 Resultaten grasland

Tabel 6 De hoeveelheid beregening in 1997 en hoeveelheden die met SWAP2.0 voor twee beregeningsvarianten berekend zijn voor de graslandpercelen van de acht bedrijven

Bedrijf	Perceel	Beregeningsvariant		
		Werkelijk beregend in 1997 (mm)	Beregend volgens criteria beregeningsplanner (mm)	Beregend praktijk '97 +10mm (mm)
Janssen	2	34	45	54
	13	0	21	0
School	1	48	0	68
	4	0	0	0
v. Genugten	4	15	21	25
	8	28	0	38
Smulders	10	34	0	54
	20	44	0	64
Keijzers	5	32	24	52
	10	50	0	80
Strous	1	162	80	212
	3	123	20	153
Vink	2	0	22	0
	11	0	38	0
Cranendonk	8	69	15	99
	24	0	20	0
	44	0	12	0
Gemiddeld		38	19	53
Gemiddeld ¹		46	17	64

¹ te beregenen percelen

In tabel 6 zijn de werkelijke en berekende beregeningsgiften weergegeven volgens enkele beregeningsvarianten. Berekeningen met SWAP2.0 volgens de criteria van de beregeningsplanner blijken veel minder beregening op te leveren dan in de praktijksituatie van 1997 werkelijk is toegepast. Gemiddeld is 19 mm/ha minder nodig. Dit zou een besparing zijn van 50%. Zonder de percelen die in 1997 toch niet beregend zouden worden bedroeg de besparing zelfs 63% (29 mm/ha). In vijf gevallen werd volgens de criteria van de beregeningsplanner beregening berekend terwijl er in drie gevallen in de praktijk niet beregend is (geen beregeningsinstallatie of proefveld). Daarnaast werd in twee gevallen meer beregening berekend dan in de praktijk en in acht gevallen minder. De berekende waterbesparing van gemiddeld 29 mm/ha (63%) heeft een spreiding van -11 mm tot +103 mm.

De bedrijven van Janssen, School, van Genugten en Smulders vormden in principe de wat nattere bedrijven (ondiepere grondwaterstanden). De berekende waterbesparing week bij deze bedrijven nauwelijks af van de gemiddelde besparing van 63%.

Absoluut zijn er wel grote verschillen. Op de drogere bedrijven die beregenen is er 57 mm/ha besparing mogelijk en op de 4 nattere bedrijven 14 mm.

Ten opzichte van de praktijk in 1997 maar met 10 mm grotere beregeningsgiften kan er volgens de berekeningen met SWAP2.0 (exact volgens de criteria van de beregeningsplanner) 73%(47 mm/ha) bespaard worden, zonder daarbij te kijken naar niet te beregenen percelen. De betrouwbaarheid van deze resultaten wordt voor een belangrijk deel bepaald door de kwaliteit van de calibratie op basis van de metingen. Gemiddeld bedroeg de verklaarde variantie van de gesimuleerde vochtgehalten op 15 cm – mv. van SWAP2.0 op de metingen na calibratie 57%. Meer dan de helft van de variantie van de metingen op de meetplekken is dus door SWAP2.0 gesimuleerd. De onzekerheid rond het berekend watergebruik lijkt daarmee nog behoorlijk. Een duidelijke uitspraak over de onzekerheid is echter pas te geven als er een onzekerheidsanalyse is uitgevoerd. Er spelen bij de berekening van het watergebruik namelijk ook andere parameters een rol.

In tabel 7 staat aangegeven met welke benuttingpercentages berekend wordt volgens berekeningen met SWAP2.0 voor de werkelijke situatie en bij twee beregeningsvarianten. Het percentage benut water is de hoeveelheid beregeningswater in mm per extra mm transpiratie door het gewas.

De beregeningsvariant 'niet beregenen' komt ook in deze tabel niet apart voor, maar vormde de basis voor de berekende benuttingpercentages. De benutting was volgens berekeningen voor de praktijksituatie in 1997 in 8 van de 11 gevallen dat er berekend is lager dan 30%. In vier gevallen zou berekening zelfs geen positieve invloed op de transpiratie door het gras hebben gehad. De theoretische beregeningsgiften met SWAP2.0 volgens de criteria van de planner worden vaak beter benut, hoewel dat niet altijd het geval is. Bij perceel 2 van Janssen en perceel 4 van Van Genugten is het benuttingspercentage lager dan volgens de werkelijke berekening. De oorzaak hiervan is de lagere beregeningsgift in de praktijk van 1997. De eerste millimeters beregening worden relatief het best benut om de transpiratie te verhogen. Verder liggen de benuttingspercentages bij berekende berekening strikt volgens de criteria van de beregeningsplanner meestal boven 30%. In twee gevallen is dat niet zo: bij Keijzers op perceel 5 en bij Proefboerderij Cranendonk op perceel 44. De geringe hoeveelheid berekende beregening droeg slechts beperkt bij aan een hogere transpiratie. Het berekende benuttingspercentage van het beregeningswater volgens praktijk '97 + 10mm was altijd lager dan van de werkelijke beregeningsgift. Slechts in twee gevallen was het benuttingspercentage hoger dan 30%.

Er is bij grasland niet verder ingegaan op de effecten op drogestofopbrengst, omdat daarvoor onvoldoende nauwkeurige metingen beschikbaar waren

Tabel 7 Het percentage benut beregeningswater voor de graslandpercelen van de acht bedrijven voor de situatie van groeiseizoen 1997 en bij twee beregeningsvarianten, allen gesimuleerd met SWAP2.0

Bedrijf/perceel	Werkelijke situatie 1997 % benut water	Beregeningsvariant	
		Beregend volgens criteria planner % benut water	Beregend praktijk '97 +10mm % benut water
Janssen			
2	53	42	46
13	-	-	-
School			
1	0	-	0
4	-	-	-
v. Genugten			
4	60	38	16
8	0	-	0
Smulders			
10	0	-	0
20	0	-	0
Keijzers			
5	13	13	10
10	6	-	4
Strous			
1	49	90	40
3	9	40	7
Vink			
2	-	86	-
11	-	89	-
Cranendonk			
8	13	53	10
24	-	20	-
44	-	8	-

¹ % benut water = mm beregeningswater per extra mm transpiratie door het gewas * 100%

3.2.3 Resultaten maïsland

In tabel 8 zijn de werkelijke en berekende beregeningsgiften weergegeven volgens enkele beregeningsvarianten voor maïsland. Berekeningen met SWAP2.0 volgens de criteria van de beregeningsplanner blijken veel meer beregening op te leveren dan in de praktijk van 1997 is toegepast. Gemiddeld is 59 mm meer nodig. Dit is een toename van 203%. Zonder het maisperceel van Vink, die in principe niet beregende, zou er gemiddeld 54 mm meer beregend worden (=164% meer). De spreiding in extra watergebruik tussen percelen bedraagt 0 tot 114 mm/ha. Als ook de beregeningsgiften in september buiten beschouwing worden gelaten, omdat in de afrijpingsfase de beregeningsbehoefte van maïs sterk afneemt, bedraagt de toename nog altijd 39 mm (=118% meer). De spreiding in toename van het watergebruik tussen percelen bedroeg daarbij 0 tot 101 mm/ha. Op de nattere bedrijven is theoretisch 46 mm meer beregening nodig en op de drogere bedrijven 29 mm. Hier speelt een belangrijke rol dat bij Smulders (nat bedrijf) de verkeerde profielbeschrijving is gehanteerd bij de

beregeningsplanning in de praktijk. Er kan daarom geen duidelijk verschil worden aangegeven.

Ten opzichte van de praktijk van 1997 maar met 10 mm grotere beregeningsgiften zou het watergebruik bij beregeningsplanning exact volgens de planner volgens berekeningen met SWAP2.0 nog altijd toenemen met 98% (43 mm/ha). Dit percentage indiceert een toename ten opzichte van het verleden of voor nog niet 'op maat' beregende maïspercelen.

De betrouwbaarheid van deze resultaten wordt voor een belangrijk deel bepaald door de kwaliteit van de calibratie op basis van de metingen. Gemiddeld bedroeg de verklaarde variantie van de gesimuleerde vochtgehalten op 25 cm – mv. van SWAP2.0 op de metingen na calibratie 84%. Een groot deel van de variantie van de metingen op de meetplekken is dus door SWAP2.0 gesimuleerd. De onzekerheid rond het berekend watergebruik lijkt daarmee ook niet groot. Een duidelijke uitspraak over de onzekerheid is echter pas te geven als er een onzekerheidsanalyse is uitgevoerd. Er spelen bij de berekening van het watergebruik namelijk ook andere parameters een rol.

Tabel 8 De hoeveelheid beregening in 1997 en hoeveelheden die met SWAP2.0 voor twee beregeningsvarianten berekend zijn voor de maïslandpercelen van de acht bedrijven

Bedrijf	Beregeningsvariant		
	Werkelijk beregend in 1997 (mm)	Beregend volgens criteria beregennings-planner (mm)	Beregend praktijk '97 +10 mm (mm)
Janssen	0	101	0
School	0	0	0
v. Genugten	35	51	45
Keijzers	80	118 ¹	100
Smulders	24	118 ¹	34
Strous	94	109 ¹	124
Vink	0	91	0
Cranendonk	0	114 ¹	0
Gemiddeld	29	88	38
Gemiddeld ²	33	87	44

¹Half september is er nog een beregeningsgift van 26 –28 mm berekend.

²Het maïsperceel van Vink is er buiten gelaten.

In tabel 9 staat aangegeven met welke benuttingspercentages volgens de berekeningen met SWAP2.0 berekend is bij de verschillende beregeningsvarianten. De beregeningsvariant 'niet beregenen' komt ook in deze tabel niet apart voor, maar vormde de basis voor de benuttingspercentages. Het blijkt dat de benutting van beregening over het algemeen hoog is. De hoge berekende beregeningsgiften door SWAP2.0 en de hoge waarden voor benutting hangen natuurlijk met elkaar samen. Hogere beregeningsgiften in de praktijk van 1997 eventueel verhoogd met 10 mm per keer, leiden soms tot enigszins lagere benuttingspercentages. Hogere beregeningsgiften leiden dus ook bij maïs niet automatisch tot evenredig hogere transpiratie. het tijdstip van beregening is daarbij erg belangrijk. De benutting van de beregeningsgiften is altijd hoger dan 30%. In theorie zouden de hogere beregeningsgiften berekend met SWAP2.0 volgens de criteria van de

beregeningsplanner beter benut worden dan de berekening uit de praktijk van 1997. Hier gaat het dan om bijvoorbeeld kleinere giften met grotere frequentie van beregening.

Tabel 9 Het percentage benut beregeningswater voor de maïslandpercelen van de acht bedrijven bij drie beregeningsvarianten

Bedrijf	Variant		
	Beregend praktijk '97	Beregend planner	Beregend praktijk '97 +10mm
	% benut water	% benut water	% benut water
Janssen	-	71	-
School	-	-	-
v. Genugten	46	53	38
Smulders	79	92	82
Keijzers	50	60	54
Strous	73	86	67
Vink	-	64	-
Cranendonk	-	77	-

¹ % benut water = mm beregeningswater per extra mm transpiratie door het gewas * 100%

Tabel 10 Overzicht van gemeten en berekende drogestofopbrengsten volgens de beregeningsvarianten voor de maïspercelen van de acht bedrijven

Bedrijf	Drogestofproductie (t/ha)				
		SWAP2.0 volgens berekening 1997	SWAP2.0 volgens criteria beregenings- planner	Onberegend	Praktijk '97 +10 mm
	Meting	Berekening	Berekening	Berekening	Berekening
Janssen	16,7	19,3	22,1	19,3	22,3
School	20,9	22,1	22,1	22,1	22,1
v. Genugten	17,7	22	22,5	21,3	22,1
Smulders	16,5	16,5	20,5	16,2	17,8
Keijzers	15,3	17,9	18,6	16,5	18,9
Strous	16,7	18,0	18,6	15,4	18,5
Cranendonk		19,2	22,1	19,2	19,2
Vink		18,0	20,5	18,0	18,6
Index	90	100	109	96	101

¹ index ten opzichte van de gemiddeld met SWAP2.0 berekende opbrengst voor de praktijk in 1997.

² Het maïsperceel van Vink is er buiten gelaten.

In tabel 10 zijn de werkelijk gemeten opbrengsten en de opbrengsten zoals ze voor de drie beregeningsvarianten zijn berekend, weergegeven. De berekende opbrengst volgens de simulatie van de werkelijke situatie van 1997 is gemiddeld 110% (100/90*100%) van de gemeten opbrengst. Dit verschil wordt vooral veroorzaakt door andere groei limiterende factoren dan water die niet door SWAP2.0 worden berekend, zoals ziekten, onkruiden en beschikbaarheid van mineralen. Als we ervan uit gaan dat deze afwijking systematisch is dan kunnen we op de

opbrengstberekeningen van de doorgerekende scenario's een correctie toepassen om een praktijkopbrengst te kunnen berekenen.

Onder aan de tabel zijn indexcijfers voor drogestofproductie weergegeven, waarbij de berekende berekening en productie voor 1997 op 100 zijn gesteld. Er is voor de praktijk maximaal een bruto-opbrengstverhoging mogelijk van $(109-100)=9\%$ door nog meer optimaal te beregenen. Dit zou dan wel gepaard gaan met een toename van het watergebruik op maïsland van 54 mm/ha maïs. De efficiëntie bedraagt dan bruto 33 kg ds/mm beregening. Het hangt verder sterk af van het droogtegevoeligheid van de percelen wat het rendement van beregening uiteindelijk zal zijn.

4 Conclusies en Discussie

4.1 Conclusies vergelijking SWAP2.0 met beregeningsplanner en met methode grondmonsteranalyse op perceelsniveau

Gras

De beregeningsplanner (versie 1.0) is in dit onderzoek getest op bruikbaarheid. Het criterium was het volgen van de vochtinhoud van de wortelzone gedurende het groeiseizoen. Na een analyse van de berekende vochtinhoud voor het hele seizoen kwamen we tot de conclusie dat slechts in vijf van de 17 gevallen redelijk succesvol de vochtinhoud van de wortelzone werd gevolgd. Betrekken we daarbij dat met name in droge perioden het gebruik van de beregeningsplanner cruciaal is en dat juist in die perioden de planner de vochtinhoud van de wortelzone voldoende moet beschrijven dan blijkt dit voor één perceel te lukken.

SWAP2.0 berekent bij de analyse van de vochtinhoud voor het hele seizoen bij één graslandperceel redelijk volgens de metingen. SWAP2.0 berekent bij de droge periode-analyse bij 7 percelen redelijk volgens de metingen. Volgens berekeningen met SWAP2.0 werd op één perceel in beide analyses de vochtinhoud voldoende gevolgd.

Het model SWAP2.0 is gebruikt om de methode van grondmonsteranalyse op zijn bruikbaarheid te onderzoeken alvorens het in te zetten in combinatie met de beregeningsplanner. Op basis van de analyses blijkt dat de methode op grasland in geen enkel geval de vochtinhoud van de wortelzone voldoende kan beschrijven.

Maïs

De bruikbaarheid van de beregeningsplanner (versie 1.0) is in dit onderzoek getest op zijn kwaliteit om de vochtinhoud van wortelzone gedurende het groeiseizoen voldoende te volgen. Na een analyse van de berekende en gemeten vochtinhoud voor het hele seizoen kwamen we tot de conclusie dat in twee van de acht gevallen redelijk succesvol de vochtinhoud van de wortelzone werd gevolgd. De beregeningsplanner berekent bij de droge periode-analyse bij dezelfde 2 percelen redelijk volgens de metingen.

SWAP2.0 berekende voor twee maïspercelen de vochtinhoud van de wortelzone redelijk volgens de metingen. SWAP2.0 berekent op drie percelen ook de uitdroging in de droge periode van augustus voldoende. Slechts één maïsperceel wordt in beide gevallen door SWAP2.0 voldoende berekend.

Het model SWAP2.0 is gebruikt om de methode van grondmonsteranalyse en vertaalfuncties op zijn bruikbaarheid te onderzoeken. Met de analyse van de berekende vochtinhoud voor het hele seizoen bleek dat de methode op maïsland in geen enkel geval de vochtinhoud van de wortelzone voldoende beschrijft. Bij de droge periodenanalyse bleken vijf van de zeven percelen wel een redelijk resultaat te

geven. Ten opzichte van SWAP2.0 met bouwstenen uit de Staringreeks levert het in één geval een verbetering op.

4.2 Conclusies berekeningen beregeningsvarianten op niveau van meetlokaties

Gras

Uit het onderzoek naar verschillende beregeningsvarianten blijkt dat SWAP2.0 volgens de criteria van de beregeningsplanner 63% (gemiddeld 29 mm/ha, variërend van -11 mm tot +103 mm/ha) minder beregening berekent dan in 1997 is uitgevoerd. De relatieve waterbesparing op natte en droge bedrijven is weinig verschillend. Op de vier nattere bedrijven kan in absolute zin gemiddeld 14 mm worden bespaard en op de drogere bedrijven 57 mm.

Vergeleken met de inschatting van de beregening in het verleden (praktijk '97 +10mm) zou de potentiële waterbesparing zelfs 73% (47 mm/ha) zijn. De berekende benuttingspercentages van beregening in de praktijk zijn vaak lager dan berekend volgens de criteria van de beregeningsplanner. Dit gold niet wanneer de beregening volgens de criteria hoger uitviel dan de praktijk.

Maïs

Uit het onderzoek naar verschillende beregeningsvarianten blijkt dat SWAP2.0 volgens de criteria van de beregeningsplanner 164% (54mm/ha; variërend van 0 tot 114 mm/ha) (zonder september: 118% = 39 mm/ha; spreiding 0 tot 101 mm/ha) meer beregening berekend dan in de praktijk is uitgevoerd. Er is geen duidelijk absoluut verschil tussen nattere en drogere bedrijven gevonden. De berekende benutting van beregening is over het algemeen hoog.

Het effect op de bruto-opbrengst lijkt beperkt. Beregening met SWAP2.0 volgens de criteria van de beregeningsplanner geeft aan dat er ten opzichte van de praktijk nog maximaal een winst van 9% (1,8 ton ds/ha) te verwachten valt, wanneer gemiddeld 54 mm meer en precies op het juiste tijdstip zou worden beregend. Verbetering van de beregeningsplanning bij maïs leidt dus behalve tot hogere opbrengsten ook tot meer watergebruik. Dit is in overeenstemming met eerdere resultaten (De Groot en Hack-ten Broeke, 1997).

4.3 Algemene conclusies

In 1997 is getracht met verbeterde profielkeuze van bodemkundige invoergegevens de beregeningsplanner nauwkeuriger te kunnen laten functioneren. De resultaten wijzen daar niet op. De beregeningsplanner (versie 1.0) is op een beperkt aantal percelen in staat de vochtinhoud van de wortelzone zodanig te berekenen dat beregeningsplanning goed mogelijk is.

De overeenkomst tussen de rekenresultaten in 1997 van de beregeningsplanner met het rekenmodel SWAP2.0 bij gebruikmaking van dezelfde invoergegevens blijkt

beperkt. Bij grasland heeft vergelijking met de resultaten van de beregeningsplanner verder weinig zin. Ook voor geen enkel maïspaneel geldt, dat met de beregeningsplanner én SWAP2.0 voldoende rekenresultaten werden geboekt. De resultaten op twee percelen vormen twijfelgevallen. Alleen het door SWAP2.0 berekende verschil in vochtinhoud was daarbij te groot. Beoordeling van de bruikbaarheid van de beregeningsplanner met SWAP2.0-berekeningen op perceelsniveau heeft daardoor weinig zin.

Extra grondmonsteranalyse in combinatie met een vertaalfunctie voor bodemfysische karakteristieken brengt nauwelijks of geen verbetering in de berekeningen.

Theoretisch kan gebruik van de beregeningsplanning bij grasland leiden tot een verdere waterbesparing ten opzichte van 1997 van 63% (29 mm/ha; variërend van – 11 tot 103 mm/ha), terwijl op maïspaneel het watergebruik juist met 164% (54mm/ha; variërend van 0 tot 114mm/ha) (zonder september 118% = 39 mm/ha; variërend van 0 tot 101 mm/ha) toeneemt. De bruto maïspanductie kan dan gemiddeld met maximaal 9% (1,8 ton ds/ha) toenemen. Op grasland was er op natte bedrijven 14 mm/ha besparing mogelijk en op drogere bedrijven 57 mm/ha. Op maïspaneel kon geen verschil tussen droge en natte bedrijven worden geconstateerd.

Ten opzichte van de praktijk in 1997 maar met 10 mm grotere beregeningsgiften (beregenvingsvariant 'als voorheen') bedraagt de waterbesparing door exact beregenen volgens de criteria van de beregeningsplanner op grasland 73% (47 mm/ha) en bedraagt het extra watergebruik op maïspaneel 98% (43mm/ha).

Vergeleken met de resultaten van de studie naar verschillende beregeningsvarianten in 1996 wijken deze conclusies weinig af. Op grasland is waterbesparing mogelijk en op maïspaneel niet.

4.4 Discussie en aanbevelingen

Vergelijking van de perceelsgemiddelde vochtinhoud berekend met de beregeningsplanner met berekeningen met SWAP2.0 bleken achteraf weinig zinvol te zijn. De oorzaak hiervoor is dat SWAP2.0 erg gevoelig is voor de juistheid van de bodemfysische karakteristieken, zoals ook blijkt uit de calibratie. De beregeningsplanner volgt een relatief eenvoudiger vochtboekhouding en is daarom minder of anders gevoelig voor deze gegevens.

Ter verbetering van het gebruik van de beregeningsplanner is calibratie op basis van vochtmetingen als onderdeel van de opstartprocedure een mogelijkheid om nader te onderzoeken. Calibratie van de basisgegevens vereist wel de nodige kennis van het systeem. Nugteren (1999) geeft aan dat enkele wijzigingen in de beregeningsplanner in 1998 ook tot verbeteringen hebben geleid. Boomaerts en Hoving (1999) komen tot de conclusie dat de beregeningsplanner in 1998 op 19 van de 28 percelen redelijk tot goed heeft voldaan.

Grondmonsteranalyse in combinatie met vertaalfuncties voor de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken leverden geen verbetering van de beregeningsplanning op; het is echter wel aan te bevelen om bij de bodeminventarisatie regelmatig een grondmonsteranalyse te gebruiken. Hierdoor kan de keuze van de bouwstenen van de Staringreeks verbeterd worden.

Voor 1996 zijn met SWAP2.0 ook een aantal beregeningsvarianten doorerekend (De Groot en Hack-ten Broeke, 1997). De conclusie daarbij was dat er op grasland waterbesparing mogelijk was door minder te beregenen en op maïsland niet. De berekende waterbesparing op te beregenen percelen grasland bedroeg toen 68% (90mm). Voor 1997 berekenen we een vergelijkbare waterbesparing van 63%. De hoeveelheid is met 29 mm wel aanzienlijk minder. Op maïsland bedroeg de berekende toename van het gebruik van water door exact volgens de criteria van de planner te beregenen in 1996 68% (30mm). Voor 1997 is dat percentage veel hoger (118%), maar absoluut is er weinig verschil (39 mm).

Het met SWAP2.0 berekende watergebruik volgens de criteria van de beregeningsplanner betekent voor grasland een potentiële waterbesparing en voor maïsland juist een hoger watergebruik. De betrouwbaarheid van deze uitkomst wordt vooral bepaald door de kwaliteit van de calibratie op de metingen van de meetplekken. Op grasland bedroeg de verklaarde variantie van de vochtgehalten in de wortelzone gemiddeld 57% en op maïsland 84%. De onzekerheid rond de uitspraak van het percentage verandering van het watergebruik lijkt bij grasland daarmee groter dan voor maïsland. De onzekerheid over de uitspraak van waterbesparing wordt overigens niet alleen bepaald door de berekeningswijze van de vochtgehalten, maar ook door andere parameters. Het aangeven van marges is pas goed mogelijk als er met het model SWAP2.0 een onzekerheidsanalyse is gedaan.

De onzekerheid rond de uitspraak over waterbesparing wordt ook bepaald door de nauwkeurigheid waarmee veldwaarnemingen zijn gedaan. Afwijkingen in neerslagmetingen, verdamping, metingen van de grondwaterstand, drukhoogten en vochtgehalten kunnen ook een belangrijke rol spelen.

Literatuur

Dam, J.C. van, J. Huygen and J.G. Wesseling 1997. Theory of SWAP version 2.0, Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant-Environment, Wageningen, DLO-Staring Centrum, technical report 45.

Genuchten, M. Th. van, 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci Soc.Am. J. 44: 892-898

Groot, W.J.M. de, en M.J.D. Hack-ten Broeke, 1997. Toetsing van de beregeningsplanner met het hydrologische model SWAP 2.0. Onderzoeksresultaten 1996, Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 580.

Hoving I. , H. Everts en J. Alblas, 1998, Beregenen op maat, Toetsing van de beregeningsplanner in de praktijk. Onderzoeksresultaten 1997. Lelystad, PR, Rapport 172.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven en ondergronden in Nederland: de Staringreeks, Vernieuwde uitgave 1994, DLO-Staringcentrum, Wageningen, Technische Document 18.

Nugteren, W., 1999. Analyse Beregeningsplanner met gegevens, Beregenen op Maat Onderzoeksbedrijven 1998. Opticrop B.V., Vijfhuizen

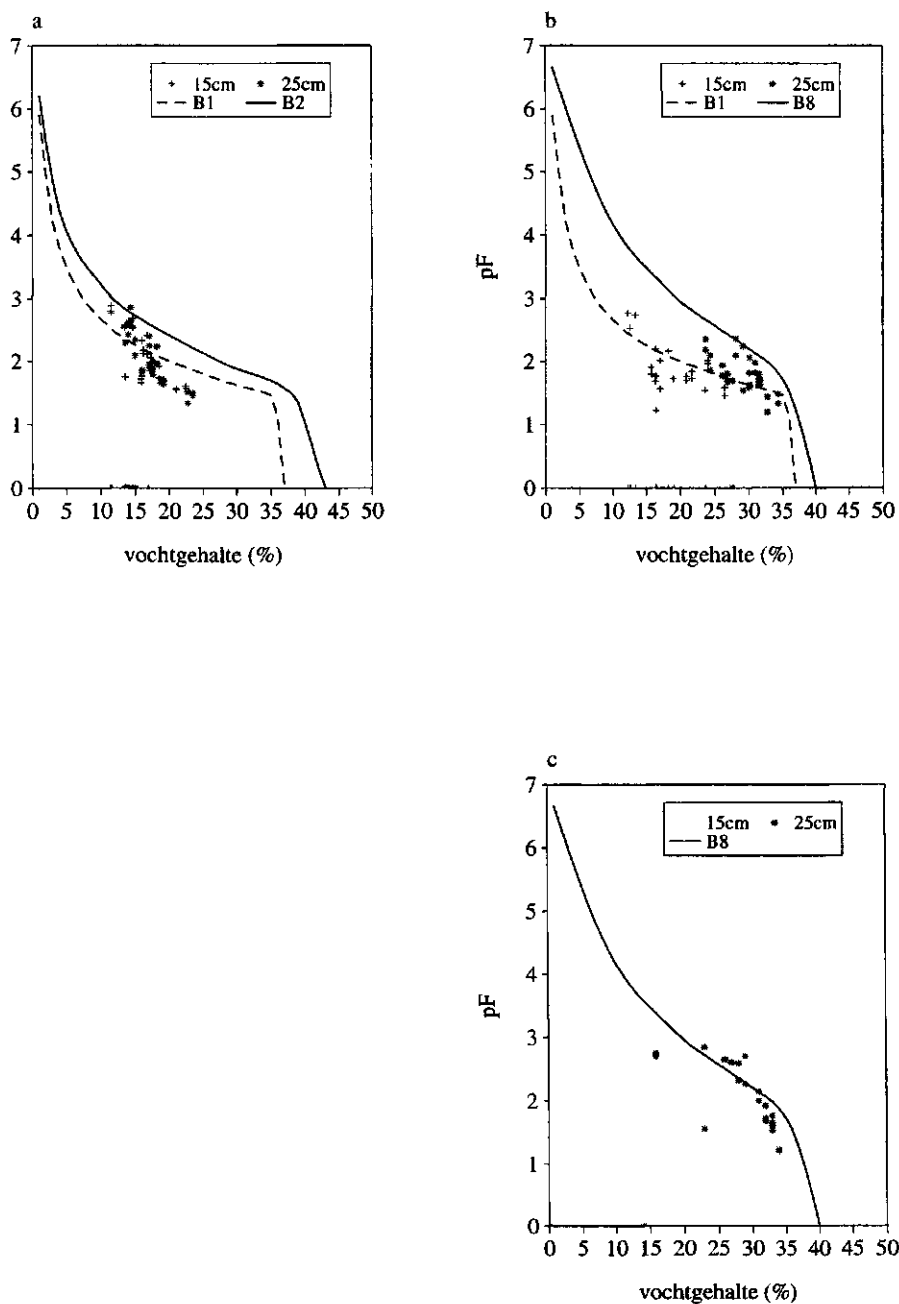
Boomaerts, A.C.M.M. en I.E.Hoving, 1999. Beregenen op Maat 1998, Toetsing van de beregeningsplanner en -wijzer in de praktijk. Onderzoeksresultaten 1998. Lelystad, PR , in voorb.

Niet-gepubliceerde bronnen

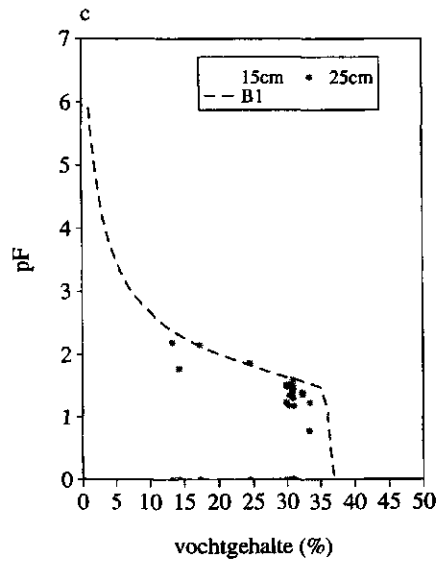
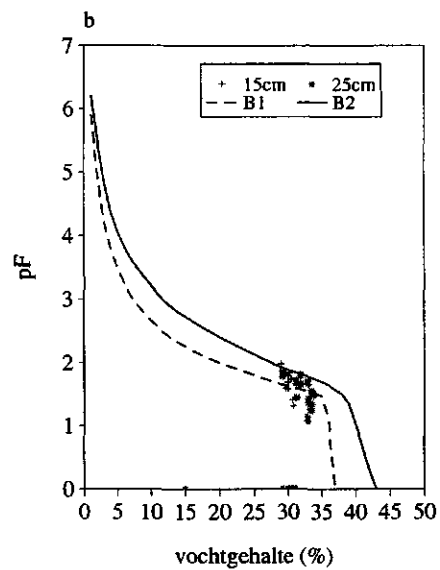
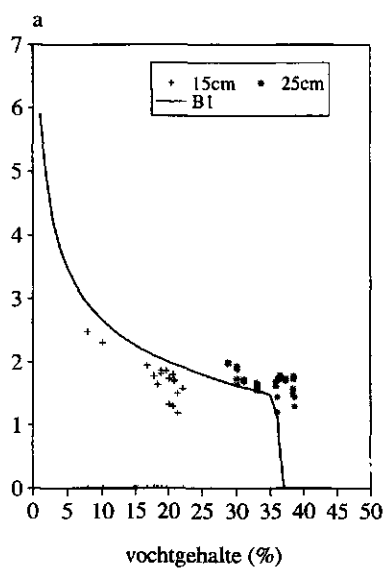
Groot W.J.M. de en M.J.D. Hack-ten Broeke, 1996. Protocol voor de inventarisatie van bodemkundig/ hydrologische basisgegevens voor de beregeningsplanner. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

Groot W.J.M. de, en H. Everts, 1997. Aangepast protocol voor de inventarisatie van bodemkundig/ hydrologische basisgegevens voor de beregeningsplanner en -wijzer. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

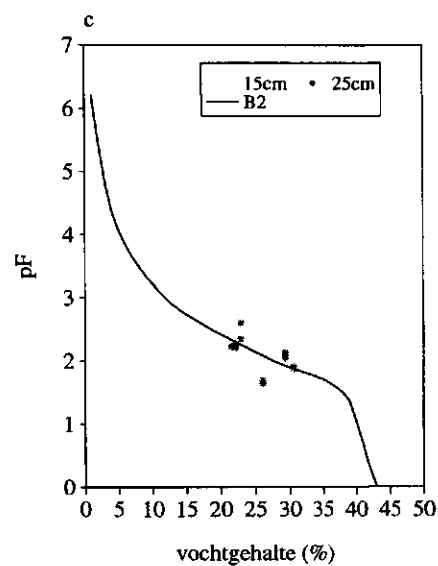
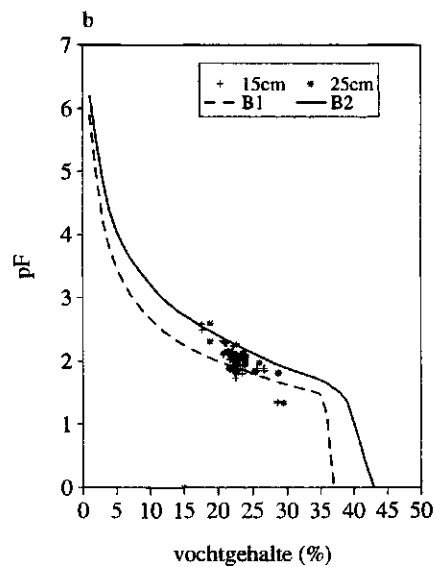
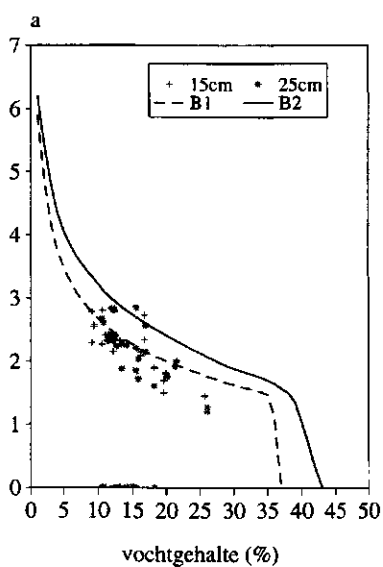
Aanhangsel 1 Waterretentiekarakteristieken van de bovengrond op basis van metingen op de onderzoekspercelen vergeleken met de karakteristiek van de gekozen bodemfysische bouwsteen vóór en ná calibratie.



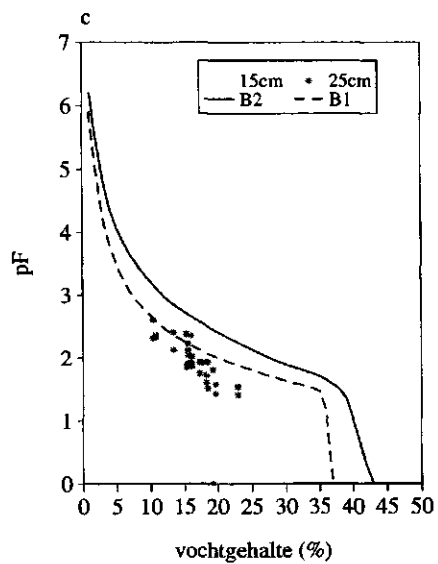
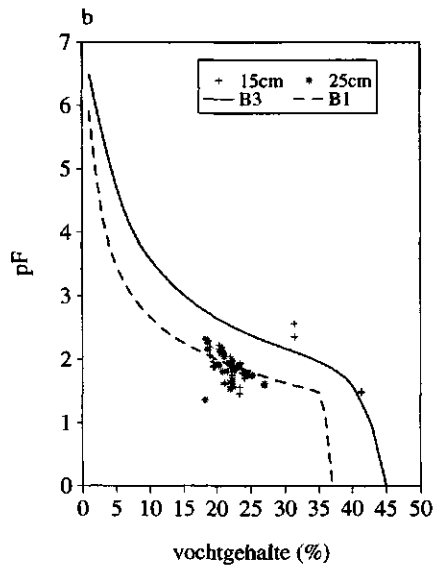
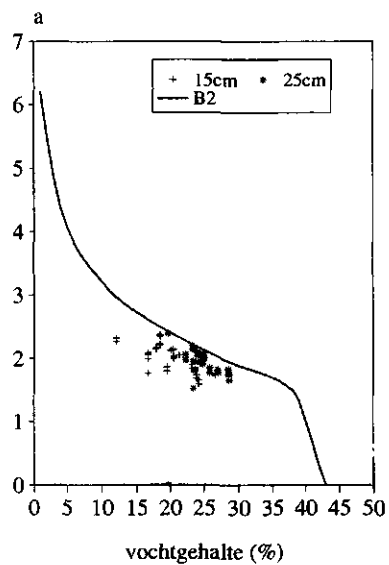
Waterretentiekarakteristieken van de percelen 2 (a), 13 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Janssen. De veldwaarnemingen zijn alleen met punten weergegeven. De curve met de doorgetrokken lijn is van de bodemfysische bouwsteen van het representatief profiel. De gestippelde lijn is van de bouwsteen na calibratie.



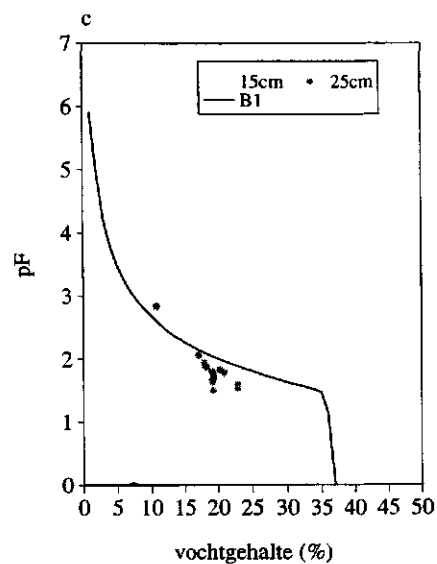
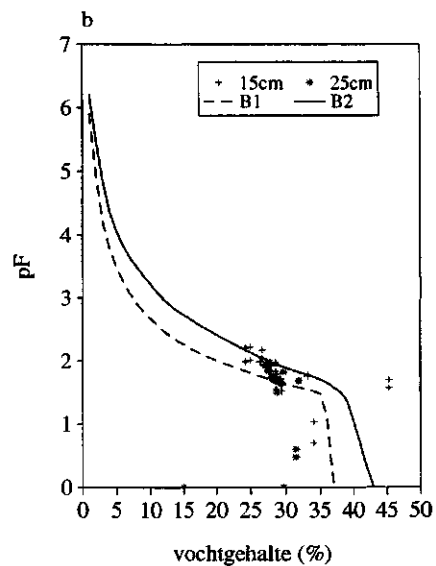
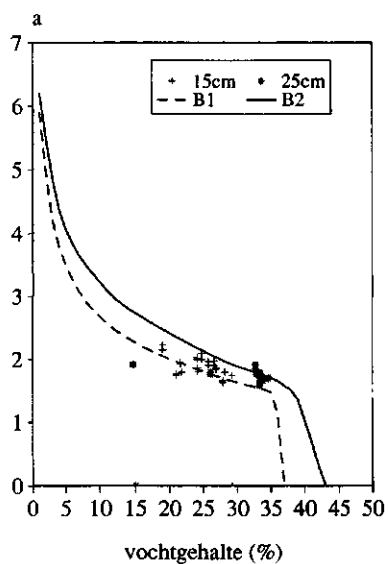
Waterretentiekarakteristieken van de percelen 1 (a), 4 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. School. De veldwaarnemingen zijn alleen met punten weergegeven. De curve met de doorgetrokken lijn is van de bodemfysische bouwsteen van het representatief profiel. De gestippelde lijn is van de bouwsteen na calibratie.



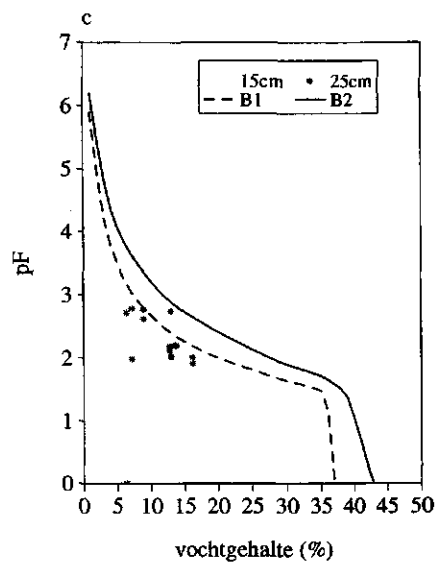
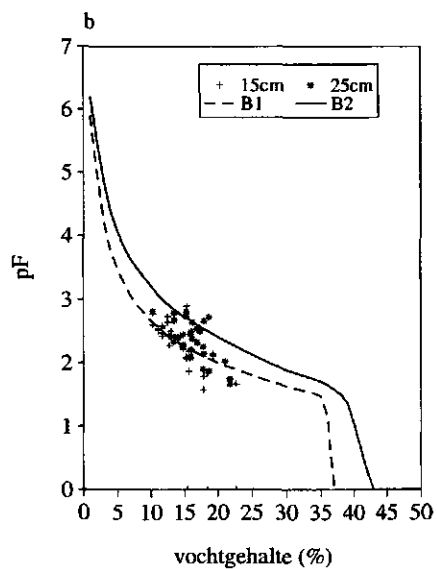
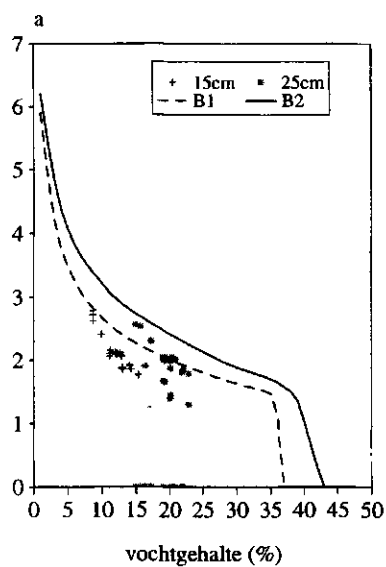
Waterretentiekarakteristieken van de percelen 4 (a), 8 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. van Genugten. De veldwaarnemingen zijn alleen met punten weergegeven. De curve met de doorgetrokken lijn is van de bodemfysische bouwsteen van het representatief profiel. De gestippelde lijn is van de bouwsteen na calibratie.



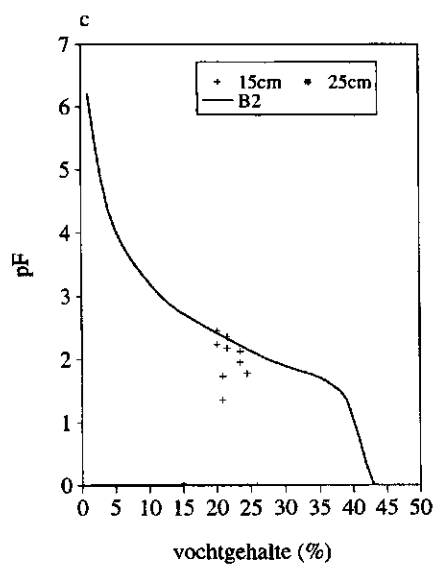
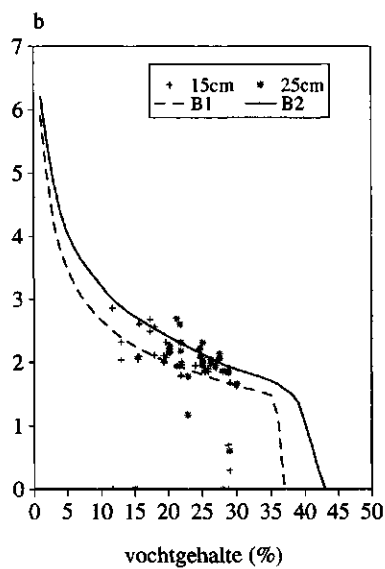
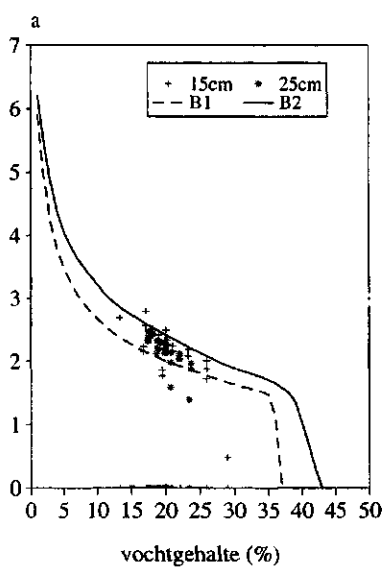
Waterretentiekarakteristieken van de percelen 5 (a), 10 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Keijzers. De veldwaarnemingen zijn alleen met punten weergegeven. De curve met de doorgetrokken lijn is van de bodemfysische bouwsteen van het representatief profiel. De gestippelde lijn is van de bouwsteen na calibratie.



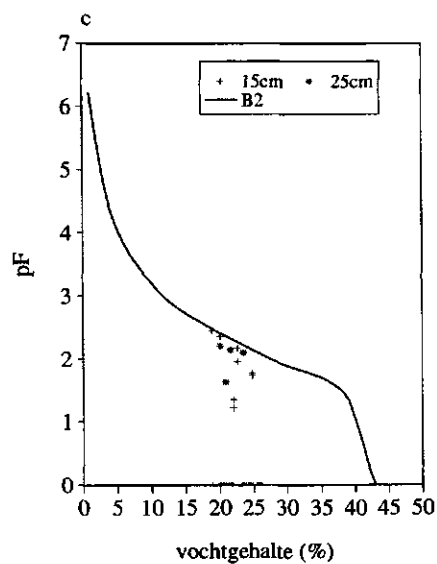
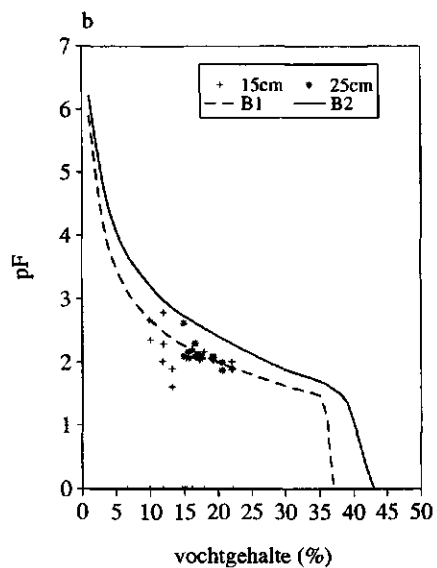
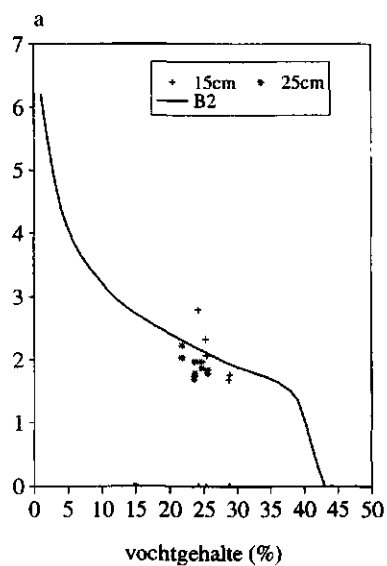
Waterretentiekarakteristieken van de percelen 10 (a), 20 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Smulders. De veldwaarnemingen zijn alleen met punten weergegeven. De curve met de doorgetrokken lijn is van de bodemfysische bouwsteen van het representatief profiel. De gestippelde lijn is van de bouwsteen na calibratie.



Waterretentiekarakteristieken van de percelen 2 (a), 11 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Vink. De veldwaarnemingen zijn alleen met punten weergegeven. De curve met de doorgetrokken lijn is van de bodemfysische bouwsteen van het representatief profiel. De gestippelde lijn is van de bouwsteen na calibratie.



Waterretentiekarakteristieken van de percelen 1 (a), 3 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Strous. De veldwaarnemingen zijn alleen met punten weergegeven. De curve met de doorgetrokken lijn is van de bodemfysische bouwsteen van het representatief profiel. De gestippelde lijn is van de bouwsteen na calibratie.



Waterretentiekarakteristieken van de percelen 8 (a), 24 (b), 44 (c) en maïs (d) bij het proefbedrijf Cranendonk. De veldwaarnemingen zijn alleen met punten weergegeven. De curve met de doorgetrokken lijn is van de bodemfysische bouwsteen van het representatief profiel. De gestippelde lijn is van de bouwsteen na calibratie.

Aanhangsel 2 Profielbeschrijvingen van de representatieve profielen voor de beregeningsplanner en SWAP2.0 met gebruikte analyseresultaten voor de vertaalfunctie naar bodemfysische karakteristieken

Schattingen: DLO-Staring Centrum Wageningen
Analyses metingen: BLGG Oosterbeek

Bedrijf Strous	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceel nr. 1c	gras	35 cm	4-97						
	bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-75	B2		5,8	12	18,8	135	126		3,4
55-320	O2		3,7	12	9,1	135	134		0,4

Bedrijf Strous	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 3.2	gras	30 cm	4-97						
	bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-50	B2		4,7	15	20,5	140	127	5	3,3
50-200	O2		4,1	13	11,1	135	122		0,3

Bedrijf Strous	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 17	maïs	40 cm	4-97						
	bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-45	B2		4,1	14	15,3	140	130	3	2,2
45-340	O2		3,5	11	4,7	140	141		0,1

Bedrijf Vink	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceel nr. 2	gras	30 cm	4-97		120				
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)		leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)	
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-30	B2		2,8	11	10,4	155	176	3	3,0
30-50	O1		3,9	9	6,3	160	173	0,7	0,4
50-115	O2		5,9	17	20,2	140	140		0,1
115-140	O4		7,8	35	38,1	100	156		0,3
140-200	O3		5,9	22	20,2	140	140		0,1

Bedrijf Vink	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 11	gras	30 cm	4-97						
	bouwsteen	lutumgehalte (%)		leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)	
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-115	B2		4,4	12	12,9	155	167	4	2,5
115-170	O1		3,3	8	5,2	165	176		0,1

Bedrijf Vink	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 25	maïs	60 cm	4-97		120				
	bouwsteen	lutumgehalte (%)		leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)	
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-40	B2		3,6	12	12,8	155	178	4	2,7
40-125	O2		3,7	11	5,1	155	165		0,0
125-160	O1		3,7	8	5,1	155	165		0,0
160-200	O4		7,7	34	33,8	100	176		0,1
110-120	O3		5,0	24	17,1	120	188		0,0

Bedrijf Janssen	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceel nr. 2	gras	25 cm	4-97						
	bouwsteen	lutumgehalte (%)		leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)	
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-55	B2		6,2	12	14,0	180	238		1,9
55-100	O1		1,6	8	3,8	190	240		0,3
100-120	O5		1,0	4	1,9	250	261		0,2
120-170	O1			10		180			

Bedrijf Janssen	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 13	gras	35 cm	4-97						
	bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-35	B8	15	14,0		28,4		234	2,5	3,9
35-45	O2	15						2,5	
45-95	O1		3,2	8	7,1	180	235		1,0
95-120	O5		1,1	6	2,1	220	222		0,3

Bedrijf Janssen	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 16	maïs	60 cm	4-97						
	bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-30	B8	14	12,9		27,2		243	2	3,5
35-110	O2		1,6	12	3,8	180	219		1,3
110-120	O1		1,0	8	1,8	220	280		0,7

Bedrijf School	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 1	gras	20 cm	4-97						
	bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-30	B1		2,4		6,6	165	215		3,5
30-85	O1		1,6		2	180	39		0,3
85-140	O2		1,5		2,4	160	180		0,5

Bedrijf School	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 4	gras	20 cm	4-97						
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-35	B2		2,7		6,3	180	206		4,6
35-50	O1					180			
50-120	O2		1,3		3,1	140	158		0,7

Bedrijf School	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. maïs	Maïs	40 cm	4-97						
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-35	B1		4,6		11,0	180	227		2,8
35-130	O1		1,6		2,4	180	172		0,5

Bedrijf Van Genugten	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 4	gras	30 cm	4-97						
	bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
Diepte (cm)		schatting	Meting	schatting	Meting	Schatting	meting	schatting	meting
0-30	B2		2,4	8	7,4	165	139		4,6
30-125	O2		2,1	6	5,5	150	138		0,3
125-150	O11		9,9	40	65,5	120			0,0

Bedrijf Van Genugten	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 8	Gras	30 cm	4-97						
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)	Leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	Meting
0-30	B2		2,5	12	10,1	160	137	3	3,8
30-125	O2		1,8	16	8,4	140	131		0,9
125-150	O11								

Bedrijf Van Genugten	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 6	Maïs	40 cm	4-97						
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
Diepte (cm)		schatting	Meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-40	B2		2,4	15	8,9	145	140	3	4,2
40-145	O2		2,3	15	5,3	145	158		1,1
145-160	O10	10	9,9	40	65,5				0,0

Bedrijf Smulders	Gebruik	Bewortelingsdiepte		Opname-datum		Grondwaterstand			
Perceelnr. 10	gras	30 cm		4-97					
	bouwsteen	lutumgehalte (%)		leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)	
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-30	B2		2,7	14	8,5	145	181	4	3,4
30-80	O2		2,7	11	5,4	145	179		0,5
80-170	O5		1,8	6	6,5	340	298		0,5

Bedrijf Smulders	Gehruik	Bewortelingsdiepte		Opname-datum		Grondwaterstand			
Perceelnr. 20	Gras	30 cm		4-97					
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)		Leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)	
Diepte (cm)		schatting	Meting	schatting	Meting	schatting	Meting	schatting	Meting
0-30	B2		3,4	14	12,5	155	184	4	3,4
30-110	O2		3,4	14	9,6	155	184		0,5
110-200	O5		6,1	12	12,1	140	162		0,4

Bedrijf Smulders	Gebruik	Bewortelingsdiepte		Opname-datum		Grondwaterstand			
Perceelnr.	Maïs	50 cm		4-97		130			
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)		leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)	
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	Meting
0-35	B1		2,4	8	9,4	160	190	3	3,0
35-55	O5		2,3	8	7,5	250	359		1,1
55-140	O1		2,3	9	3,3	155	186		0,5
140-165	O2		2,6	12	3,9	145	195		0,5
165-200	O1			9		145			

Bedrijf Keijzers	Gebruik	Bewortelingsdiepte		Opname-datum		Grondwaterstand			
Perceelnr. 5	gras	25 cm		4-97					
	bouwsteen	lutumgehalte (%)		leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)	
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	Meting	Schatting	meting	schatting	meting
0-30	B2		2,3		14,1	140	142		4,8
30-250	O2		1,7		8,1	140	141		0,8

Bedrijf Keijzers	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 10	Gras	25 cm	4-97						
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	Meting	schatting	Meting	schatting	Meting
0-30	B3		2,5		16,6		139		4,5
30-70	O3		6,4		53,7		99		3,6
70-170	O2		2,8		7,8		131		0,5

Bedrijf Keijzers	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. M2	Maïs	60 cm	4-97						
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-55	B2		2,1		9,0		156		2,7
55-130	O2		2,1		7,7		152		0,5
130-150	O1		3,2		12,7		144		0,3

Bedrijf Cranendonk	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 8	gras	25 cm	4-97						
	bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
Diepte (cm)		schatting	Meting	schatting	Meting	Schatting	meting	schatting	meting
0-45	B2								
45-200	O2								

Bedrijf Cranendonk	Gebruik	Bewortelingsdiepte	Opname-datum		Grondwaterstand				
Perceelnr. 24	Gras	30 cm	4-97						
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)	leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)		
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	Meting	schatting	Meting	schatting	Meting
0-30	B2								
30-70	O2								
70-90	O1								
90-200	O2								
200-250	O3								

Bedrijf Cranendonk	Gebruik	Bewortelingsdiepte		Opname-datum		Grondwaterstand			
Perceelnr. 44	Gras	30 cm		4-97					
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)		leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)	
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-80	B2								
80-95	O4								
95-120	O2								
120-155	O3								
155-180	O9								

Bedrijf Cranendonk	Gebruik	Bewortelingsdiepte		Opname-datum		Grondwaterstand			
Perceelnr. 82	Maïs	90 cm		4-97					
	Bouwsteen	lutumgehalte (%)		leemgehalte (%)		grofheid zand (M ₅₀)		organische stofgehalte (%)	
Diepte (cm)		schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting	schatting	meting
0-110	B2								
110-250	O2								

Aanhangsel 3 Profielbeschrijvingen vóór en ná calibratie voor SWAP2.0. Profielbeschrijvingen vóór calibratie komen overeen met de profielen zoals gebruikt voor de beregeningsplanner

Grasland

Bedrijf	Perceel	Profiel vóór calibratie	Profiel ná calibratie
Janssen	2	0-55 cm B2 beworteling 25 cm 55-100 cm O1 100-120 cm O5 120-170 O1	0-35 cm B1 beworteling 25 cm 35-170 cm O5 ¹ >170 cm O1
	13	0-35 cm B8 beworteling 30 cm 35-45 cm O2 45-95 cm O1 >95 cm O5	0-22 cm B1 beworteling 35 cm 22-30 cm B8 ¹ >30 cm O5 ¹
School	1	0-30 cm B1 beworteling 20 cm 30-85 cm O1 85-140 cm O2	0-30 cm B1 beworteling 20 cm > 30 cm O5 ¹
	4	0-35 cm B2 beworteling 20 cm 35-60 cm O1 60-120 cm O2	0-30 cm B1 ¹ beworteling 20 cm 30-45 cm O1 45-60 cm O2 60-120 cm O1 ¹
v. Genugten	4	0-30 cm B2 beworteling 30 cm 30- 140 cm O2 >140 cm O11	0-22 cm B1 ¹ beworteling 25 cm 22- 140 cm O1 ¹ > 140 cm O11
	8	0-30 cm B2 beworteling 30 cm 30-125 cm O2 125-150 cm O11	0-30 cm B1 beworteling 30 cm 30-125 cm O2 125-150 cm O11
Keijzers	5	0-30 cm B2 beworteling 25 cm >30 cm O2	0-30 cm B2 beworteling 35 cm 30-80 cm O1 ¹ >80 cm O2
	10	0-30 cm B3 beworteling 25 cm 30-70 cm O3 70 –170 cm O2	0-30 cm B1 beworteling 25 cm 30-70 cm O3 70 –170 cm O2
Smulders	10	0-30 cm B2 beworteling 30 cm 30- 80 cm O2 80-170 cm O5	0-30 cm B1 ¹ beworteling 30 cm 30-80 cm O1 ¹ 80 – 170 cm O5
	20	0-30 cm B2 beworteling 30 cm 30 –105 cm O2 >105 cm O5	0-30 cm B1 beworteling 30 cm 30–105 cm O1 ¹ >105 cm O2 ¹
Strous	1	0-75 cm B2 beworteling 35 cm > 75 cm O2	0-75 cm B1 beworteling 35 cm >75 cm O2
	3	0-50 cm B2 beworteling 35 cm >50 cm O2	0-22 cm B1 beworteling 30 cm 22-50 cm B2 >50 cm O1
Vink	2	0-30 cm B2 beworteling 30 cm 30 –50 cm O1 50-115 cm O2 115-140 cm O4 >140 cm O3	0-30 cm B1 beworteling 30 cm 30 –50 cm O1 50-115 cm O2 115-140 cm O4 >140 cm O3
	11	0-115 cm B2 beworteling 30 cm >115 cm O1	0-30 cm B1 beworteling 25 cm 30-115 cm B1 >115 cm O1

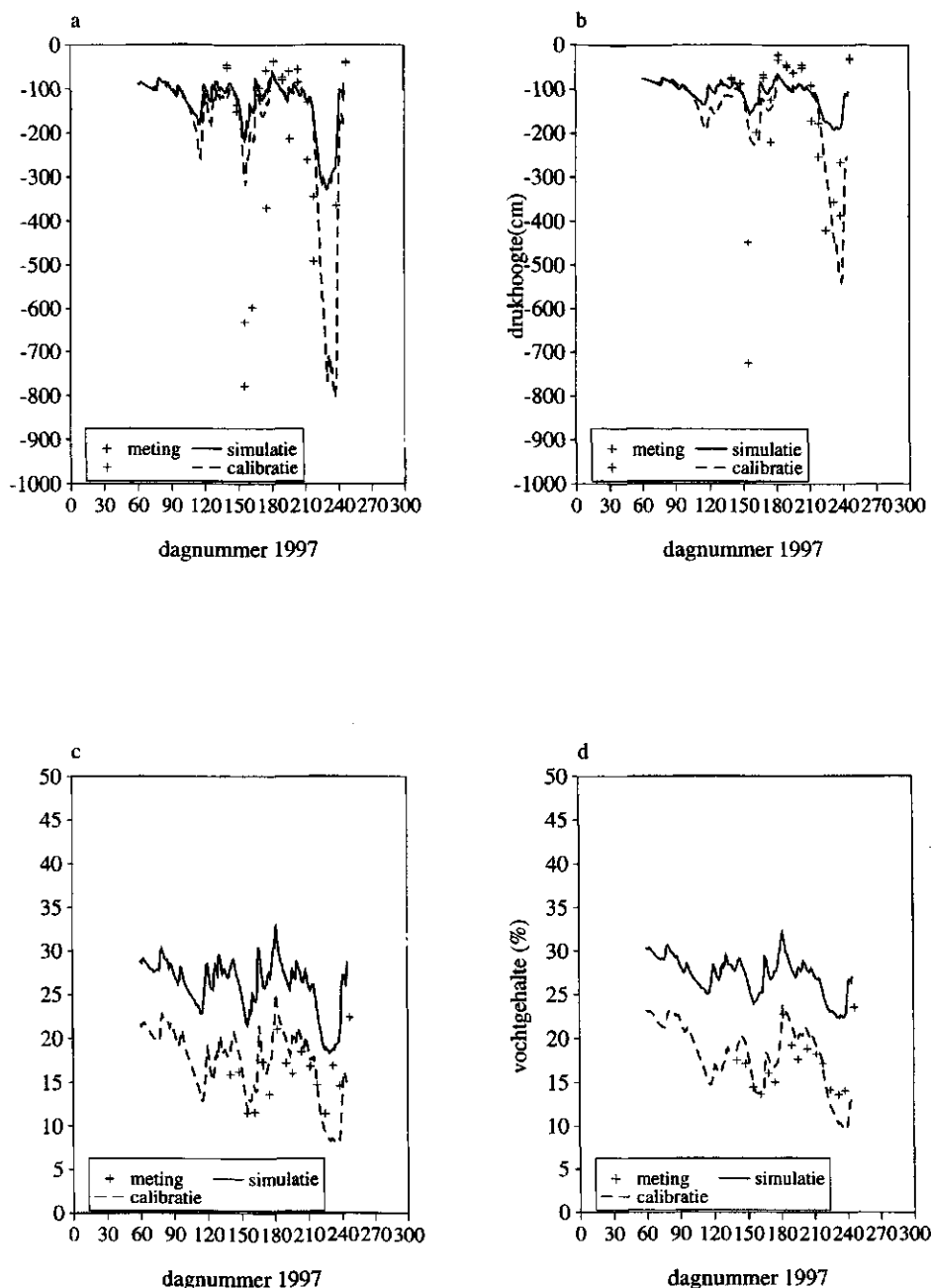
Cranendonk	8	0- 40 cm B2 beworteling 25 cm 40-90 cm O2 90-155 cm O1 155-220 cm O2	0- 22 cm B2 beworteling 25 cm 22-40 cm B1 40-155 cm O1 155-220 cm O2
	24	0-30 cm B2 beworteling 30 cm 30- 70 cm O2 70-90 cm O1 90-200 cm O2 200-250 cm O3	0-30 cm B1 beworteling 30 cm 30- 70 cm O2 70-90 cm O1 90-200 cm O2 200-250 cm O3
	44	0-80 cm B2 beworteling 30 cm 80-95 cm O4 95-155 cm O2 155-180 cm O9 180-205 cm O3	0-30 cm B1 beworteling 30 cm 30-80 cm O1 80-95 cm O4 >95 cm O3

Maïs

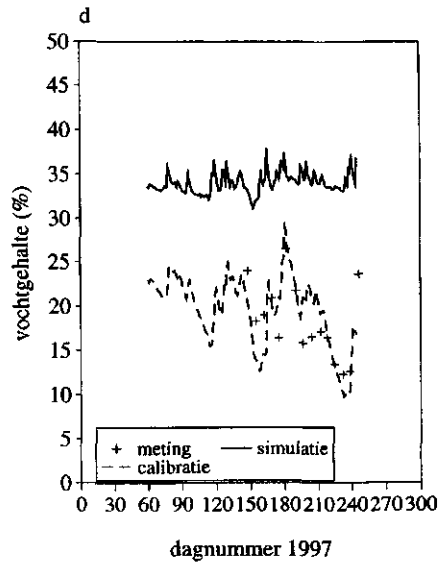
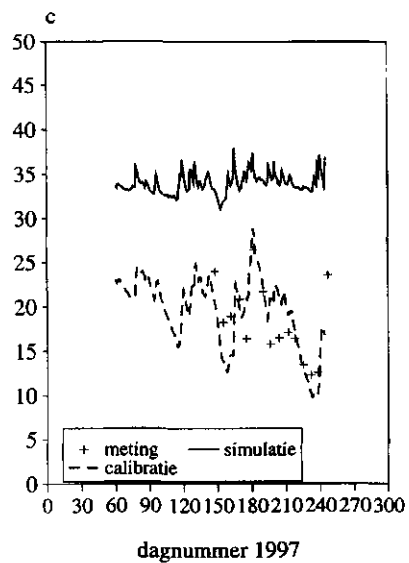
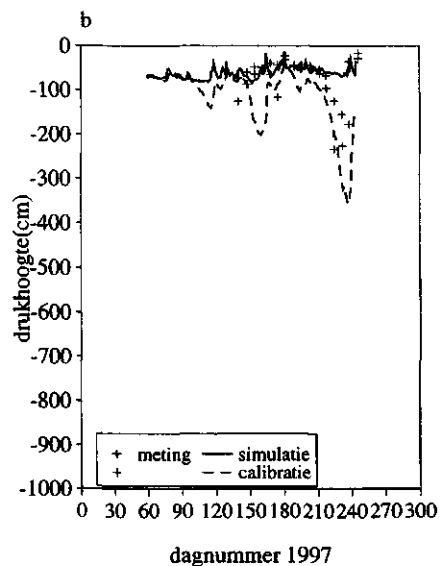
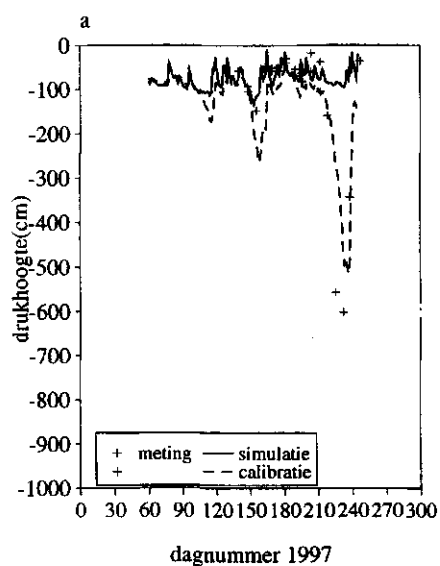
Bedrijf	Profiel vóór calibratie	Profiel ná calibratie
Janssen	0-35 cm B8 beworteling 60 cm 35-100 cm O2 >100 cm O1	0-35 cm B8 beworteling 40 cm >35 cm O5 ¹
School	0-40 cm B1 beworteling 40 cm > 40 cm O1	0-40 cm B1 beworteling 40 cm 40 -60 O5 ¹ > 60 cm O1 ¹
v. Genugten	0-35 cm B2 beworteling 35 cm 40- 145 cm O2 >145 cm O10	0-40 cm B2 beworteling 40 cm 40- 145 cm O2 >145 cm O10
Keijzers	0-55 cm B2 beworteling 55 cm 55-120 cm O2 >120 cm O1	0-55 cm B1 ¹ beworteling 55 cm 55-130 cm O1 >130 cm O2
Smulders	0-35 cm B1 beworteling 50 cm 35-70 cm O5 70 -150 cm O1 150-180 cm O2 > 180 cm O1	idem
Strous	0-45 cm B2 beworteling 40 cm > 45 cm O2	0-35 cm B1 beworteling 50 cm 35- 80 cm O2 >80 cm O1 ¹
Vink	0-40 cm B2 beworteling 60 cm 40 -135 cm O2 135-170 cm O1 135-210 cm O4 >210 cm O3	0-40 cm B1 beworteling 60 cm 40 -135 cm O2 135-170 cm O1 135-210 cm O4 >210 cm O3
Cranendonk	0-110 cm B2 beworteling 60 cm >110 cm O2	idem

¹ Aangepast op basis van grondmonsteranalyse

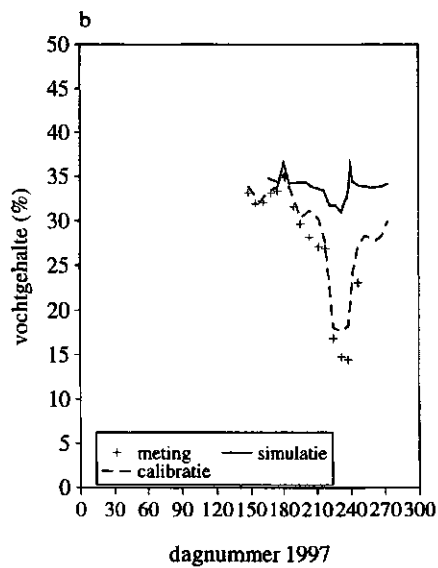
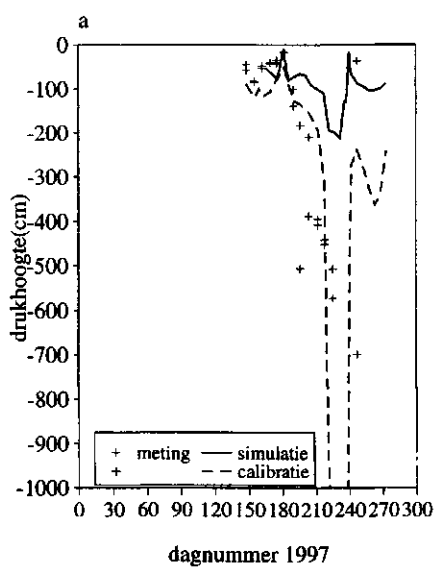
Aanhangsel 4 Vochtgehalten en drukhoogten vóór en ná calibratie vergeleken met metingen op meetlocaties in maïs- en graslandpercelen



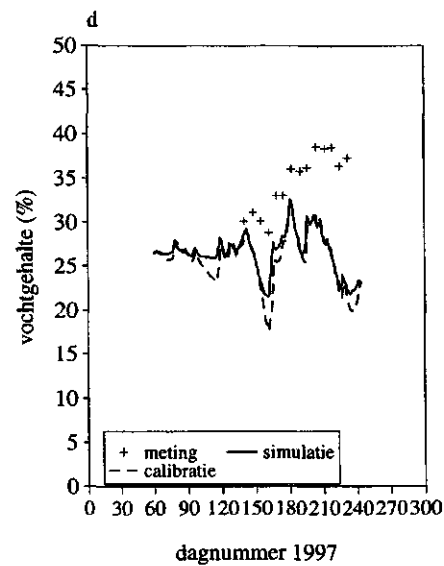
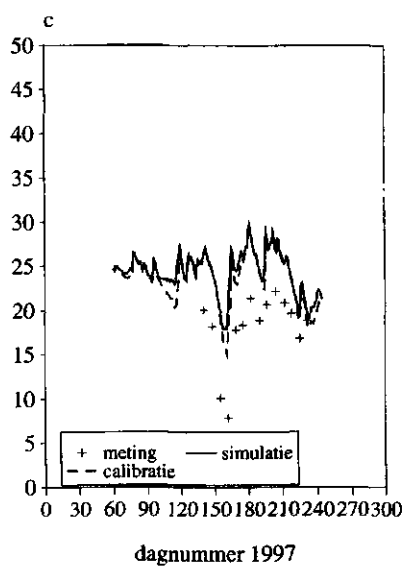
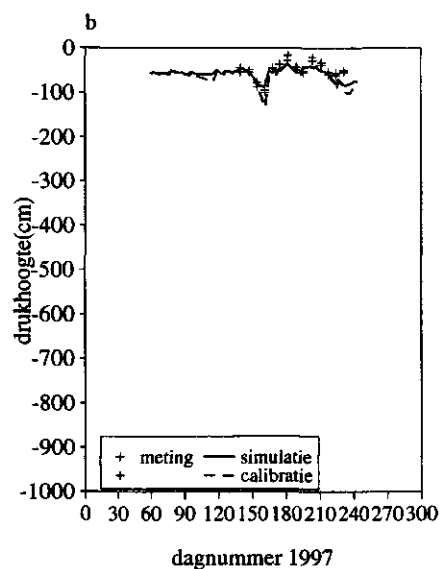
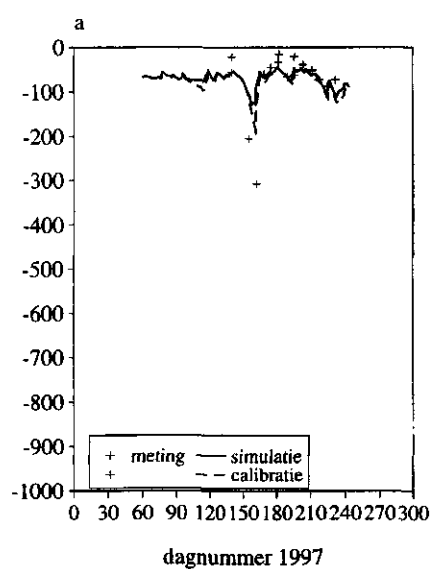
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 2 van dhr. Janssen.



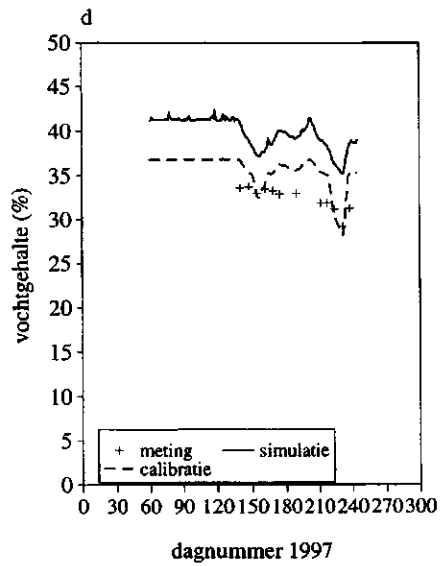
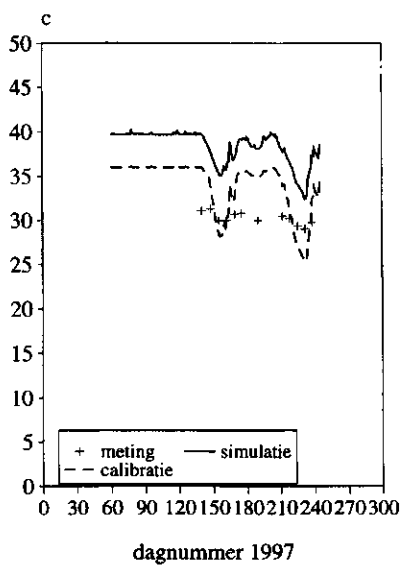
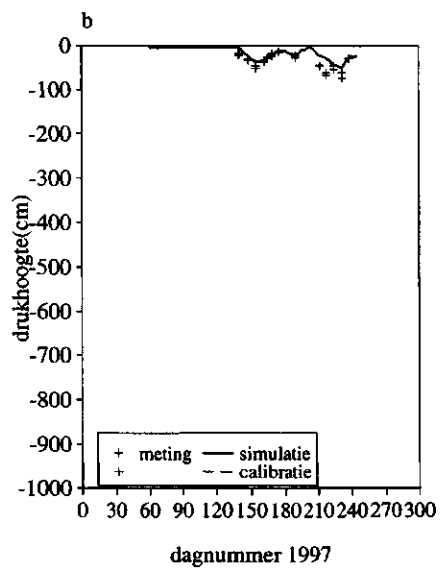
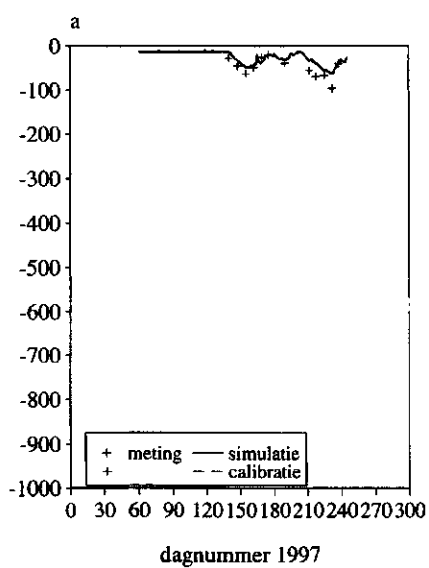
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 13 van dhr. Janssen.



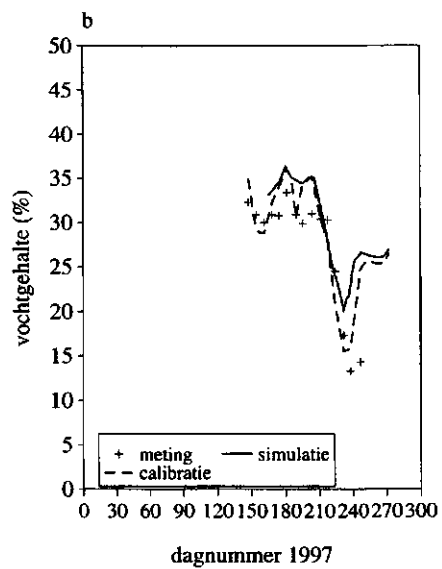
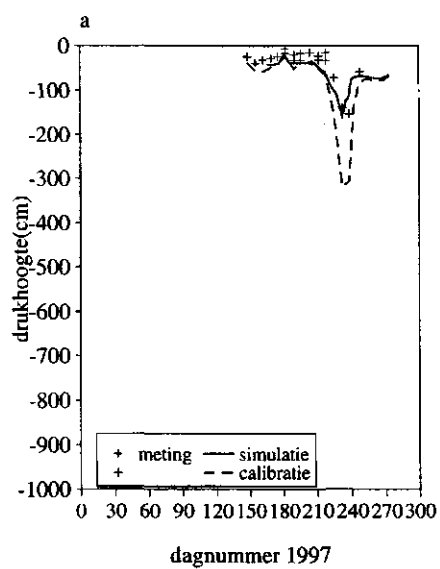
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Janssen.



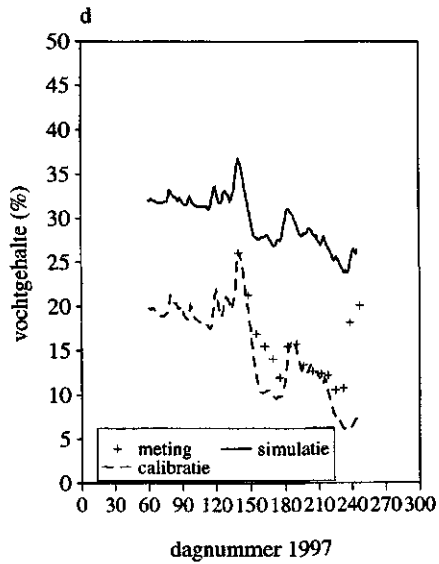
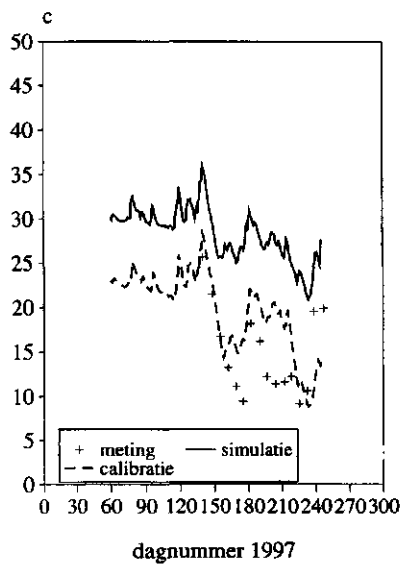
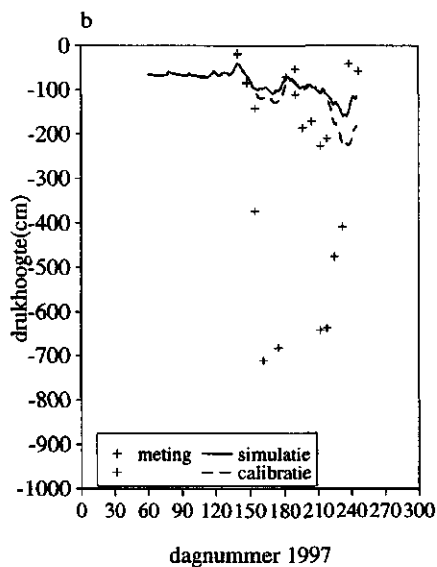
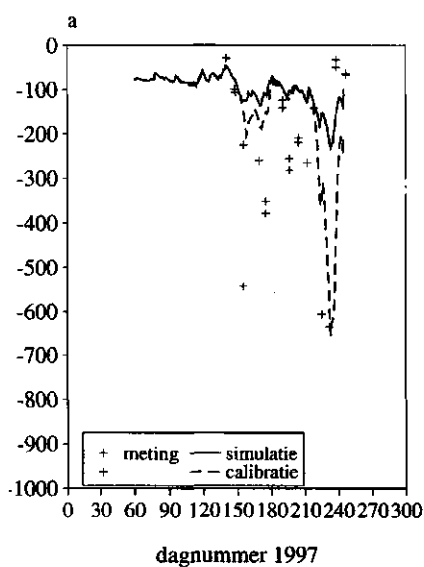
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 1 van dhr. School.



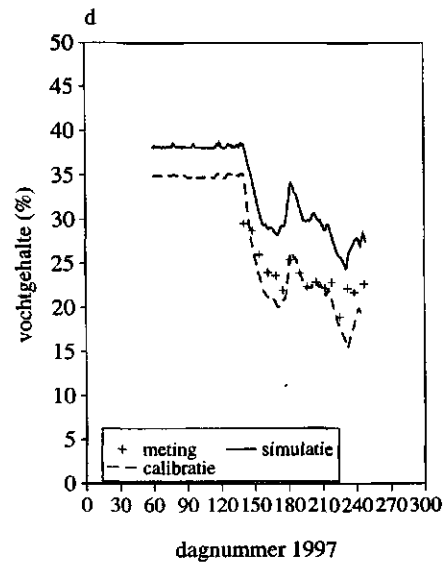
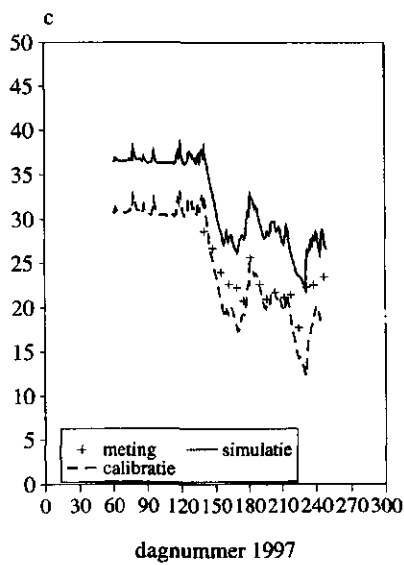
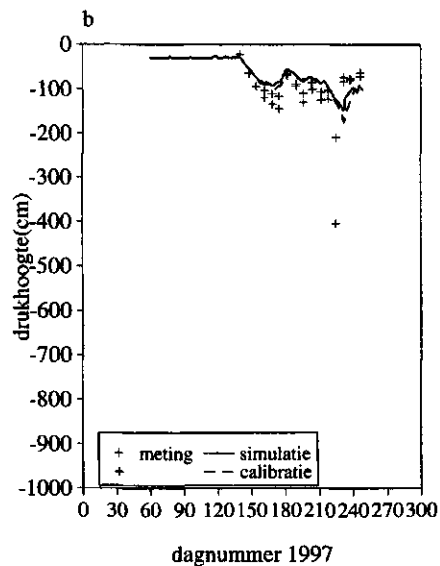
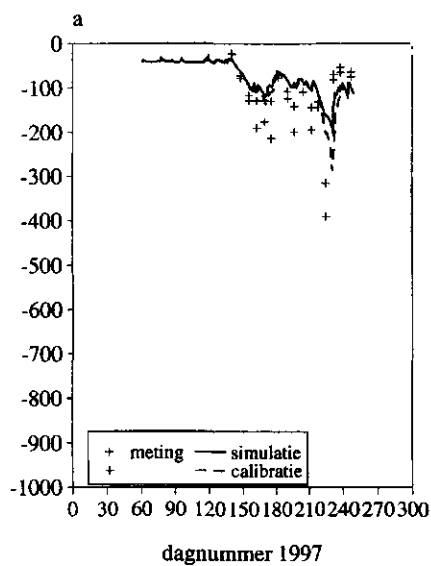
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehaltes op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 4 van dhr. School.



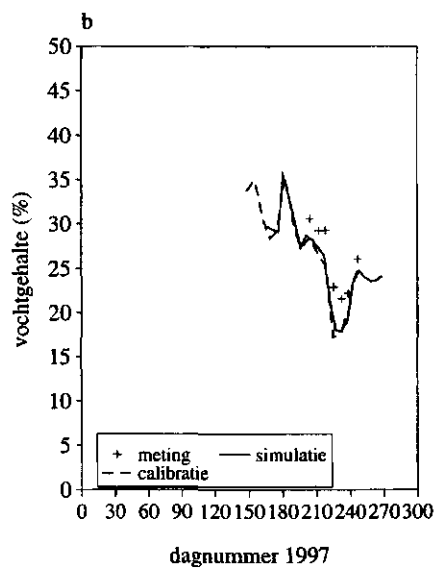
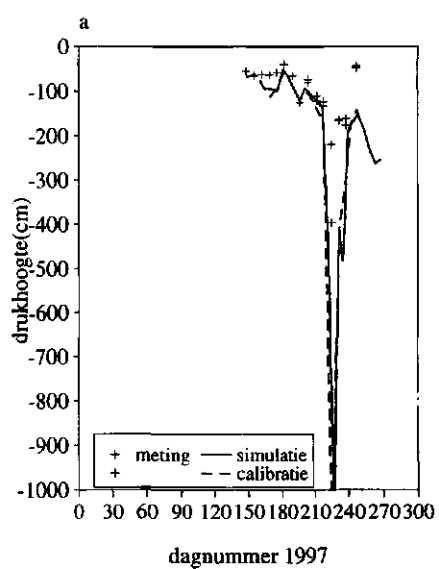
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. School.



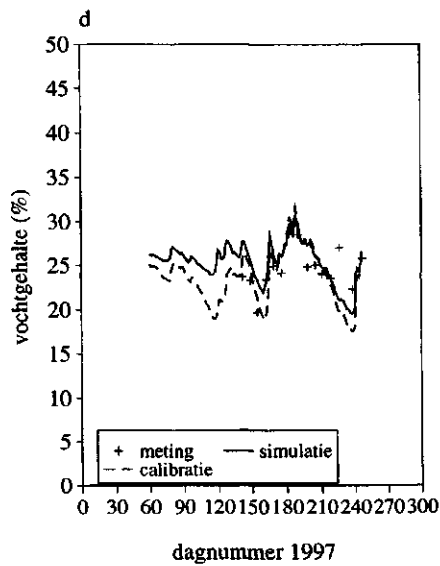
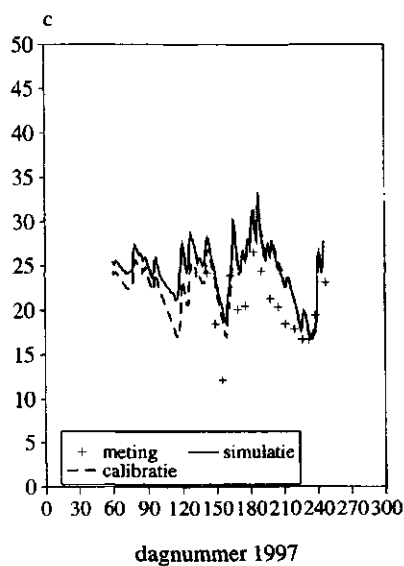
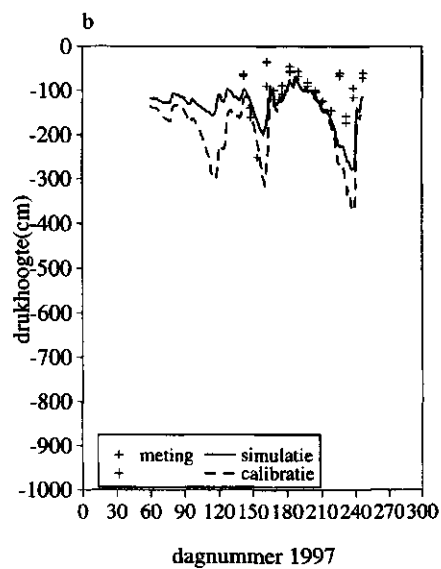
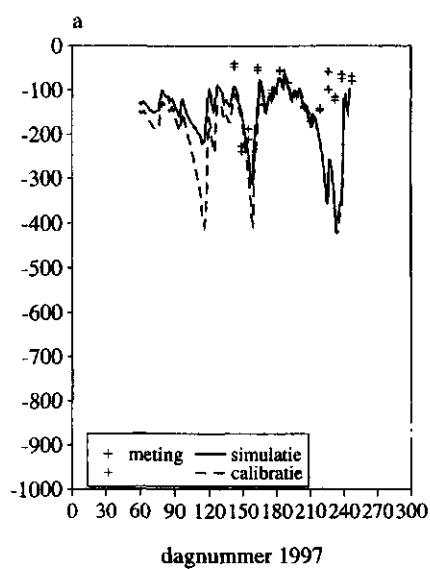
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 4 van dhr. van Genugten.



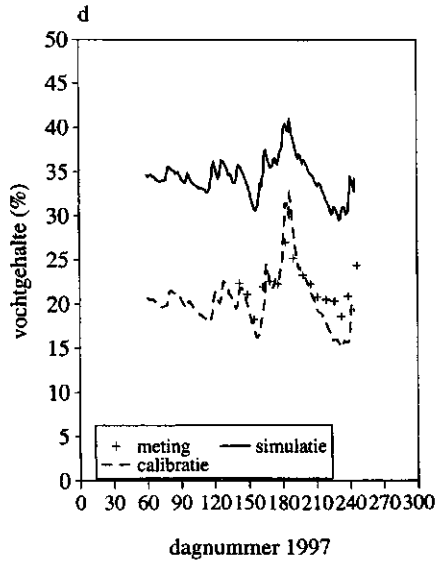
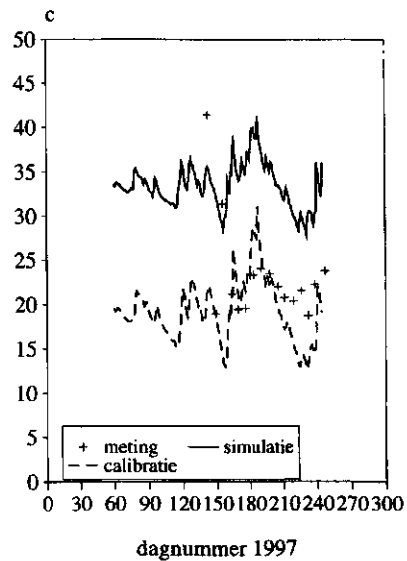
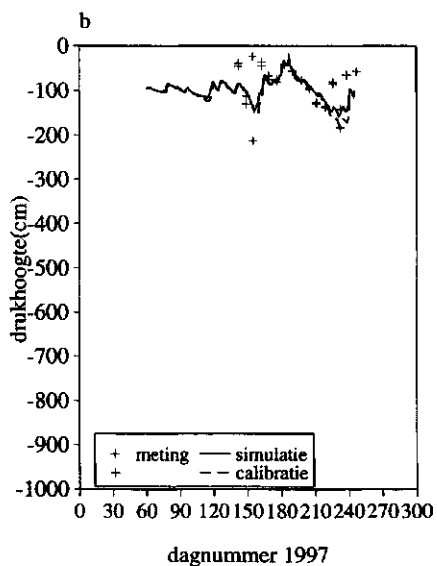
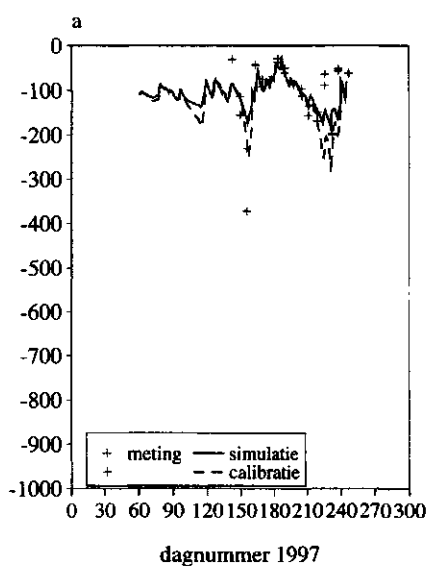
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehaltes op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 8 van dhr. van Genugten.



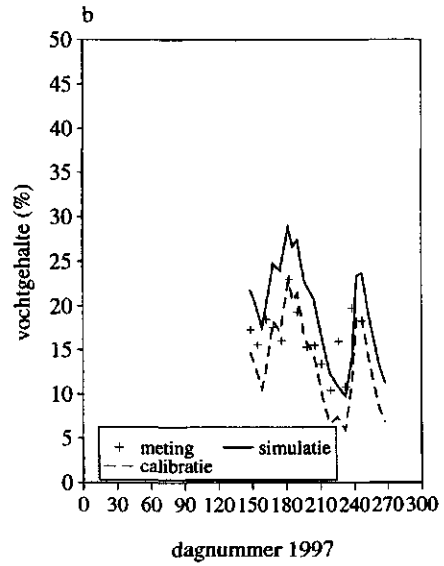
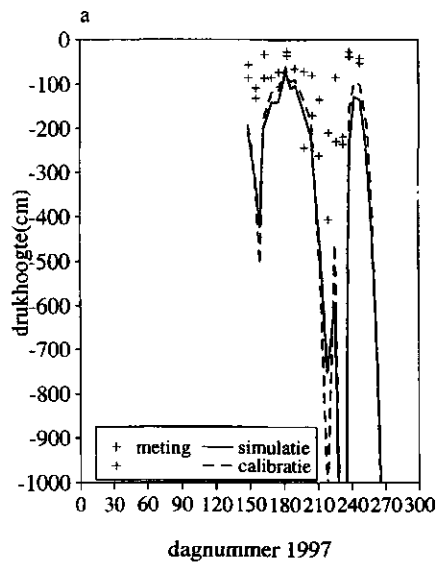
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. van Genugten.



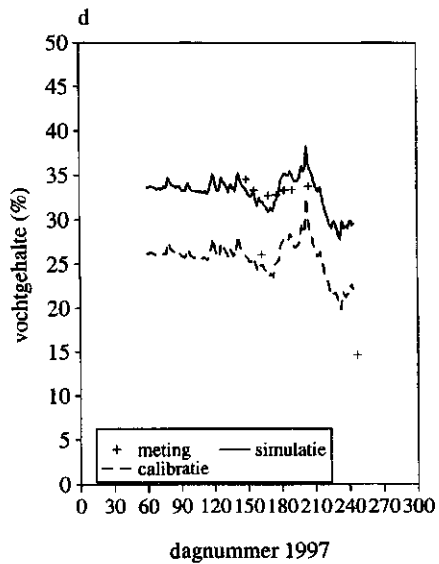
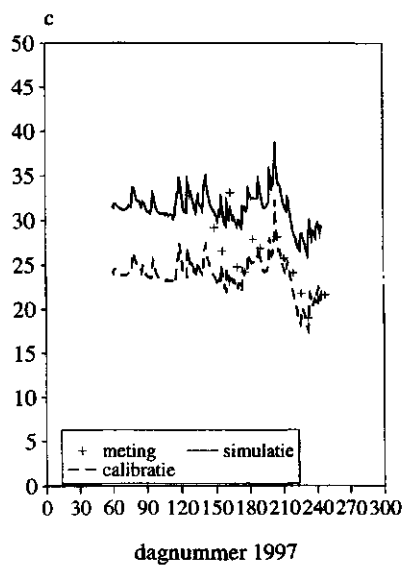
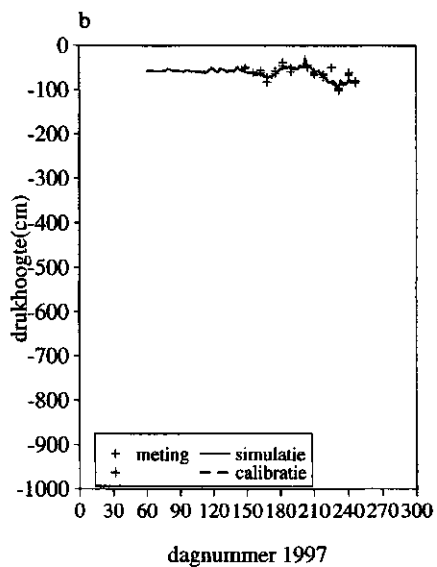
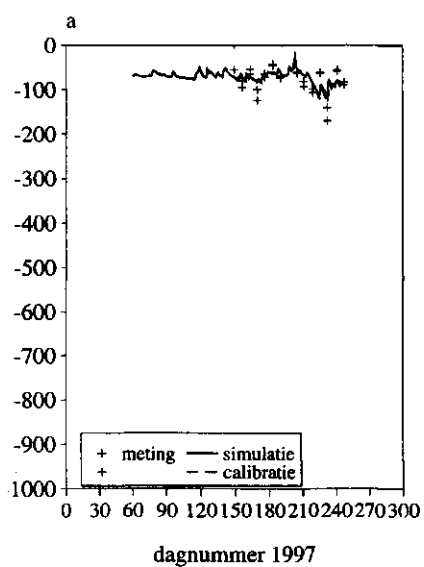
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 5 van dhr. Keijzers.



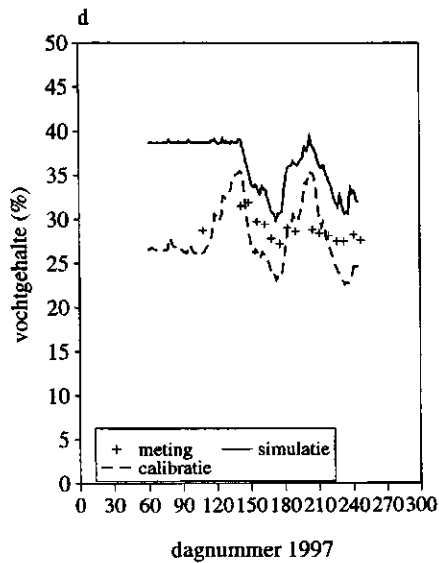
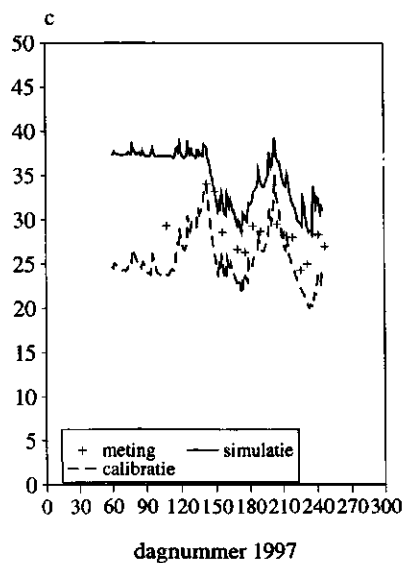
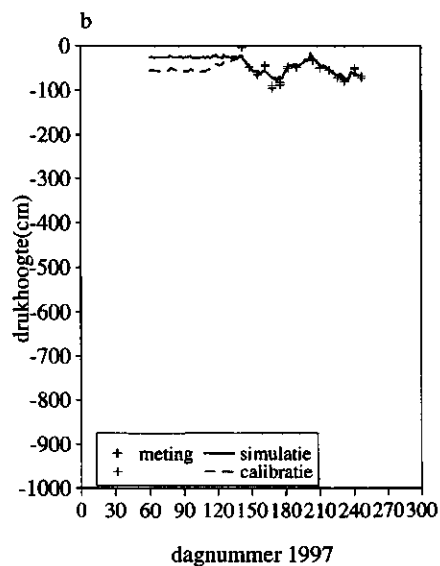
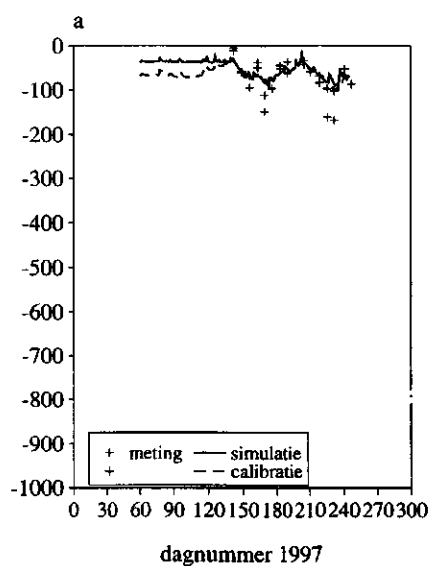
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 10 van dhr. Keijzers.



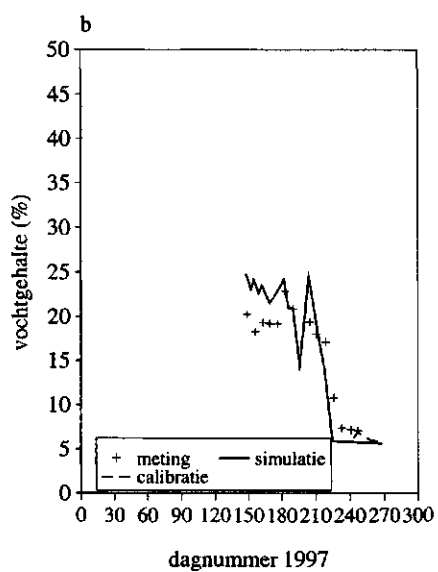
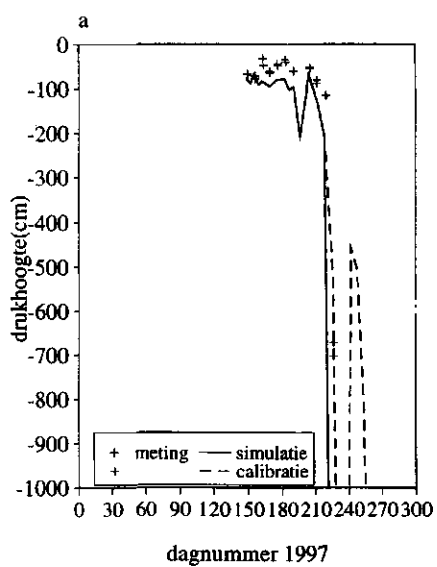
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Keijzers.



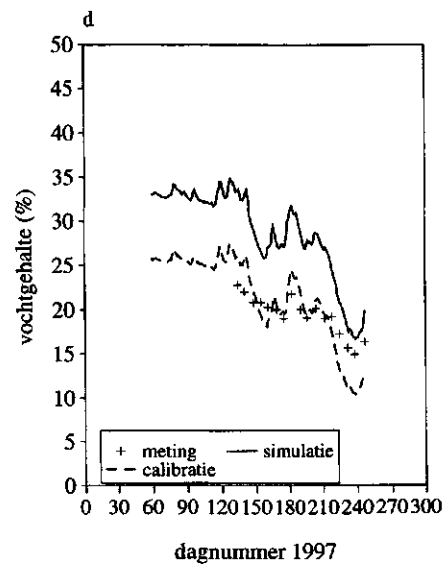
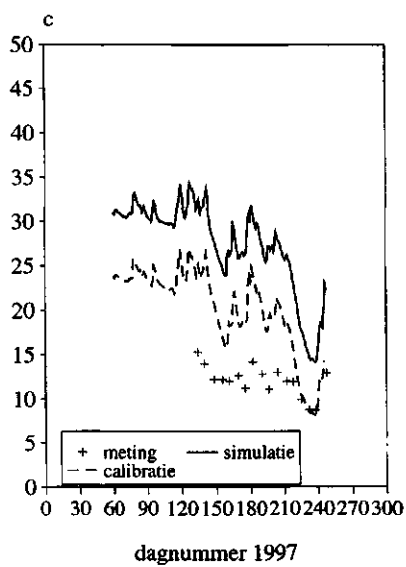
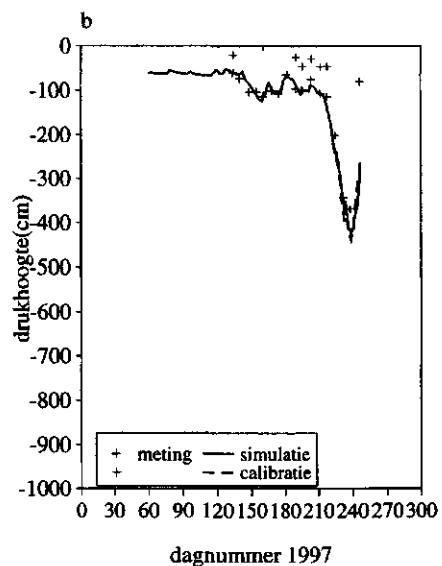
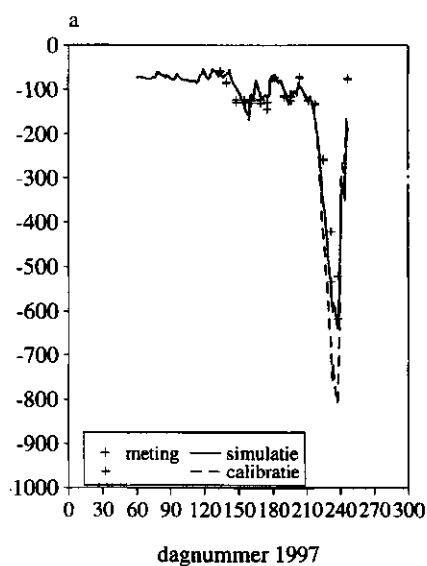
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehaltes op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 10 van dhr. Smulders.



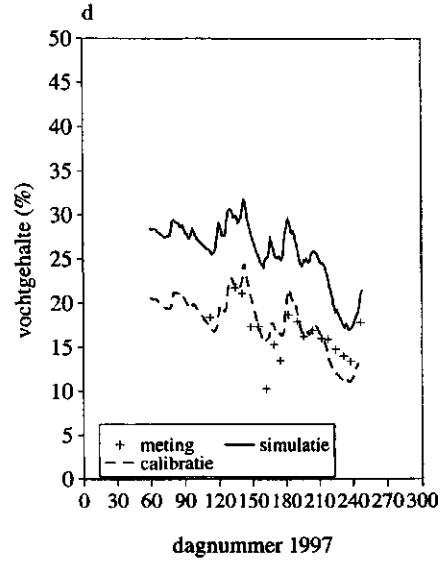
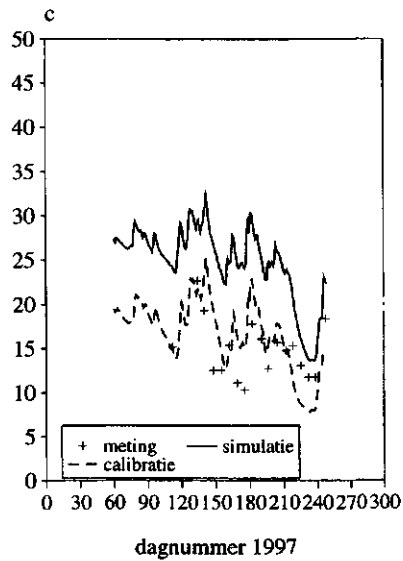
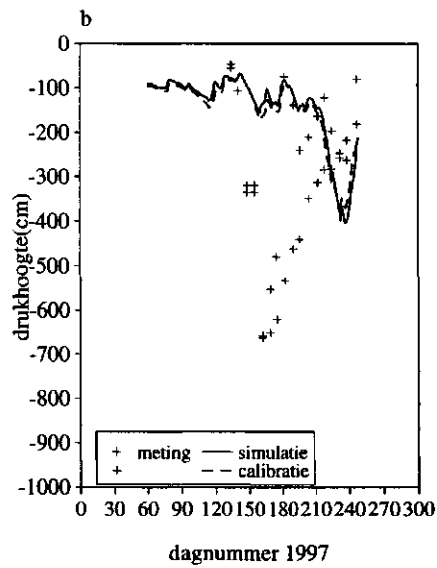
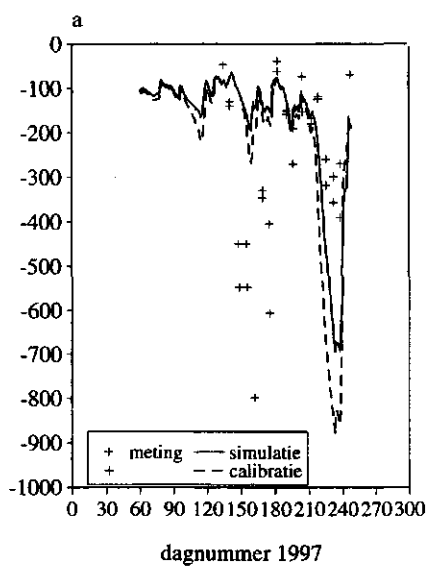
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 20 van dhr. Smulders.



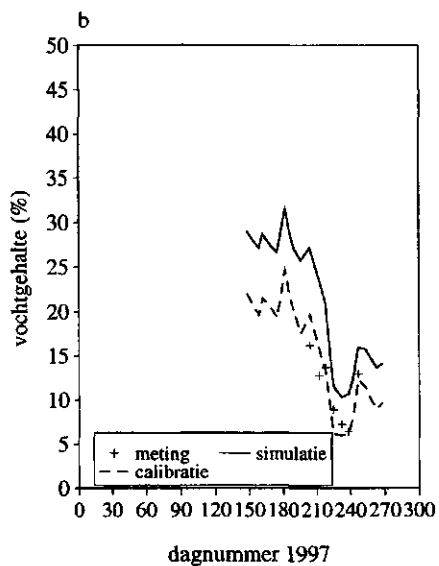
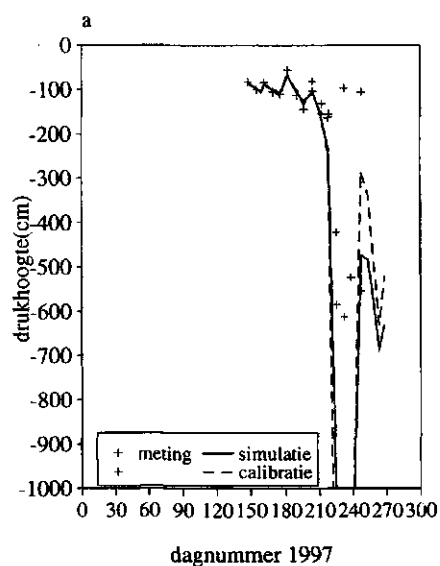
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Smulders.



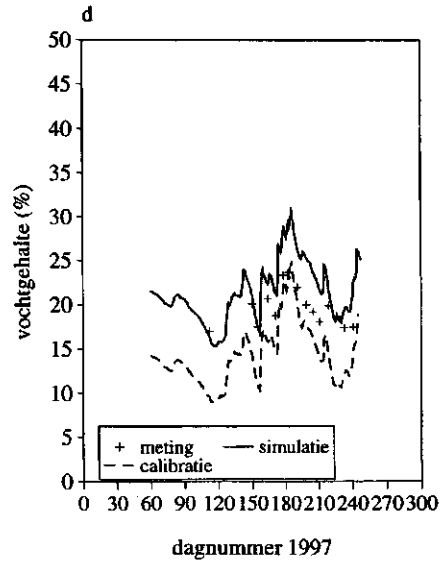
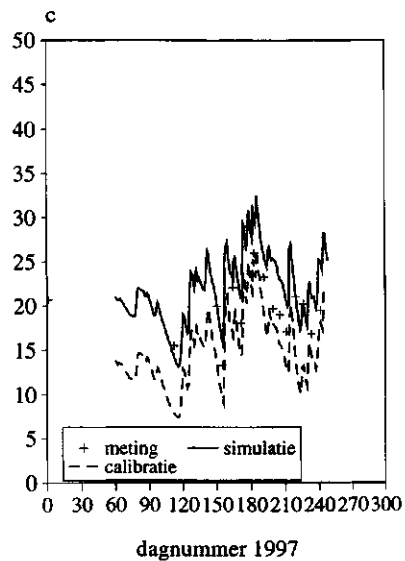
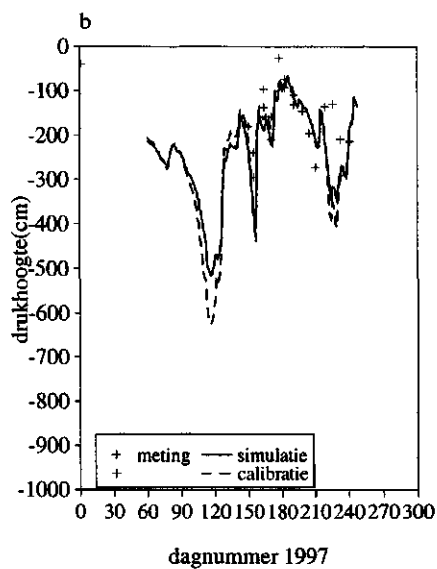
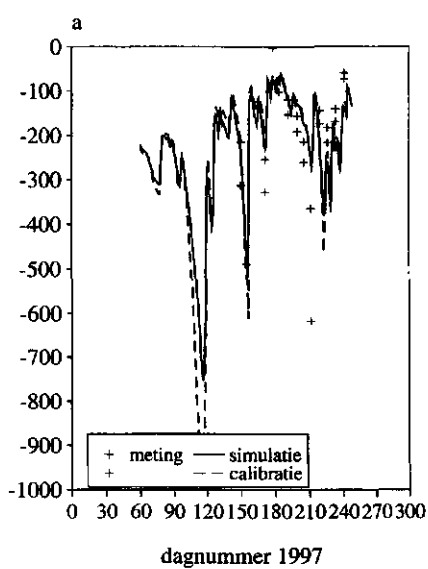
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 2 van dhr. Vink.



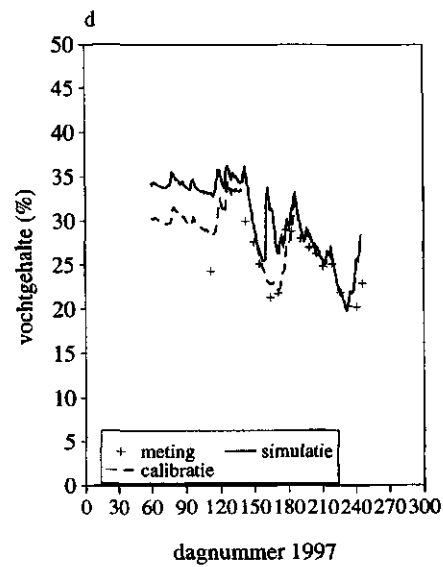
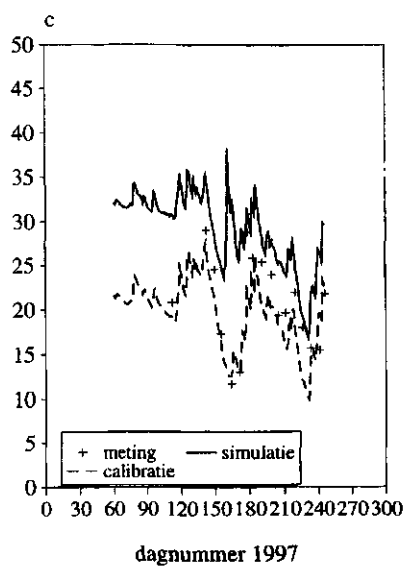
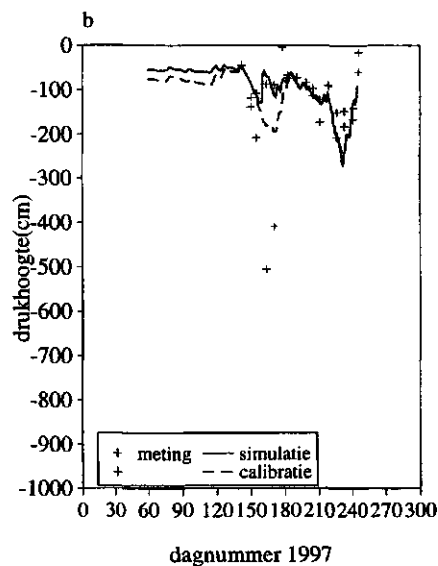
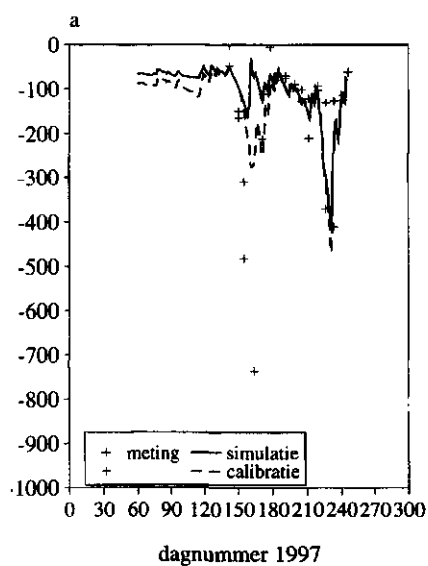
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 11 van dhr. Vink.



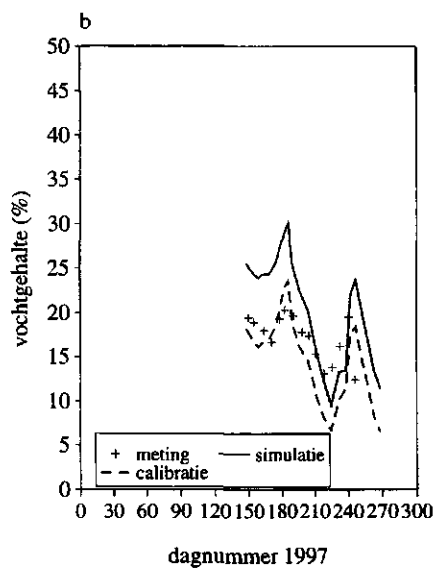
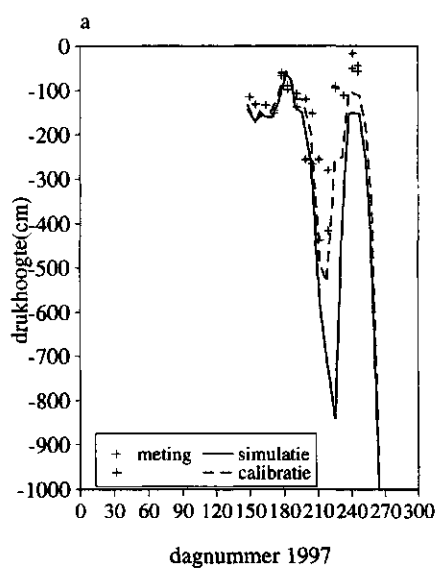
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Vink.



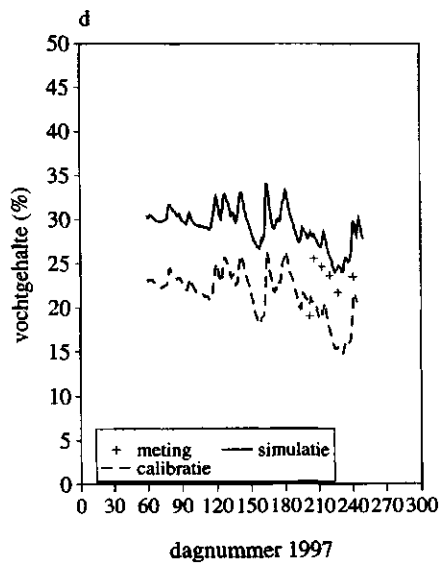
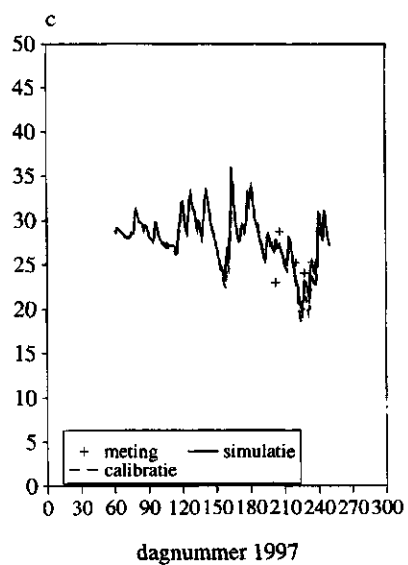
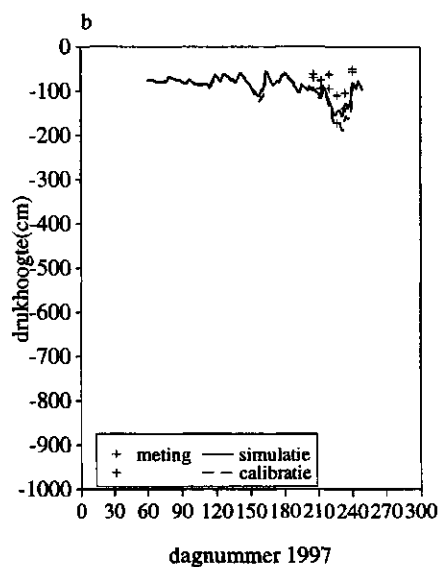
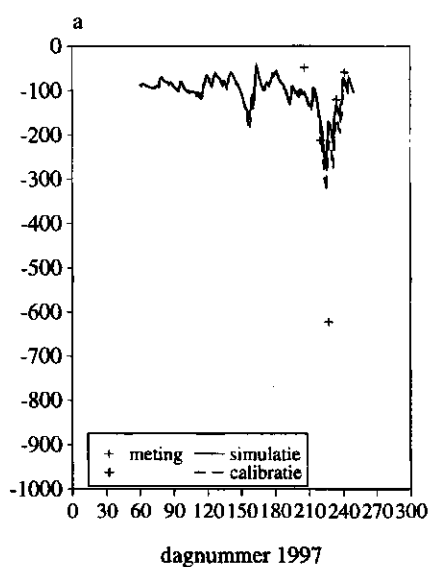
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 1 van dhr. Strous.



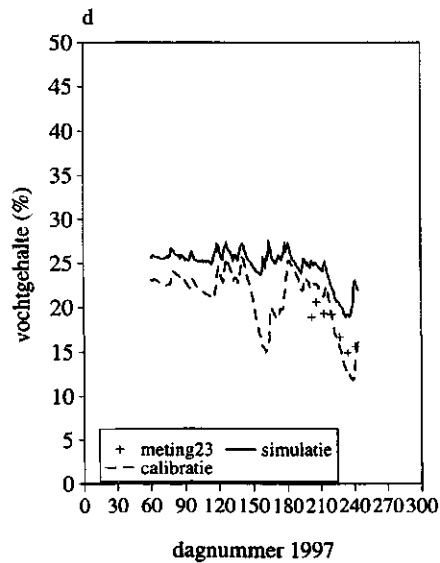
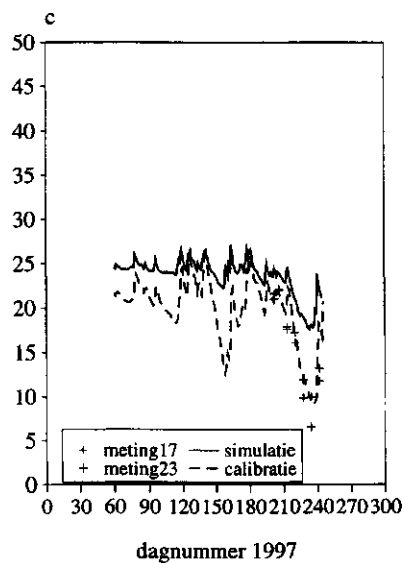
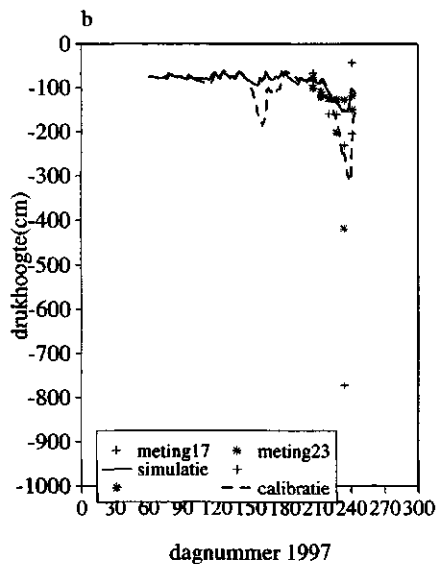
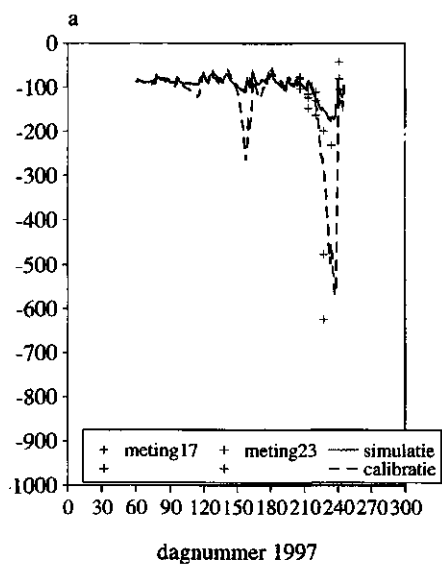
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 3 van dhr. Strous.



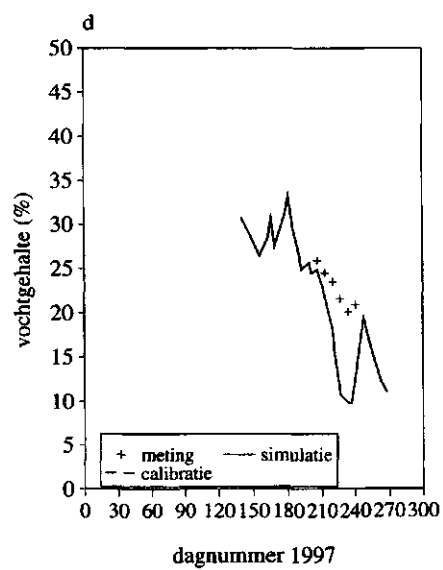
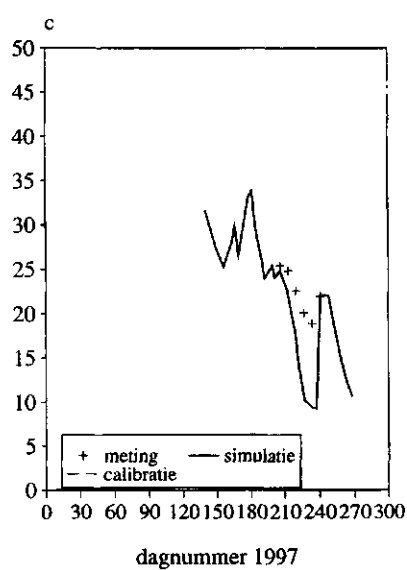
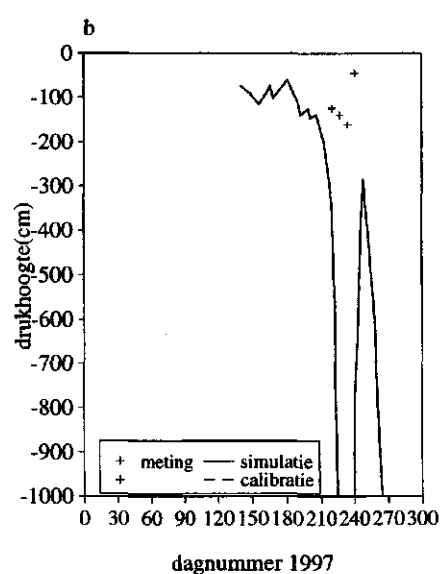
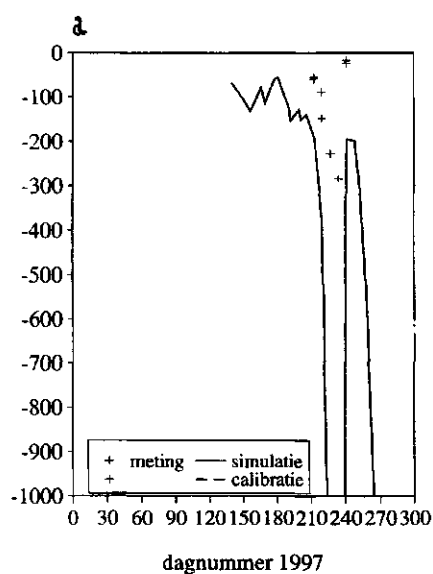
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Strous.



Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 8 bij proefboerderij Cranendonk.



Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel 44 bij proefboerderij Cranendonk.



Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs bij proefboerderij Cranendonk.