

32/446(580)
2^e ex

Toetsing van de beregeningsplanner met het hydrologische model SWAP 2.0

Onderzoeksresultaten 1996

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

BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen

Rapport 580

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997

Ln 973878

REFERAAT

W.J.M. de Groot 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. 80 blz.; 2 fig.; 10 tab.; 7 ref.; 4 aanh.

Dit tussenrapport beschrijft de resultaten van hydrologische berekeningen voor het project 'Beregenen op Maat' in Noord-Brabant voor het jaar 1996. De doelstelling van dit project is een praktisch hulpmiddel te ontwikkelen en te introduceren dat de agrariër in staat stelt efficiënter en op maat te beregenen. De bedoeling hiervan is te komen tot minder waterverbruik voor beregening dan voorheen. Op acht bedrijven zijn intensief metingen verricht om de door de CLM-beregeningsplanner berekende vochttoestand te kunnen toetsen. Daarnaast is de hydrologie zoals die met de planner wordt berekend, getoetst met het hydrologische model SWAP 2.0. Een goede keuze van bodemopbouw en beworteling bleek cruciaal voor de beregeningsplanner. Voor grasland bleek dat volgens de criteria van de beregeningsplanner, gebruik makend van de juiste invoergegevens, minder beregend had hoeven worden dan werkelijk uitgevoerd en dus lijkt hier waterbesparing mogelijk.

Trefwoorden: beregeningsgift, bodemfysische karakteristiek, drukhoogte, grasland, maïsland, profielopbouw, waterverbruik, vochtgehalte.

ISSN 0927-4499

©1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelelvoudigd 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.

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Werkwijze	13
2.1 De beregeningsplanner en de benodigde gegevens	13
2.2 Veldwaarnemingen	14
2.3 Kalibratie van SWAP 2.0	14
2.4 Verschillende berekeningen en beregeningsvarianten	15
3 Resultaten berekeningen SWAP 2.0 in relatie tot resultaten van de beregeningsplanner en waarnemingen	17
3.1 Vergelijking berekende en gemeten vochttoestanden	17
3.2 Vergelijking berekende en gemeten (of geschatte) gewasproductie	19
3.2.1 Grasland	19
3.2.2 Maïsland	19
4 Berekeningen met pc-versie van de beregeningsplanner en vergelijking met andere methoden	23
4.1 Berekeningen met pc-versie van de beregeningsplanner	23
4.1.1 Grasland	24
4.1.2 Maïs	25
4.2 Vergelijking van berekeningen met pc-planner, SWAP en Vereenvoudigde vochtboekhouding	25
4.2.1 Grasland	26
4.2.2 Maïsland	27
4.3 De beschrijving van de hydrologie door de beregeningsplanner	28
5 Met SWAP berekende berekening volgens de beregeningsplanner en enkele scenario's	31
5.1 Berekeningen met SWAP	31
5.1.1 Grasland	32
5.1.2 Maïsland	35
6 Conclusies en discussie	39
6.1 Gebruik van de beregeningsplanner voor het voorspellen van de vochttoestand	39
6.2 Het watergebruik	39
6.3 Verbeteringen voor beregenen op maat in 1997	40
Literatuur	41

Woord vooraf

Dit tussenrapport beschrijft de eerste fase van hydrologische berekeningen voor het project 'Beregenen op Maat' voor het jaar 1996. Dit project is in uitvoering bij het PR (Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden), het PAV (Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt) en SC-DLO (DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied). De projectleiding is in handen van het PR. Berekeningen met de pc-versie van de beregeningsplanner zijn uitgevoerd door Opticrop BV.

De resultaten en de rapportage zijn besproken in de onderzoeksgroep, die als volgt is samengesteld:

W. Luten	(PR, voorzitter)
F. Mandersloot	(PR, secretaris)
J. Alblas	(PAV)
H. Everts	(PR)
W.J.M. de Groot	(SC-DLO)
M.H.A. de Haan	(PR)
M.J.D. Hack-ten Broeke	(SC-DLO)
I.E. Hoving	(PR)
J.M.A. Nijssen	(PR)
A.P. Philipsen	(PR, proefbedrijf Cranendonck)
R. Ruytenberg	(provincie Noord-Brabant)
D.A. van der Schans	(PAV)
P.J.M. Snijders	(PR)

Samenvatting

Dit tussenrapport beschrijft de resultaten van hydrologische berekeningen voor het project 'Beregenen op Maat' in Noord-Brabant voor het jaar 1996. De doelstelling van dit project is een praktisch hulpmiddel te ontwikkelen en te introduceren dat de agrariër in staat stelt efficiënter en op maat te beregenen. De bedoeling hiervan is te komen tot minder waterverbruik voor beregening dan voorheen.

Op acht referentiebedrijven in de provincie Noord-Brabant is in 1996 de CLM-beregeningsplanner gebruikt om het tijdstip en de bijbehorende hoeveelheid beregening vast te stellen. Op drie percelen per bedrijf zijn intensief metingen verricht om de door de CLM-beregeningsplanner berekende vochttoestand te kunnen toetsen. Daarnaast is de hydrologie zoals die met de planner wordt berekend met een meer gedetailleerd model vergeleken om na te gaan of de door de beregeningsplanner berekende vochtgehalten en bijbehorende beregeningsadviezen daarmee in overeenstemming zijn.

De beregeningsplanner berekent per dag de vochtinhoud van de wortelzone. Dit gebeurt door de vochtvoorraad van de vorige dag te verhogen met de eventuele neerslag en capillaire nalevering en te verlagen met de actuele verdamping. Als de vochtinhoud een zekere kritische waarde bereikt, geeft de planner aan dat beregend kan worden. Op alle acht bedrijven is voor elk perceel de papieren variant van de beregeningsplanner bijgehouden.

Van tevoren is voor elk perceel na bodemkartering volgens een vastgesteld protocol een representatief bodemprofiel bepaald, opgebouwd uit bouwstenen van de Staringreeks. Tevens is de bewortelbare diepte en de grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen geschat. Op drie percelen per bedrijf zijn gedurende de zomer wekelijks metingen verricht om de vochttoestand te kunnen volgen. Op elke vaste locatie in elk perceel zijn vochtgehalten en drukhoogten op 15 en 25 cm diepte gemeten. De relatie tussen vochtgehalte en drukhoogte is de pF-curve en de waarnemingen vormden een zogenaamde veldcurve. Door de veldcurve en de pF-curve behorend bij de bouwsteen van de Staringreeks voor de bovengrond met elkaar te vergelijken is nagegaan hoe goed de gekozen bouwsteen past bij het werkelijke fysische gedrag van de bodem.

SWAP 2.0 is een simulatiemodel voor de beschrijving van de hydrologie in de onverzadigde zone, gecombineerd met een model voor gewasgroei. De met SWAP berekende drukhoogten en vochtgehalten op 15 en 25 cm diepte konden worden vergeleken met de gemeten drukhoogten en vochtgehalten. Op basis van metingen in het veld bleek voor veel percelen dat de bodemfysische karakteristieken en/of bewortelingsdiepte anders waren dan eerst aangenomen. In dergelijke gevallen is modelkalibratie uitgevoerd door een aantal invoergegevens voor SWAP, zoals laagdikte of bewortelingsdiepte, aan te passen. Vervolgens zijn ook de berekende en gemeten (vaak geschatte) gewasopbrengsten met elkaar vergeleken. De gesimuleerde grasopbrengsten benaderen de geschatte praktijkopbrengsten redelijk.

De gesimuleerde maïsopbrengsten wijken maar in drie van de acht gevallen af van de praktijk. Dit had vooral te maken met de keuze van de meetplek in het maïsperceel.

In 1996 is niet exact volgens de beregeningsplanner beregend, omdat de juiste invoergegevens ontbraken en bovendien te laat is gestart. Zowel met de pc-versie van de beregeningsplanner (pc-planner) als met SWAP is daarom achteraf met verbeterde invoergegevens uitgerekend hoeveel er beregend had kunnen worden volgens de criteria van de beregeningsplanner. Daarnaast zijn met SWAP situaties nagerekend zonder berekening en met de werkelijk uitgevoerde berekening in 1996 plus een gift van 10 mm extra per beregeningsgift. Voor grasland bleek dat volgens de beregeningsplanner, gebruik makend van de juiste invoergegevens, in alle gevallen minder beregend had hoeven worden dan werkelijk uitgevoerd en dus lijkt waterbesparing mogelijk bij het toepassen van de beregeningsplanner. Verhoging van de beregeningsgiften zou in een aantal gevallen volgens SWAP wel hebben geleid tot hogere gewasproductie en dus is het belangrijk om de economische consequenties van de scenario's door te rekenen. Voor maïs zijn de resultaten wisselend. Soms zou volgens de planner minder zijn beregend en soms meer. De gevolgen voor gewasopbrengst zijn over het algemeen groter dan bij grasland.

Een goede keuze van uitgangspunten voor de beregeningsplanner is cruciaal. In 1997 zal extra nadruk komen te liggen op verbetering van de vaststelling van de bodemkundige gegevens en bewortelingsdiepte.

Voor zover mogelijk zijn de berekende vochthuishouding volgens de pc-planner en SWAP met elkaar vergeleken. De verschillen tussen de balansposten bleken slechts klein te zijn en dus lijkt de beregeningsplanner goed in staat om de vochttoestand te berekenen. Om de oorzaken voor de (kleine) verschillen te kunnen achterhalen is voor 1997 een vergelijking van de methoden op dagbasis wenselijk.

1 Inleiding

Dit eerste tussenrapport beschrijft de resultaten van hydrologische berekeningen voor het project 'Beregenen op Maat' in Noord-Brabant voor het jaar 1996. De doelstelling van dit project is een praktisch hulpmiddel te ontwikkelen en te introduceren dat de agrariër in staat stelt efficiënter en op maat te beregenen. De bedoeling hiervan is om te komen tot minder waterverbruik voor beregening dan voorheen. Als subdoelen zijn geformuleerd: 1) een beoordeling van de gebruiksmogelijkheden van de CLM-beregeningsplanner, 2) een beoordeling van de gevolgen van het toepassen van deze planner voor het waterverbruik, de bedrijfsvoering en het inkomen, 3) het ontwikkelen en toetsen van praktische richtlijnen voor een beregeningsstrategie met minimaal waterverbruik en optimale bedrijfsvoering als gevolg en 4) het ontwikkelen en beoordelen van technische en economische criteria voor een optimale beregeningsstrategie. Het onderzoek is uitgevoerd door het 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)

Over de resultaten van het eerste onderzoeksjaar (1996) zullen vier tussenrapporten verschijnen. Het eerste rapport gaat vooral in op het (veld)onderzoek op acht referentiebedrijven en de bevindingen van deze bedrijven bij het toepassen van de CLM-beregeningsplanner. De bijdrage van DLO-Staring Centrum betreft vooral hydrologische berekeningen voor deze acht bedrijven en deze zijn beschreven in dit tussenrapport. Als derde tussenrapport verschijnt een rapportage over scenarioberekeningen met ook economische consequenties en ten slotte zal er een samenvattend rapport verschijnen. Het voor u liggende tussenrapport geeft een voorlopig antwoord op de vragen van subdoelstellingen 1) en 2).

In het volgende hoofdstuk komt de werkwijze aan bod met een summier beschrijving van de beregeningsplanner en de veldwaarnemingen en een toelichting op de kalibratie van het simulatiemodel SWAP 2.0 (Werkgroep SWAP, 1996). Het derde hoofdstuk bevat de resultaten van deze kalibratie voor in totaal 24 locaties. Per bedrijf is voor drie locaties gerekend, waarvan twee in graslandpercelen en één in een maïsperceel. Vanwege startproblemen en onjuiste basisgegevens bleek het voor de bedrijven nogal eens moeilijk om de adviezen van de beregeningsplanner te volgen. Om nu toch te achterhalen hoe de beregeningsplanner zou hebben gewerkt als de juiste basisgegevens voorhanden waren geweest, is met de pc-versie van de beregeningsplanner (pc-planner) alsnog het groeiseizoen 1996 doorgerekend met verbeterde invoergegevens. De resulterende beregeningsadviezen zijn vergeleken met de werkelijk uitgevoerde beregening voor de acht bedrijven. Dit geeft aan of toepassing van de pc-planner (Opticrop, 1997) met de juiste invoergegevens leidt tot meer of minder waterverbruik.

De simulaties met SWAP 2.0 zijn bedoeld om te controleren of met de beregeningsplanner de hydrologie voldoende wordt beschreven. Voor zover mogelijk zijn de resultaten van SWAP en de berekeningen met de pc-planner met elkaar

vergeleken. Ten slotte is ook een vergelijking gemaakt met de berekeningen volgens de vereenvoudigde vochtboekhouding (wat een belangrijke basis voor de later ontwikkelde beregeningswijzer (PR, 1997) vormt) voor groeiseizoen 1996. Dit alles is beschreven in hoofdstuk 4. In het vijfde hoofdstuk worden resultaten van berekeningen met SWAP voor vier scenario's beschreven, namelijk geen beregening, beregening zoals werkelijk uitgevoerd in 1996, beregening volgens de criteria van de beregeningsplanner en beregening zoals werkelijk uitgevoerd, maar dan met een verhoogde giftgrootte. De conclusies en discussie zijn vermeld in het laatste hoofdstuk.

2 Werkwijze

Op acht referentiebedrijven in de provincie Noord-Brabant is in 1996 de CLM-beregeningsplanner gebruikt om het juiste tijdstip en de bijbehorende hoeveelheid voor beregening vast te stellen. Op drie percelen per bedrijf zijn intensief metingen verricht om de door de beregeningsplanner berekende vochttoestand te kunnen toetsen. Daarnaast is de hydrologie zoals de planner die berekent met een meer gedetailleerd model vergeleken om na te gaan of de door de beregeningsplanner berekende vochtgehalten en bijbehorende beregeningsadviezen daarmee in overeenstemming zijn. Het hiervoor gebruikte gedetailleerde model is SWAP 2.0 (Werkgroep SWAP, 1996). Met behulp van de meetgegevens kon het model SWAP worden gecalibreerd. In dit hoofdstuk wordt eerst kort ingegaan op de beregeningsplanner en de metingen en vervolgens op de gevolgde werkwijze voor de verschillende berekeningen.

2.1 De beregeningsplanner en de benodigde gegevens

De beregeningsplanner berekent per dag de vochtinhoud van de wortelzone. Dit gebeurt door de vochtvoorraad van de vorige dag te verhogen met eventuele neerslag en capillaire nalevering, en te verlagen met de actuele verdamping. Als de vochtinhoud een zekere kritische waarde V_{start} bereikt, geeft de planner aan dat er beregend kan worden. Als er niet beregend wordt, zal de vochtinhoud van de wortelzone verder afnemen als er geen regen valt. De beregeningsplanner geeft dan aan wanneer het gewas ernstige schade zal gaan oplopen, namelijk bij Vuiterslijk. De beregeningsgift wordt berekend als het verschil tussen de maximale hoeveelheid vocht (mm) in de wortelzone bij veldcapaciteit (V_{max}) en de actuele vochtinhoud (V_{act}), waarbij bovendien een marge wordt gehanteerd (Boland et al., 1996). Op de acht referentiebedrijven is voor elk perceel de papieren variant van de beregeningsplanner bijgehouden. Dit wordt verder beschreven door Hoving et al. (1997).

Van tevoren is voor elk perceel na bodemkartering volgens een vastgesteld protocol (De Groot en Hack-ten Broeke, 1996) een representatief bodemprofiel bepaald, opgebouwd uit bouwstenen van de Staringreeks (Wösten et al., 1994). Tevens is de bewortelbare diepte en de grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen geschat. De bewortelingsdiepte is vervolgens bepaald op basis van de bewortelbare diepte (maximale diepte voor dat perceel) en het gewas in 1996. DLV-Almelo (= Dienst Landbouw Voorlichting) heeft op basis hiervan de benodigde tabellen voor de beregeningsplanner aangemaakt. Met deze tabellen kan bij gegeven grondwaterstand de capillaire nalevering worden afgelezen en daarnaast kunnen hiermee V_{start} en V_{max} bij verschillende grondwaterstanden worden bepaald. De beregeningsplanner gaat uit van een startsituatie in het voorjaar, van waaruit wordt verder gerekend. De startsituatie zal over het algemeen niet veel afwijken van de veldcapaciteit (bijvoorbeeld $pF = 2,0$ bij een grondwaterstand van 100 cm - mv.). In het voorjaar van 1996 was het echter uitzonderlijk droog en was de bodem niet op veldcapaciteit.

Daarom zijn vochtmonsters genomen om de initiële vochttoestand te kunnen vaststellen.

Op de bedrijven zijn dagelijks neerslaghoeveelheden gemeten en ontving men van DLV de voor de regio berekende referentiegewasverdamping. Wekelijks werd de grondwaterstand gemeten op het bedrijf. Op basis van deze metingen en het gebruik van grasland en maïs kon de beregeningsplanning worden uitgevoerd.

2.2 Veldwaarnemingen

Op drie percelen per bedrijf zijn gedurende de zomer wekelijks metingen verricht om de vochttoestand te kunnen volgen. Op een vaste locatie in elk perceel zijn vochtgehalten en drukhoogten op 15 en 25 cm diepte gemeten. Het vochtgehalte is gemeten met Time Domain Reflectometry (TDR). De drukhoogten zijn met tensiometers gemeten. De drukhoogte is een maat voor de vochtspanning in de bodem en geeft aan hoezeer het water aan de bodem gebonden is of anders gezegd hoe hard de wortels aan het water moeten trekken om het te kunnen opnemen. Men spreekt dan ook wel van zuigspanning. De drukhoogte is niet bodemspecifiek en een bepaalde gemeten waarde heeft voor elk bodemtype dezelfde betekenis. Daarom is de drukhoogte beter geschikt voor een algemene karakterisering van de vochttoestand van de bodem dan vochtgehalte. De V_{start} - en V_{max} -waarden uit de beregeningsplanner zijn alle gerelateerd aan een specifieke drukhoogte, terwijl de bijbehorende vochtgehalten dus per bodemtype verschillen. De resultaten van de metingen van vochtgehalte en drukhoogte bieden de mogelijkheid om de berekeningen te toetsen voor de meetlocaties. Ook is het mogelijk om de - op hetzelfde moment gemeten - vochtgehalten en drukhoogten tegen elkaar uit te zetten. De relatie tussen deze twee grootheden is de waterretentiekarakteristiek of pF-curve. De veldwaarnemingen vormen een zogenaamde veldcurve. Bij de bodemkundige inventarisatie is voor elke bodemlaag een bouwsteen uit de Staringreeks met bijbehorende pF-curve gekozen. Door de veldcurve en Staringreekscurve met elkaar te vergelijken is na te gaan hoe goed de gekozen bouwsteen bij het werkelijke fysische gedrag van de bodem past.

2.3 Kalibratie van SWAP 2.0

SWAP 2.0 is een simulatiemodel voor de beschrijving van de hydrologie in de onverzadigde zone, gecombineerd met een model voor gewasgroei (Werkgroep SWAP, 1996). Als invoer voor het model zijn gegevens nodig die de bovenrandvoorwaarde van het systeem beschrijven (weergegevens, gewas), de onderrandvoorwaarde geven (bijvoorbeeld grondwaterstanden) en een beschrijving van het systeem zelf (bodemkundige gegevens zoals bodemfysische karakteristieken). Ten slotte moet een beginsituatie worden beschreven. Voor de referentiebedrijven zijn de weergegevens neerslag, temperatuur, dampdruk, windsnelheid en globale straling gebruikt. Behalve de neerslag (op het bedrijf gemeten) zijn de gegevens afkomstig van het weerstation Eindhoven of De Bilt. De berekende waarden voor gewasverdamping van beide stations zijn nauwelijks verschillend. De wekelijks gemeten grondwaterstanden zijn eveneens als invoergegevens gebruikt. De

bodemopbouw, geformuleerd voor de beregeningsplanner als gelaagdheid met bouwstenen van de Staringreeks voor de bodemfysische gegevens (waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek), is evenals de beworteling voor de berekeningen met SWAP hetzelfde als voor de beregeningsplanner.

De met SWAP berekende drukhoogten en vochtgehalten op 15 en 25 cm diepte konden vervolgens worden vergeleken met de gemeten drukhoogten en vochtgehalten. Op basis van metingen in het veld bleek voor veel percelen dat de bodemfysische karakteristieken en/of bewortelingsdiepte anders waren dan eerst aangenomen. Ook kwam het voor dat de locaties waar vochtmetingen zijn uitgevoerd een andere profielopbouw hadden dan de locaties waar bij de bedrijfskartering boringen zijn gedaan. Modelkalibratie is uitgevoerd door de modelparameters voor profielopbouw en beworteling aan te passen. Verdere kalibratie van SWAP is ten slotte vooral uitgevoerd met gewasparameters voor de maïspancelen, mede omdat de opkomstdatum van het gewas voor veel percelen duidelijk afweek van de gemiddelde situatie (waarvoor standaardinvoergegevens bekend zijn). Daarmee kon tevens de berekende oogstbare drogestofproductie van het gewas aangepast worden aan de geschatte en gemeten producties op de bedrijven. De berekende gewasproductie is vooral ook van belang voor de scenariostudies, waarbij gebruik wordt gemaakt van het modelinstrumentarium SWAP-GGB. Voor grasproductie was een dergelijke kalibratie niet mogelijk, omdat de grasproductie niet is gemeten, maar geschat. Dit werd onvoldoende nauwkeurig geacht.

2.4 Verschillende berekeningen en beregeningsvarianten

Vanwege de verschillende gebruikte invoergegevens voor bodem en beworteling was er geen rechtstreekse vergelijking tussen de oorspronkelijke berekeningen met de beregeningsplanner en die met SWAP meer mogelijk. Daartoe moest eerst met behulp van de beregeningsplanner opnieuw worden gerekend met de verbeterde invoergegevens. Daarvoor is gebruik gemaakt van de pc-versie van de beregeningsplanner (Opticrop, 1997) en verbeterde basisgegevens voor bodemopbouw en beworteling. De verschillende resultaten kunnen met elkaar worden vergeleken om een uitspraak te doen over waterverbruik en mogelijkheden voor vermindering van waterverbruik.

Het model SWAP 2.0 kon vervolgens worden gebruikt om een aantal varianten voor de acht bedrijven door te rekenen. Het betrof vier varianten: 1) geen berekening, 2) werkelijke berekening volgens praktijk 1996, 3) berekening volgens de criteria van de beregeningsplanner en 4) berekening volgens praktijk 1996 (variant 2) + 10 mm per gift. De resultaten van deze berekeningen dienen eveneens om een uitspraak te kunnen doen over mogelijkheden voor vermindering van watergebruik.

3 Resultaten berekeningen SWAP 2.0 in relatie tot resultaten van de beregeningsplanner en waarnemingen

In dit hoofdstuk komen eerst de simulatieresultaten van de berekeningen met SWAP aan de orde voor de drie percelen per referentiebedrijf. Het doel van deze exercitie is een acceptabele berekening van de vochtuishouding te verkrijgen alvorens tot scenarioberekeningen kan worden overgegaan en een vergelijking met de resultaten van de beregeningsplanner kan worden gemaakt.

3.1 Vergelijking berekende en gemeten vochttoestanden

In de figuren in aanhangsel 1 zijn voor elk perceel waar in 1996 intensief de vochttoestand in de bovengrond gemeten is (drie percelen per bedrijf) de gemeten en berekende drukhoogten en vochtgehalten op 15 en 25 cm diepte weergegeven. De gesimuleerde drukhoogten en vochtgehalten zijn een weergave van het resultaat na de kalibratie. In aanhangsel 2 zijn de waterretentiekarakteristieken (pF-curves) weergegeven, waarbij de punten in de grafieken de gelijktijdige waarnemingen van drukhoogte en vochtgehalte weergegeven. De meeste van die waarnemingen bevinden zich nabij het middelste deel van de curve, omdat dat de meest voorkomende veldomstandigheden zijn. Echt natte omstandigheden (natter dan $pF = 1$) komen doorgaans alleen voor bij hoge grondwaterstanden en/of veel neerslag. Drukhoogten beneden $h = -1000$ cm ($pF = 3$) kunnen met de tensiometers niet gemeten worden. Als de waarnemingen (veldcurve) duidelijk afwijken van de vooraf gekozen pF-curve uit de Staringreeks (bijvoorbeeld B2), is in de figuur tevens de curve aangegeven die voor de berekeningen is gehanteerd (bijvoorbeeld B1). In de figuren van aanhangsel 2 zijn ook de door het PAV bepaalde waterretentiekarakteristieken weergegeven. Hiervoor zijn in de bewuste percelen ringmonsters genomen op 8-13 cm en 35-40 cm en in het laboratorium zijn pF-curves bepaald. Deze waarnemingen zijn eveneens gebruikt om na te gaan of een andere curve uit de Staringreeks nodig was. In tabel 1 is terug te vinden voor welke percelen de profielopbouw (bestaande uit bouwstenen van de Staringreeks) aangepast is en wanneer de bewortelingsdiepte is verbeterd (zie ook aanhangsel 3). In de tabel is ook op kwalitatieve wijze aangegeven hoe goed de simulaties van aanhangsel 1 zijn in vergelijking met de metingen.

Vooraf gekozen bouwstenen voor de bovengrond B2 of B3 uit de Staringreeks bleken achteraf nogal eens vervangen te moeten worden door een B1-bouwsteen. B1 is de bouwsteen voor leemarm zand, B2 voor zwak lemig zand en B3 voor sterk lemig zand. Een mogelijke oorzaak voor deze benodigde aanpassing, terwijl in het veld toch duidelijk zwak lemig zand is aangetroffen, kan hysteresis zijn. De meeste pF-curves worden bepaald bij uitdroging in het laboratorium en het is bekend dat herbevochtiging van de bodem niet exact volgens dezelfde curve verloopt. De oorzaak van dit verschil is de onregelmatige vorm en verdeling van poriën, waardoor het leeglopen van die poriën anders verloopt dan het vullen. Bij bevochtiging van de bodem zou dan een andere pF-curve worden gemeten en dit

effect heet hysteresis. Als gevolg hiervan kan zwak lemig zand zich bij herbevochtiging (bijvoorbeeld bij beregenen) dan meer gedragen volgens de curve die voor leemarm zand is vastgesteld. Daarnaast is het zo dat de curves uit de Staringreeks gemiddelden zijn van een serie gemeten curves voor een bepaalde textuurklasse (Wösten et al., 1994), waarbij de individuele curves soms zeer verschillend zijn. Daardoor kan binnen een textuurklasse (zoals leemarm of zwak lemig) toch een forse variatie voorkomen als gevolg van ruimtelijke variatie in bijvoorbeeld dichtheid, organischestofgehalte en mediaan van de zandfractie (M50). Daarom ook kan op basis van de bevindingen voor de acht onderzoeksbedrijven niet worden geconcludeerd dat voor de bovengrond altijd een B1 gehanteerd zou kunnen worden. Door de aanpassing van de profielopbouw en beworteling zijn de meeste simulaties van vochtgehalten en drukhoogten verbeterd. De oorspronkelijke en aangepaste invoergegevens zijn gegeven in aanhangsel 3.

Tabel 1 Kwaliteit van de simulaties na kalibratie en de belangrijkste aanpassingen in de bodemkundige gegevens

Perceel	Kwaliteit kalibratie ¹		Aanpassingen aan uitgangspunten	
			Beworteling	Profielopbouw
Janssen	2	#	ja	ja
	11	#	nee	ja
	maïs	#	ja	ja
School	1	+	ja	ja
	3	#	nee	ja
	maïs	#	nee	ja
Genugten	4	#	nee	ja
	7	#	nee	nee
	maïs	+	ja	ja
Evers	3	#	nee	nee
	10	#	nee	ja
	maïs	+	nee	ja
Mulders	7	#	ja	ja
	16	#	nee	nee
	maïs	#	ja	ja
Smulders	11	#	nee	ja
	18	+	nee	ja
	maïs	#	ja	ja
Klaassen	2	+	ja	ja
	7	#	nee	ja
	maïs	+	ja	ja
Keijzers	5	#	nee	ja
	10	#	nee	ja
	maïs	+	nee	ja

¹ De kwaliteit van de kalibratie is aangegeven met + = goed, # = redelijk, - = slecht.

3.2 Vergelijking berekende en gemeten (of geschatte) gewasproductie

3.2.1 Grasland

Voor berekeningen van hydrologie, graslandgebruik en bedrijfseconomie met het SWAP-GGB-BBPR-instrumentarium is het belangrijk dat ook de gesimuleerde gewasopbrengsten overeenkomen met gemeten of geschatte waarden. In de studie waarbij verschillende scenario's met elkaar worden vergeleken en waarbij ook de gevolgen voor het bedrijfsinkomen worden berekend, vormen verschillen in productie zelfs één van de belangrijkste kengetallen.

Op de onderzochte percelen zijn wekelijks grashoogten gemeten. Deze grashoogten kunnen worden omgerekend naar een geschatte grasproductie. Daarnaast hebben vier agrariërs in de graslandgebruikskalender van hun bedrijf de geschatte opname van geweid gras en de maaiopbrengsten vermeld. De opname van geweid gras wordt geschat op basis van het aantal weidedagen vermenigvuldigd met het aantal stuks vee of op basis van snedehoogten bij maaien. Deze getallen zijn gebruikt voor de vergelijking met de cumulatieve grasproductie die met het model SWAP is berekend. Aangezien het moeilijk te zeggen is hoeveel waarde kan worden gehecht aan een vergelijking tussen berekeningen en schattingen, is vooral nagegaan of de orde van grootte van de berekeningen acceptabel is. Figuur 1 geeft toch de indicatie dat in de meeste gevallen de simulaties de praktijk aardig benaderen. De praktijkschattingen zijn bij de meeste percelen wat hoger dan de gesimuleerde productie. Vooral in het begin blijkt de gesimuleerde productie op een aantal percelen nogal achter te blijven bij de praktijk. Mogelijk is het initiële grasbestand te laag ingeschat.

Er is getracht de berekende brutodrogestofproductie zoals die door het model SWAP wordt berekend om te zetten naar nettoproductie per maai- en weidesnede. Dit lukt nooit helemaal, omdat bijvoorbeeld in SWAP bij voldoende aanbod van gras altijd uitgegaan wordt van een beweidingsoptname van 365 kg ds/ha. Er is ook geen rekening gehouden met maaiverliezen. Bij zware maaisseneden houdt het model rekening met extra hergroei- en vertraging voor de volgende snede en als dit in werkelijkheid niet is opgetreden zullen berekende en geschatte productie zeker van elkaar afwijken.

3.2.2 Maïsland

Door het PAGV zijn vlak na de bloei (begin augustus) en aan het eind van het groeiseizoen (eind september) drogestofopbrengsten bepaald. Deze metingen zijn direct geschikt om te vergelijken met gesimuleerde drogestofproductie door SWAP. Kalibratie van SWAP is mogelijk met de gewasparameters. In figuur 2 zijn de simulaties en metingen tegen elkaar uitgezet.

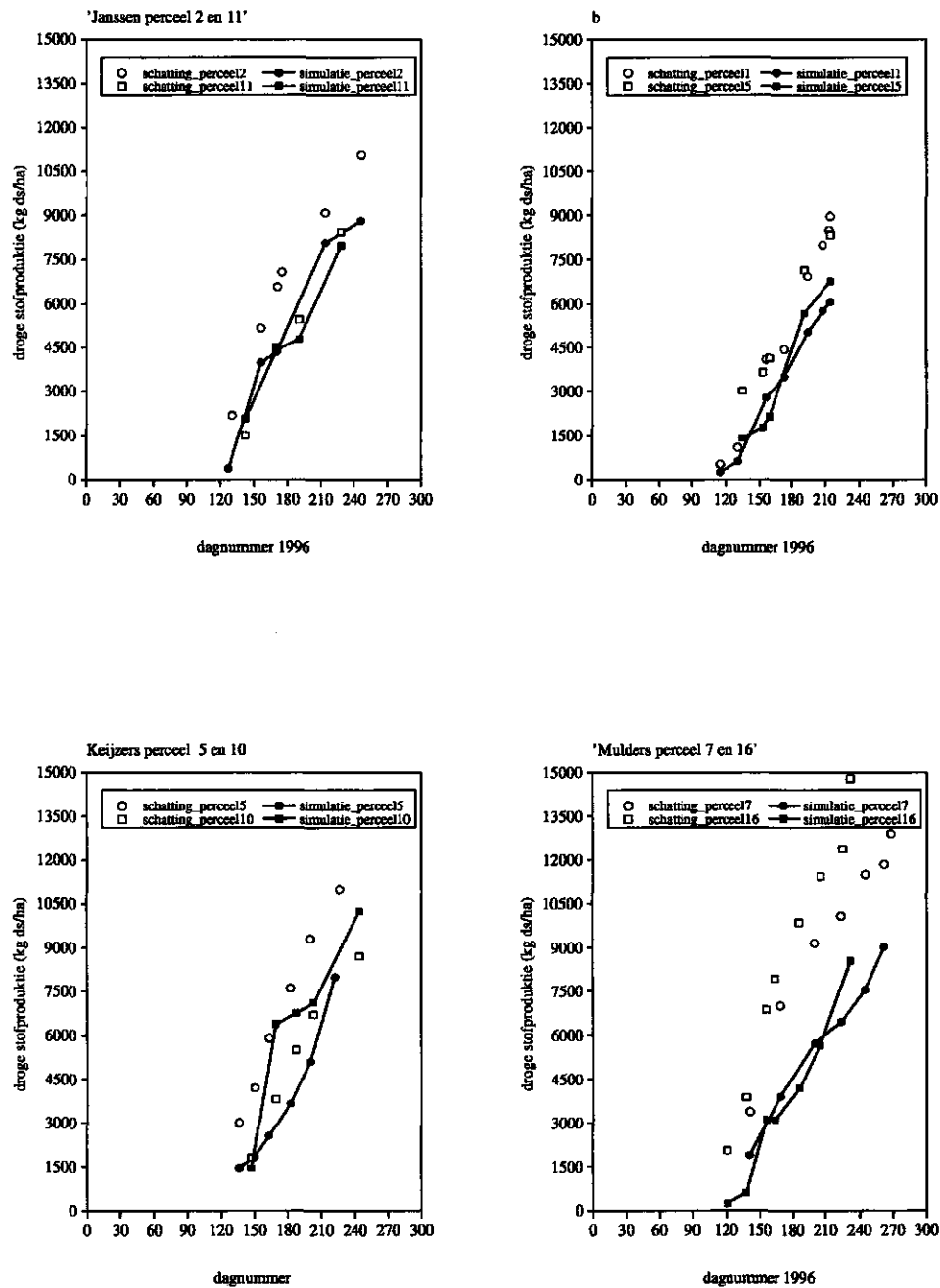


Fig. 1 Cumulatieve gesimuleerde en geschatte grasproductie op vier bedrijven met ieder twee graslandpercelen

Het blijkt dat vooral op de 'natte' bedrijven (School en Janssen) hoge producties zowel worden berekend als gemeten. Op drie bedrijven is het maïsland berekend, namelijk bij Evers, Keijzers en Mulders. Op twee van deze bedrijven (met uitzondering van Evers) zijn ook hoge producties gemeten en berekend. Een afwijkende productie werd berekend bij Evers, Klaassen en Smulders. De meetplek in het maïsperceel waar de hydrologie is gemeten wijkt in alle drie de gevallen nogal af van het gemiddelde van het perceel. Bij Klaassen stond op de meetplek aan het eind van het groeiseizoen verdorde maïs van nauwelijks 1,50 m hoog. De voor zo'n plek berekende gewasproductie zal dus niet mogen overeenkomen met de gemeten perceelsgemiddelde productie. Bij Evers bedroeg de maïshoogte op de meetplek 2,5 m en het gewas zag er nog opvallend groen uit. De perceelsgemiddelde gewasproductie bedroeg daar slechts 13,3 ton droge stof per ha. Bij Smulders bestaat driekwart van het perceel uit enkeerdgronden met diepe grondwaterstanden. Bij de meetplek was de bewortelbare bovengrond slechts 40 cm dik en was de grondwaterstand veel ondieper. In tabel 2 zijn de bevindingen nogmaals weergegeven.

Tabel 2 Beoordeling van de berekende maïsproductie

Bedrijf	Beregend	Nat	Droog	Kwaliteit kalibratie (+ = goed; # = redelijk; - = slecht)
Janssen	X			#
School	X			+
Genugten		X		+
Evers	X		X	-
Mulders	X		X	+
Smulders			X	-
Klaassen			X	-
Keijzers	X		X	+

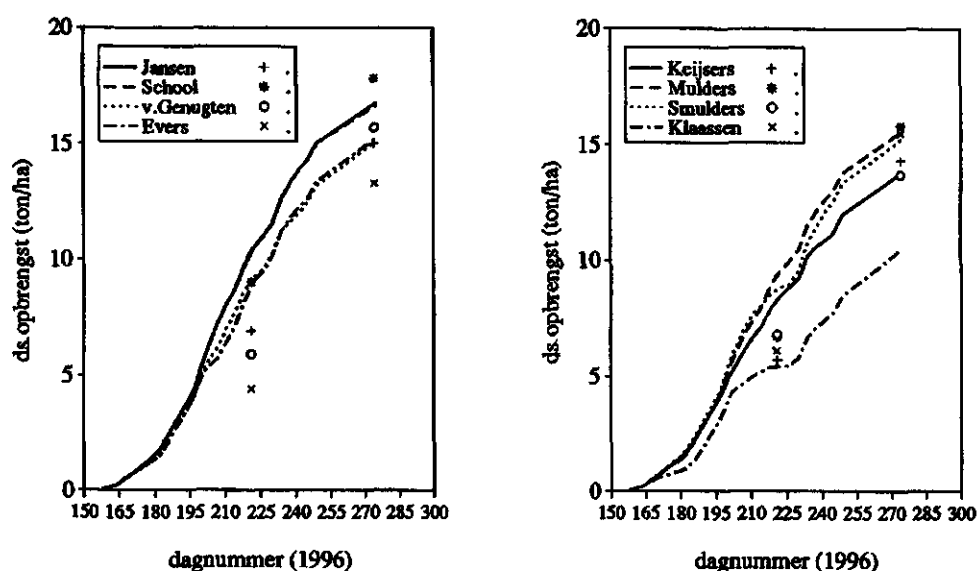


Fig. 2 Gesimuleerde en gemeten maïsproductie op acht bedrijven

4 Berekeningen met pc-versie van de beregeningsplanner en vergelijking met andere methoden

In dit hoofdstuk komen eerst de berekeningen met de pc-versie van de beregeningsplanner (pc-planner) voor 1996 met verbeterde invoergegevens aan bod. De resultaten worden vergeleken met de werkelijk uitgevoerde berekening in 1996. Vervolgens worden de berekeningen vergeleken met de resultaten van SWAP en de vereenvoudigde vochtboekhouding voor hetzelfde seizoen.

4.1 Berekeningen met pc-versie van de beregeningsplanner

In 1996 is gebruik gemaakt van de papieren versie van de beregeningsplanner. Achteraf bleek dat er vaak uitgegaan is van onvoldoende nauwkeurige gegevens over profielopbouw en beworteling. Om na te gaan of het gebruik van de beregeningsplanner kan leiden tot beperking van het watergebruik is het groeiseizoen achteraf doorgerekend met meer representatieve keuzes van profielopbouw en beworteling gebaseerd op metingen. In aanhangsel 4 staan de gegevens van de oorspronkelijke en de meer representatieve bodemprofielen en beworteling. De aldus geplande berekening is daarna vergeleken met de werkelijke berekening in 1996.

Er zijn enkele verschillen tussen de pc-versie en de papieren versie van de beregeningsplanner:

- De referentiegewasverdamping wordt voor grasland in de pc-versie gecorrigeerd met een gewasfactor voor het aantal groeidagen vanaf de vorige snede. Deze factor is maximaal 1,2. De papieren versie hanteert steeds een factor 1,0.
- Bij hele droge of natte bodem wordt de verdamping in de pc-versie gecorrigeerd voor een aangepaste gewasweerstand. In de papieren versie wordt de verdamping gehalveerd als de bodem droger is dan V_{start} .

Bij de berekening met de pc-planner voor grasland is voor de beregeningsgiften geen rekening gehouden met het werkelijke graslandgebruik op dat moment. Hierdoor kan het voorkomen dat er tegelijk met beweiding berekend wordt. Voor zover mogelijk is het werkelijke graslandgebruik wel gebruikt om de gewasverdamping te corrigeren voor veldperioden (perioden dat het gemaaid gras nog op het land ligt) en beweidsperioden. De berekende beregeningsgift wordt in de beregeningsplanner steeds gekort met 10 mm om eventueel komende neerslag te kunnen bergen. Wanneer hierdoor beregeningsgiften lager dan 15 mm werden berekend, werd de korting in de pc-planner gehalveerd tot 5 mm; de minimale gift was 15 mm. Bij maïs is steeds pas berekend wanneer Vouterlijk bereikt was. Hierdoor konden grotere giften worden gegeven dan bij V_{start} . Daarmee komt deze berekening per definitie niet overeen met de papieren versie en evenmin met de berekeningen volgens SWAP. Voor berekeningen in de volgende fase van dit project zullen er afspraken over aannames gemaakt worden om dergelijke verschillen te voorkomen.

4.1.1 Grasland

In tabel 3 zijn berekening volgens de pc-planner en werkelijke berekening naast elkaar gezet voor grasland. Daarnaast is in de tabel aangegeven of er - gebruik makend van de pc-planner en de verbeterde uitgangsgegevens voor profielopbouw en beworteling (gegeven in aanhangsel 4) - minder watergebruik mogelijk was geweest in 1996. In alle gevallen berekende de pc-planner voor grasland een lagere berekening dan is toegepast. Voor het bedrijf van Klaassen zijn geen nieuwe berekeningen uitgevoerd (zijnde het bedrijf dat niet beregent). Het gemiddelde verschil voor de resterende veertien percelen tussen berekening volgens de pc-planner en de werkelijk uitgevoerde berekening in 1996 op grasland is 65 mm.

Tabel 3 Geplande berekening berekend met de pc-planner en de werkelijke berekening voor grasland in groeiseizoen 1996

Perceel		Berekening groeiseizoen 1996		Beoordeling waterverbruik (planner versus praktijk)
		pc-planner	praktijk 1996	
Janssen	2	62	99	minder
	11	0	32	minder
School	1	0	91	minder
	5	0	0	gelijk
vGenugten	4	52	110	minder
	7	0	114	minder
Evers	3	83	176	minder
	10	146	195	minder
Mulders	7	150	210	minder
	16	110	180	minder
Smulders	11	75	162	minder
	18	45	208	minder
Klaassen	2	-	0	-
	7	-	25	-
Keijzers	5	107	149	minder
	10	104	117	minder

Voor de vergelijking wordt ervan uitgegaan dat de berekeningswijze volgens de papieren versie zoals die gebruikt is in 1996 en de pc-planner niet al te grote verschillen vertonen. Hoewel dit niet geheel juist is, zijn de verschillen in berekende beregeningsbehoefte en werkelijke gift vooral veroorzaakt doordat toepassing van de papieren versie van de beregeningsplanner op basis van verkeerde gegevens onbruikbare adviezen gaf, die nauwelijks opgevolgd zijn. Als bleek dat de berekende en gemeten vochttoestand onvoldoende met elkaar overeenkwamen, was het vertrouwen in de adviezen van de beregeningsplanner weg. In de praktijk is daarom vaak meer en frequenter beregend dan de papieren beregeningsplanner aangaf. Aangezien er niet volgens de foutieve adviezen is beregend, is ook niet geheel

duidelijk of de waterbesparingsmogelijkheden, zoals die in tabel 3 naar voren komen, wel of niet worden veroorzaakt door de verbeterde uitgangsggegevens.

4.1.2 Maïs

In tabel 4 zijn voor maïs de berekening volgens de pc-planner en de werkelijke berekening naast elkaar gezet. Er is slechts in drie van de acht gevallen berekend in 1996. Daarnaast is in de tabel aangegeven of er, gebruik makend van de pc-planner en de verbeterde gegevens waarbij bovendien pas berekening plaatsvindt bij Vouterlijk, waterbesparingsmogelijkheden zijn. In één geval lijkt enige besparing mogelijk, terwijl in de andere beregende situaties volgens de pc-planner meer berekend had moeten worden. Waar niet berekend is in 1996, was dat ook volgens de pc-planner niet nodig.

Tabel 4 Geplande berekening berekend met de pc-planner en werkelijke berekening voor maïsland in groeiseizoen 1996

Perceel	Berekening groeiseizoen 1996		Beoordeling waterverbruik (planner versus praktijk)
	pc-planner	praktijk 1996	
Janssen	0	0	gelijk
School	0	0	gelijk
v. Genugten	0	0	gelijk
Evers	82	55	meer
Mulders	140	150	minder
Smulders	0	0	gelijk
Klaassen	-	0	-
Keijzers	182	105	meer

4.2 Vergelijking van berekeningen met pc-planner, SWAP en Vereenvoudigde vochtboekhouding

In het tussenrapport van Hoving et al. (1997) wordt een vereenvoudigde methode gepresenteerd waarmee de berekening kan worden gepland (de vereenvoudigde vochtboekhouding). De methode vormt een belangrijk deel van de achtergrond voor de opzet van de later ontwikkelde beregeningswijzer (PR, 1997). Er is ook met die methode voor alle onderzoekspcelen op grasland een berekening uitgevoerd van de totale beregeningsbehoefte voor 1996 voor de periode van 1 mei t/m 31 augustus. Zowel met SWAP als met de pc-planner is diezelfde periode doorerekend om de beregeningsbehoefte voor 1996 te bepalen. De berekeningen met SWAP worden in meer detail beschreven in het volgende hoofdstuk. De resultaten van de drie verschillende berekeningsmethoden kunnen nu met elkaar worden vergeleken.

De vereenvoudigde vochtboekhouding-methode is vooraf gecalibreerd op de gemeten vochtinhoud van het perceel. Vooral de profielopbouw is tijdens die kalibratie enigszins aangepast. Voor de beworteling zijn gemeten waarden aangehouden. Voor de berekeningen met SWAP is gecalibreerd aan de hand van gemeten drukhoogten en vochtgehalten op de meetplekken in de percelen en dus niet aan de hand van perceelsgegevens. Ook hierbij is de profielopbouw enigszins aangepast en is de beworteling overgenomen van de metingen. De meetplekken zijn zoveel mogelijk op representatieve plekken in de percelen gekozen. Wanneer dan de gecalibreerde methoden (zowel de vereenvoudigde vochtboekhouding als SWAP) de metingen redelijk goed beschrijven, mogen de resultaten van de modellen toch met elkaar vergeleken worden.

4.2.1 Grasland

Tabel 5 Vergelijking van geplande berekening (gift in mm) en capillaire nalevering (cap. in mm) volgens pc-planner, SWAP en de vereenvoudigde vochtboekhouding voor grasland in 1996

Perceel		pc-planner		SWAP		Vereenvoudigde vochtboekhouding	
		Gift	Cap.	Gift	Cap.	Gift	Cap.
Janssen	2	62	119	0	107	144	0
	11	0	220	0	122	50	78
School	1	0	224	0	154	0	197
	5	0	257	0	198	0	224
vGenugten	4	52	98	20	113	100	48
	7	0	146	31	102	100	45
Evers	3	83	159	0	148	192	0
	10	146	73	50	85	168	0
Mulders	7	150	4	114	61	168	0
	16	110	15	94	75	144	0
Smulders	11	75	125	0	141	153	46
	18	45	151	19	130	141	77
Klaassen	2	-	-	65	86	-	-
	7	-	-	32	101	-	-
Keijzers	5	107	19	84	76	175	0
	10	104	94	24	109	175	0

In tabel 5 zijn de geplande berekeningsgiften met de pc-planner, met SWAP en met de vereenvoudigde vochtboekhouding voor grasland voor de periode 1 mei t/m 31 augustus onderling vergeleken. De gemiddelde berekeningsbehoefte voor veertien percelen (Klaassen niet meegerekend) was volgens de berekeningen met de pc-planner 67 mm, volgens berekeningen met SWAP 31 mm en volgens de berekeningen met de vereenvoudigde vochtboekhouding 122 mm. De gemiddelde berekening in de praktijk in 1996 (tabel 3) was 132 mm. Een belangrijk verschil tussen de pc-planner

en SWAP enerzijds en de vereenvoudigde vochtboekhouding anderzijds was de aanname van een bepaalde hoeveelheid capillaire nalevering bij de vereenvoudigde vochtboekhouding. De berekende capillaire nalevering is daarom ook in tabel 5 opgenomen. In zeven van de veertien gevallen hield de vereenvoudigde vochtboekhouding 0 mm nalevering aan en in vijf gevallen gold een maximumnalevering van 1 mm/dag. In de overige gevallen gold een maximum van 3 mm/dag. In de periode van 1 mei t/m 31 augustus bedroeg de referentiegewasverdamping 322 mm. De neerslag liep op de acht bedrijven uiteen van 214 tot 259 mm. De verschillen in de berekende beregeningsgiften kunnen volgens tabel 5 groot zijn. De verschillen tussen de vereenvoudigde boekhouding en SWAP zijn voor een groot deel te verklaren uit de verschillen in berekende of aangenomen capillaire nalevering. Verder wordt een deel verklaard door verschillen in actuele verdamping en effectieve neerslag. De vereenvoudigde vochtboekhouding komt uit op gemiddeld 20 mm meer verdamping dan SWAP op basis van gewasfactoren. In SWAP is de actuele verdamping afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid vocht in de wortelzone. De effectieve neerslag is in SWAP gecorrigeerd voor interceptie. Bovendien ontstaan er verschillen door afrondingen.

In onderstaand voorbeeld is een balans van de wortelzone gegeven volgens de drie methoden voor perceel 2 bij Janssen. De balans wordt beschreven door in- en uitgaande posten. Ingaande posten zijn neerslag, beregening en nalevering. Uitgaande posten zijn verdamping en afvoer en ten slotte vormt berging het saldo.

Methode	Neerslag (mm)	Beregening (mm)	Nalevering (mm)	Verdamping (mm)	Berging (mm)	Afvoer (mm)
pc-planner ¹	251	45	117	289	16	110
SWAP 2.0	250	0	107	274	22	61
Vereenvoudigde vochtboekhouding	259	144	0	299	37	67

¹ Balans van 9 mei t/m 31 augustus

In de tweede helft van augustus is veel neerslag gevallen (129 mm). De berekende afvoer en bergingsverandering zijn vooral in deze periode veroorzaakt. Blijkbaar was de vochttoestand van het profiel bij de berekeningen met SWAP en de vereenvoudigde vochtboekhouding voorafgaand aan de regenperiode droger dan bij de pc-planner, waardoor meer water geborgen kon worden en er minder werd afgevoerd. Uit dit voorbeeld komt opnieuw naar voren dat verschillen tussen SWAP en de vereenvoudigde vochtboekhouding vooral veroorzaakt worden door de capillaire nalevering.

4.2.2 Maïsland

In tabel 6 zijn de geplande beregeningsgiften volgens de pc-planner en SWAP voor maïs onderling vergeleken. Omdat de geplande beregening volgens de pc-planner pas is uitgevoerd bij Vouterlijk, zijn de resultaten eigenlijk niet vergelijkbaar. Met de vereenvoudigde vochtboekhouding zijn voor maïs geen berekeningen uitgevoerd. In de tabel is behalve de geplande totale beregening ook steeds de netto-nalevering

aangegeven, omdat afvoer niet als aparte component is uitgerekend. De netto-nalevering is het verschil tussen bruto nalevering (zoals in paragraaf 4.2.1 gebruikt) en de percolatie naar het grondwater. Het blijkt dat de verschillen in netto-nalevering niet erg groot zijn. De berekende totale beregeningsgift loopt, zoals verwacht door de verschillende aannames, nogal eens uiteen. De totale berekende gift met als beregeningsmoment Vstart (gehanteerd in SWAP) is vaak groter.

Tabel 6 Vergelijking van geplande beregening (gift in mm) en capillaire nalevering (cap. in mm) volgens pc-planner en SWAP 2.0 voor maïsland in 1996

Perceel	pc-planner		SWAP 2.0	
	Gift	Cap.	Gift	Cap.
Janssen	0	115	31	123
School	0	102	43	137
v. Genugten	0	71	71	49
Evers	82	71	94	39
Mulders	140	-64	117	-32
Smulders	0	149	57	94
Klaassen	-	-	99	-6
Keijzers	182	-51	104	-170

4.3 De beschrijving van de hydrologie door de beregeningsplanner

Modelberekeningen met SWAP waren in eerste instantie bedoeld om na te gaan of de beregeningsplanner in staat is om de hydrologie van de wortelzone goed te beschrijven. De meetgegevens van de meetplekken (drukhoogten en vochtgehalten) dienden daarbij als mogelijkheid om eerst SWAP te calibreren. Vervolgens zouden de resultaten van de beregeningsplanner ermee worden vergeleken. Aangezien de bodemkundige uitgangsgeschiedenis nogal eens moesten worden bijgesteld, waren de resultaten niet zonder meer vergelijkbaar. Daarom zijn met de pc-planner berekeningen uitgevoerd met aangepaste profielopbouw en beworteling. De beregeningsplanning kon daarna worden vergeleken met de planning door SWAP. Uit tabel 5 bleek dat in tien van de veertien gevallen SWAP voor grasland lagere beregening berekend had dan de beregeningsplanner.

SWAP beschreef met de gecalibreerde invoergegevens de metingen redelijk tot goed. Het zou daarmee in hetzelfde vochtgehalte-traject in staat moeten zijn om een goede beregening te plannen. Eigenlijk is alleen een goede vergelijking mogelijk als SWAP een goed kalibratieresultaat had en de bodemkundige invoergegevens niet te veel verschillen van de gebruikte gegevens voor de pc-planner. Uit het hierna gegeven voorbeeld van de balansen van perceel 4 bij Van Genugten blijkt dat onderlinge verschillen vaak maar klein zijn. Samen zorgen deze kleine verschillen, zoals een

8 mm hogere verdamping en een 15 mm lagere nalevering, in dit geval voor één beregeningsgift meer volgens de planner en daarmee toch voor een verschil in totale berekening van 32 mm.

Methode	Neerslag (mm)	Berekening (mm)	Nalevering (mm)	Verdamping (mm)	Berging (mm)	Afvoer (mm)
pc-planner	208	52	98	294	32	31
SWAP 2.0	208	20	113	286	12	48

Aangezien de verschillen in de balansposten voor de hierboven beschreven percelen (met goede kalibratie en vergelijkbare invoergegevens) ondanks de verschillen in aannames over het algemeen klein zijn, kan geconcludeerd worden dat de berekeningen met de pc-planner een goede overeenstemming vertonen met de berekeningen volgens SWAP.

5 Met SWAP berekende berekening volgens de beregeningsplanner en enkele scenario's

In dit hoofdstuk wordt eerst de hoeveelheid berekening volgens de criteria van de beregeningsplanner berekend met SWAP. Wanneer de bodemfysische profielopbouw en de beworteling meteen goed was gekozen zou de planner meteen die hoeveelheid benodigde berekening berekend hebben, die in 1996 nodig was om de gewassen qua watervoorziening optimaal te laten groeien. Aangezien dit niet zo was, zijn nu deze modelberekeningen uitgevoerd om de berekening volgens de criteria van de planner met de juiste invoergegevens na te bootsen. Vervolgens kunnen nu verschillende varianten met elkaar worden vergeleken. Er zijn berekeningen uitgevoerd voor een scenario zonder berekening, een scenario waarbij de werkelijke beregeningsgiften van 1996 zijn gehanteerd en een scenario waarbij 10 mm extra per gift werd berekend. De onderlinge vergelijking levert een beeld op van de mogelijkheden om tot waterbesparing te komen.

5.1 Berekeningen met SWAP

Met SWAP is na de kalibratie (zoals beschreven in hoofdstuk 3) opnieuw gerekend om in eerste instantie te bepalen hoeveel berekening er volgens dezelfde criteria als de beregeningsplanner had moeten plaatsvinden in 1996. Tevens wordt daarbij de bijbehorende drogestofproductie bepaald. Aangezien de modelkalibratie voor grasopbrengsten gebaseerd is op schattingen (zie hoofdstuk 3: productie was niet gemeten), moet bij de interpretatie van de resultaten enig voorbehoud worden gemaakt. De beregeningscriteria van de beregeningsplanner houden in dat er berekend mag worden vanaf V_{start} en dat betekent vanaf een vochtgehalte behorend bij $pF = 2,7$ in de wortelzone. De beregeningsgift wordt berekend als het verschil in vochtinhoud van de wortelzone bij V_{max} (bij veldcapaciteit) en die bij V_{start} ($pF = 2,7$), verminderd met 10 mm. Naast berekening volgens de beregeningsplanner en de werkelijke berekening zoals die door de bedrijven in 1996 is uitgevoerd (praktijk 1996) zijn twee andere scenario's doorgerekend, te weten: onberekend en werkelijke giften in 1996 + 10 mm. Er waren nog te weinig gegevens voorhanden om criteria voor berekening in het verleden te formuleren. In het algemeen is gezegd dat de beregeningsgiften gemiddeld 10 mm groter waren (Hoving et al., 1997). Om deze situatie na te bootsen zijn voor het laatstgenoemde scenario bij de beregeningsgiften van 1996 steeds 10 mm opgeteld. Er zijn dus voor vier scenario's berekeningen uitgevoerd voor hydrologie en gewasproductie. Deze vier scenario's zijn:

- onberekend
- berekening volgens de praktijk in 1996
- berekening volgens de criteria van de beregeningsplanner
- berekening volgens de praktijk in 1996 + 10 mm

5.1.1 Grasland

Bij berekening volgens de beregeningsplanner wordt berekening geadviseerd bij Vstart, namelijk $pF = 2,7$ in het midden van de wortelzone. Het gebruikte model SWAP is zo ingesteld dat het berekening berekent zodra op 15 cm diepte deze drukhoogte wordt bereikt. Dit is in de meeste gevallen het midden van de wortelzone voor grasland. De beregeningsgift wordt berekend door aanvulling van de vochtinhoud van de wortelzone (V_{act}) tot veldcapaciteit (V_{max}) - 10 mm. Dit is identiek aan de CLM-beregeningsplanner. In SWAP zijn de giften minimaal 10 mm groot gesteld. Wanneer kleinere giften worden berekend, is de correctie achterwege gelaten. Wanneer de berekende gift kleiner dan 20 mm zou zijn, is de korting van 10 mm eveneens achterwege gelaten, omdat in dat geval alsnog giften kleiner dan 10 mm zouden ontstaan. Bijna alle berekende beregeningsgiften kwamen daardoor uit tussen 10 en 20 mm. Deze aanname is mede de oorzaak voor verschillen met de (later uitgevoerde berekeningen met de) pc-planner uit hoofdstuk 4.

Het graslandgebruik is zoveel mogelijk gelijk gehouden met het werkelijke gebruik in 1996. In enkele gevallen is het aantal dagen beweiding aangepast aan de gesimuleerde grasproductie om te voorkomen dat het gras volgens het model nauwelijks nog kon herstellen. Bij het scenario waarbij niet berekend is, kwam het wel eens voor dat het werkelijke graslandgebruik in geen verband stond met de gesimuleerde graslandproductie. In die gevallen is verder gerekend met een maaisnede na elke 2500 kg drogestofproductie per ha.

In tabel 7 zijn voor de vier scenario's de berekende graslandproducties vermeld. Bij die scenario's waar berekend is, zijn de totale beregeningsgiften genoemd. Er bestaan volgens de tabel behoorlijke verschillen tussen de drogestofproducties van de verschillende percelen. Zelfs wanneer de drogestofproductie nauwelijks gelimiteerd wordt door de hoeveelheid beschikbaar water (scenario berekend volgens de praktijk in 1996 + 10 mm) zijn er grote verschillen. Deze verschillen zijn allen te herleiden tot verschillen in graslandgebruik. Dit betekent dat onderlinge vergelijking van de drogestofproductie niet verantwoord is. Alleen verschillen tussen scenario's voor eenzelfde perceel kunnen daarom zinvol worden bekeken.

In alle gevallen, met uitzondering van Klaassen waar niet berekend is, was de met SWAP gesimuleerde beregeningsgift volgens de criteria van de beregeningsplanner lager dan in de praktijk van 1996. De gesimuleerde drogestofproductie was daarentegen meestal niet veel lager dan de praktijk (varieerde van 0-900 kg ds/ha). Alleen op perceel 7 van Mulders werd fors meer productie berekend (5000 kg ds/ha). In enkele gevallen was de gewasproductie lager bij een beregeningsgift + 10 mm ten opzichte van de werkelijke berekening. In dergelijke gevallen bleek volgens het model natschade te ontstaan. De betekenis van de verschillen in gewasproductie zal vooral aan de orde komen bij de economische berekeningen.

De werkelijk gemeten grondwaterstanden zijn voor SWAP gebruikt om de onderrand van het systeem te definiëren. De grondwaterstanden zullen als gevolg van een scenario met minder berekening en daardoor mogelijk meer nalevering anders verlopen dan de in 1996 gemeten grondwaterstanden. Een herberekening voor een

aantal daarvoor gevoelige percelen met diepere grondwaterstanden leidde echter niet tot veel grotere beregeningsgiften (bijvoorbeeld slechts 10 mm meer bij een grondwaterstandsverlaging van 30 cm). De geïntroduceerde fout door het hanteren van gemeten grondwaterstanden is dus beperkt.

Tabel 7 Gesimuleerde drogestof-productie en berekening van grasland voor de acht referentie-bedrijven bij vier verschillende scenario's

Bedrijf/ perceel	Scenario						
	Onbere- gend	Beregend praktijk '96		Beregend volgens criteria planner		Beregend praktijk '96 + 10 mm	
	ds-pro- ductie (ton/ha)	ds-pro- ductie (ton/ha)	Berege- ning (mm)	ds-produc- tie (ton/- ha)	Berege- ning (mm)	ds-pro- ductie (ton/ha)	Bere- ge- ning (mm)
Janssen							
2	10,2	10,7	99	10,2	0	10,8	159
11	10,1	10,2	32	10,1	0	10,2	52
School							
1	8,9	8,9	91	8,9	0	8,9	141
5	10,3	10,3	0	10,3	0	10,3	0
v. Genugten							
4	10,7	11,8	110	11,3	20	11,9	160
7	10,3	13,3	114	12,4	35	12,7	164
Evers ²							
3	11,7	11,9	176	11,7	0	11,9	266
10	9,7	12,0	195	11,3	62	12,0	285
Mulders							
7	5,3 ¹	13,5	210	8,5	137	12,7	290
16	7,8 ¹	11,9	180	11,6	140	12,1	250
Smulders							
11	8,9	9,0	162	8,9	0	9,0	212
18	9,4	11,0	208	10,4	37	11,0	387
Klaassen ²							
2	8,8	8,8	0	11,2	73		
7	10,3	10,3	25	11,2	52		
Keijzers							
5	6,5	11,3	149	11,0	117	12,1	199
10	10,7	11,6	117	11,2	45	11,7	177

¹ Graslandgebruik van 1996 is dan niet realistisch; nu is bij elke 2500 kg drogestof grasproductie per ha gemaaid.² Geen graslandgebruik bekend; nu is bij elke 2500 kg drogestof grasproductie per ha gemaaid

Tabel 8 Het percentage benut beregeningswater en de beregeningsefficiency voor de graslandpercelen van de acht referentie-bedrijven bij de drie beregeningsscenario's

Bedrijf/ perceel	Scenario					
	Beregend praktijk '96		Beregend planner		Beregend praktijk '96 +10 mm	
	% be- nut wa- ter ¹	effi- ciency ² (kg/mm)	% benut water ¹	effi- ciency ² (kg/mm)	% benut water ¹	effi- ciency ² (kg/mm)
Janssen						
2	8	5	-	-	5	4
11	3	3	-	-	3	2
School						
1	4	0	-	-	2	0
5	-	-	-	-	-	-
v. Genugten						
4	15	10	50	30	15	8
7	32	26	71	60	21	15
Evers						
3	3	1	-	-	2	1
10	25	12	62	42	19	8
Mulders						
7	117 ³	39	139 ³	23	84	26
16	51	21	65	27	38	17
Smulders						
11	2	1	-	0	1	1
18	15	9	62	27	7	4
Klaassen						
2	-	-	71	33	-	-
7	-	-	55	17	-	-
Keijzers						
5	78	40	79	39	54	28
10	16	8	31	11	11	6

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

² efficiency = extra kg drogestof gewasproductie per mm beregening

³ het grasland is verdroogd onder onberegende omstandigheden. Hierdoor kan de benutting groter dan 100% zijn

De getallen in tabel 7 zijn niet direct vergelijkbaar met de getallen uit hoofdstuk 4, omdat daar werd gerekend voor de periode vanaf 1 mei t/m 31 augustus en in tabel 7 de resultaten zijn gegeven voor berekeningen vanaf 1 maart 1996. De gemiddelde gesimuleerde beregening voor de veertien percelen (Klaassen niet meegerekend) volgens de criteria van de beregeningsplanner is 42 mm. Het gemiddelde van de werkelijke beregening in 1996 is 132 mm en de gemiddelde beregening bij het scenario praktijk + 10 mm is 196 mm. Als dit laatste scenario inderdaad een

weergave is van hoe voorheen berekend werd is er gemiddeld in 1996 al 64 mm minder berekend.

In tabel 8 is aangegeven in welke mate het beregende water efficiënt is aangewend en hoeveel van het beregende water effectief benut is door het gewas. De efficiency en benutting zijn aan elkaar gekoppeld, doordat extra transpiratie door het model SWAP direct wordt vertaald in extra drogestofproductie. Opnieuw willen wij hier benadrukken dat deze getallen alleen gebruikt mogen worden voor onderlinge vergelijking van de scenario's en niet van de percelen, omdat de gesimuleerde productie niet kon worden getoetst aan metingen. Bij Janssen en School (natte bedrijven) is de benutting en efficiency bij alle scenario's laag. Op de graslandpercelen 7 en 16 van het bedrijf Mulders, perceel 7 van Van Genugten, 10 van Evers en 5 van Keijzers blijkt het beregende water in de praktijk van 1996 voor meer dan 25% benut te zijn met een efficiency van meer dan 12 kg per mm. Wanneer volgens de planner berekend zou zijn, bereiken ook de percelen 4 van Van Genugten, 10 van Evers, 18 van Smulders en 10 van Keijzers een benutting van meer dan 25%. Bij Klaassen wordt dit criterium ook ruimschoots bereikt, maar er is geen vergelijking met de praktijk mogelijk. Wanneer meer water gegeven wordt dan in de praktijk van 1996 (praktijk '96 + 10 mm) daalt zowel de benutting als de efficiency. Uit het oogpunt van effectief gebruik van water geeft berekening volgens de planner de beste resultaten. Het is dan ook aan te bevelen om in 1997 nauwkeurig volgens de planner (met verbeterde invoergegevens) te gaan beregenen.

In zes gevallen is de gesimuleerde beregeningsgift volgens de planner 0 mm. In de praktijk is slechts in één van die zes gevallen niet berekend. Alvorens een conclusie te trekken over de vraag of er te veel berekend is, is nagegaan of de gesimuleerde berekening volgens de beregeningsplanner terecht lager is dan wel of de realiteit van de simulaties in twijfel kan worden getrokken. Dit wordt bepaald door de mate waarin de gesimuleerde waterhuishouding (drukhoogten en vochtgehalten) de gemeten uitdroging goed beschreef (aanhangel 1). Voor de percelen van Smulders, de percelen van Van Genugten, perceel 3 van Evers en perceel 11 van Janssen waren de berekeningen onvoldoende, dus in tien van de zestien gevallen zijn de simulaties geschikt om een uitspraak te doen over de mate waarin in de praktijk van 1996 te veel of te weinig berekend is. Daarvan kan dus gezegd worden dat er volgens de planner minder berekend zou kunnen worden. Dit is een bevestiging van de constatering op basis van de berekeningen met de pc-planner in hoofdstuk 4.

5.1.2 Maïsland

Voor het hanteren van het beregeningscriterium $pF = 2,7$ in het midden van de wortelzone is de diepte voor maïsland op 20 cm gesteld. SWAP geeft op elk moment dat het criterium wordt bereikt aan dat er berekend moet worden en houdt er geen rekening mee dat wanneer $pF = 2,7$ in september bereikt wordt, het groeiseizoen bijna afgelopen is en berekening weinig zin heeft. De benodigde berekening volgens SWAP en de drogestofproductie voor maïs is gegeven in tabel 9.

Tabel 9 Gesimuleerde drogestofproductie en berekening van maïsland voor de acht referentie-bedrijven bij vier verschillende scenario's

Bedrijf	Scenario						
	Onbere-gend	Beregend praktijk '96		Beregend planner		Beregend praktijk '96 + 10 mm	
	ds-produc-tie (ton/-ha)	ds produc-tie (ton/-ha)	Berege-ning (mm)	ds-produc-tie (ton/-ha)	Berege-ning (mm)	ds-pro-ductie (ton/ha)	Bere-ge-ning (mm)
Janssen	16,8	16,8	0	16,8	31	-	-
School	16,6	16,6	0	16,7	43	-	-
v. Genugten	15,1	15,1	0	16,3	71	-	-
Evers	13,6	15,2	55	16,4	94	15,5	75
Mulders	10,3	15,6	150	14,8	117	16,8	200
Smulders	15,2	15,2	0	16,7	57	-	-
Klaassen	10,5	10,5	0	14,5	99	-	-
Keijzers	9,5	13,7	105	14,4	104	14,9	135

Tabel 10 Het percentage benut beregeningswater en de berekeningsefficiency voor de maïspercelen van de acht referentie-bedrijven bij de drie beregeningsscenario's

Bedrijf	Scenario					
	Beregend praktijk '96		Beregend planner		Beregend praktijk '96 +10 mm	
	% be-nut wa-ter ¹	efficiency ² (kg/mm)	% benut water ¹	efficiency ² (kg/mm)	% benut water ¹	efficiency ² (kg/mm)
Janssen	-	-	3	0	-	-
School	-	-	6	0	-	-
v. Genugten	-	-	36	17	-	-
Evers	63	29	64	30	53	25
Mulders	68	35	69	38	64	33
Smulders	-	-	57	26	-	-
Klaassen	-	-	75	40	-	-
Keijzers	81	40	88	47	80	40

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

² efficiency = extra kg drogestof gewasproductie per mm beregening

De beregeningsgiften bij Janssen en School van respectievelijk 31 en 43 mm dragen niet bij aan een verhoging van de gesimuleerde productie (productie bij het scenario onberegend is bijna even groot). De giften zouden dus net zo goed 0 mm kunnen zijn. Keijzers heeft in 1996 evenveel beregend als de gesimuleerde beregening

volgens de beregeningsplanner aangeeft. Berekening bij Van Genugten, Smulders en Klaassen zou volgens de planner aan te bevelen zijn. Evers heeft minder beregend dan door de planner wordt geadviseerd. Volgens de planner beregenen leidt bij Mulders tot een verlaagde beregeningsgift en een verlaagde productie. De economische consequenties van een en ander zijn vooralsnog niet duidelijk, maar worden in beschouwing genomen bij de scenariostudies. Beregenen volgens praktijk '96 + 10 mm leidt in alle drie de gevallen waarbij al beregend werd tot verdere verhoging van de productie.

In tabel 10 is aangegeven in welke mate het beregende water efficiënt is aangewend en hoeveel procent van het beregende water effectief benut is door het gewas. De efficiency en de benutting van het beregende water bij Janssen en School is zoals verwacht laag. Verder is efficiency (voor de drie bedrijven die in 1996 beregenden) van zowel de berekening in de praktijk '96 als die volgens de planner en die van de praktijk + 10 mm hoog namelijk gemiddeld 35, 38 en 33 kg drogestof per mm berekening. De benutting bedroeg respectievelijk 71, 74 en 66% van het beregende water. De efficiency en benutting lagen bij bijna alle percelen op een vergelijkbaar niveau. Uitzondering vormde de berekening volgens planner bij Van Genugten, waar slechts 36% benut werd met een efficiency van 17 kg drogestof per mm berekening. Op basis daarvan kan gezegd worden dat er vermoedelijk terecht niet beregend is. Hogere beregeningsgiften leidden voor maïsland nauwelijks tot lagere efficiency en benutting.

6 Conclusies en discussie

6.1 Gebruik van de beregeningsplanner voor het voorspellen van de vochttoestand

Het is cruciaal dat voor gebruik van de beregeningsplanner nauwkeurige informatie over profielopbouw van de bodem, beworteling en beginvochttoestand bekend is. Om de simulaties met SWAP 2.0 mogelijk te maken waren bijna voor alle proeflocaties verbeteringen nodig voor de vooraf aangenomen bodemopbouw en beworteling. Dit betekent dat voor die locaties de beregeningsplanner in 1996 niet van de juiste invoergegevens is voorzien.

Met verbeterde invoergegevens is met de pc-versie van de beregeningsplanner achteraf opnieuw voor alle percelen het groeiseizoen 1996 doorgerekend. In alle gevallen berekende de pc-planner een lagere beregeningsgift dan in 1996 is toegepast. De waterbalansen zoals die zijn berekend met de pc-planner en met SWAP zijn met elkaar vergeleken voor de percelen waarvoor de kalibratie met SWAP goed was bevonden en uiteindelijk dezelfde invoergegevens werden gebruikt. Er werden slechts kleine verschillen gevonden en daarom kan worden gezegd dat de beregeningsplanner de gesimuleerde vochthuishouding volgens SWAP benadert. De kleine verschillen kunnen wel verschillen in beregeningsgift veroorzaken. De oorzaken voor de verschillen kunnen het beste worden gevonden door de berekeningen van dag tot dag met elkaar te vergelijken. Het verdient aanbeveling om in 1997, waarbij van begin af aan dezelfde invoergegevens kunnen worden gehanteerd, deze vergelijking te maken.

6.2 Het watergebruik

Uit de berekeningen voor 1996 met de verbeterde invoergegevens voor grasland blijkt met zowel de pc-versie van de beregeningsplanner als met SWAP dat beregenen volgens de beregeningsplanner tot minder watergebruik had kunnen leiden dan is toegepast in de praktijk van 1996. Waterbesparing lijkt dus mogelijk.

Verdere verhoging van de beregeningsgiften zou in een beperkt aantal gevallen wellicht tot hogere productie hebben geleid. De economische consequenties van dergelijke verschillen zullen worden bepaald door de berekeningen met SWAP-GGB-BBPR.

Uit de berekeningen met SWAP voor maïsland blijkt dat op die percelen waar beregend is de berekening volgens de planner in één van de drie gevallen overeenkomt met de werkelijk uitgevoerde berekening. Twee percelen worden terecht niet beregend. Waterbesparing door gebruik van de beregeningsplanner is bij maïs niet te verwachten.

Zowel de efficiency als het percentage benut water zijn bij berekening van maïs veelal hoger dan bij berekening van grasland. Dit impliceert dat het verstandig kan zijn om voor verhoging van gewasopbrengst maïsland hogere prioriteit te geven bij beregenen dan grasland.

6.3 Verbeteringen voor beregenen op maat in 1997

Een goed gebruik van de beregeningsplanner staat of valt met goede bodemkundige uitgangsgesgevens. Dat lijkt een van de belangrijkste conclusies over het gebruik van de beregeningsplanner. De vraag is echter hoeveel tijd en geld er beschikbaar is om de juiste uitgangsgesgevens vast te stellen. In de praktijk blijkt dat er weinig tijd en geld beschikbaar is. Het gevolg is dat met beperkte middelen een slimme methode voor inventarisatie moet worden gevolgd, waarbij toch een goed inzicht wordt verkregen. In 1997 zal een aangepast protocol voor bodeminventarisatie worden opgesteld. Zaken die daarin meer aandacht moeten krijgen zijn de bewortelingsdiepte, bouwstenen van het profiel en beginvochtsituatie.

De bewortelingsdiepte van grasland moet gemeten worden. Bij twijfel over toekenning van bouwstenen voor bodemfysische karakterisering van het profiel, moeten bodemonsters worden genomen die vervolgens granulair geanalyseerd worden. Bij het onderzoek in 1997 besteedt SC-DLO vooral meer aandacht aan de juiste vaststelling van waterretentiekaracteristieken (pF-curves). Door metingen van granulaire samenstelling (textuur) van bodemonsters en toepassing van continue functies om vanuit textuur nauwkeuriger de karakteristieken te bepalen zal worden gezocht naar vervanging van de bouwstenen van de Staringreeks. De beginvochttoestand kan het beste door eenmalig drogen van een mengmonster van de wortelzone worden vastgesteld.

De metingen van drukhoogten en vochtgehalten op de meetplekken zullen ook in 1997 worden vergeleken met de modeluitkomsten van SWAP en de beregeningsplanner. Het is daarom belangrijk dat de locatie van de meetplek zo wordt gekozen dat die representatief voor het perceel is. De vervolgens berekende vochtuishouding met SWAP en de berekeningen met de beregeningsplanner kunnen vervolgens op dagbasis met elkaar worden vergeleken om zo verbeterpunten voor de beregeningsplanner op te sporen.

Literatuur

Boland, D., H. Bleumink en J.C. Buys, 1996. *Naar een beregeningsplanner voor agrariërs II. Toetsing in de praktijk*. Utrecht, CLM. Rapport 235.

Hoving, I.E., H. Everts en D.A. van der Schans, 1997. *Beregenen Op Maat. Toetsing van de beregeningsplanner in de praktijk. Onderzoeksresultaten 1996*. Lelystad, PR. Rapport 165.

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

Niet-gepubliceerde bronnen

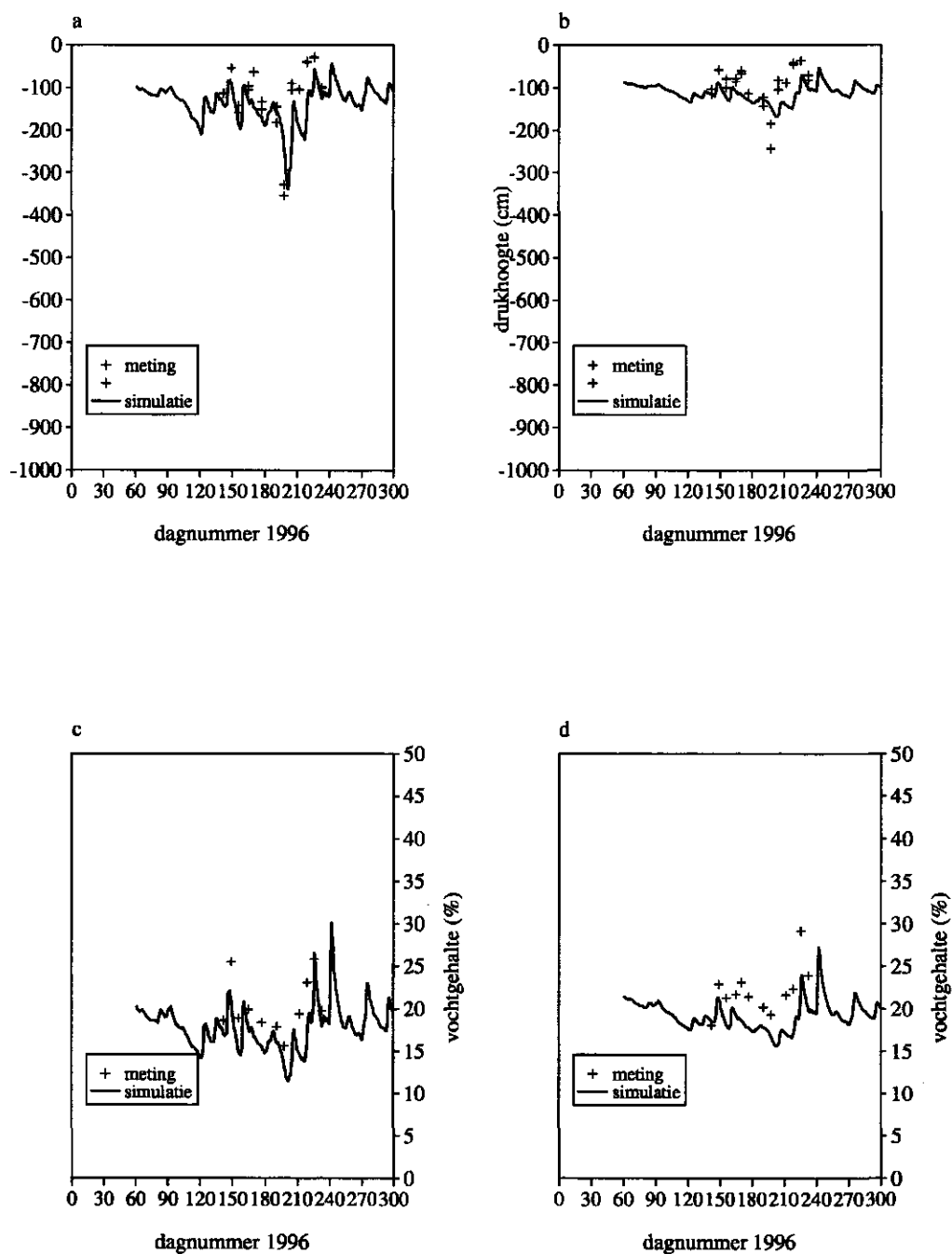
Groot, W.J.M. de en M.J.D. Hack-ten Broeke, 1996. *Protocol voor de inventarisatie van bodemkundig/hydrologische basisgegevens voor de beregeningsplanner*. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

Opticrop, 1997. *Beregeningsplanner versie 1.1*. Vijfhuizen, Opticrop BV.

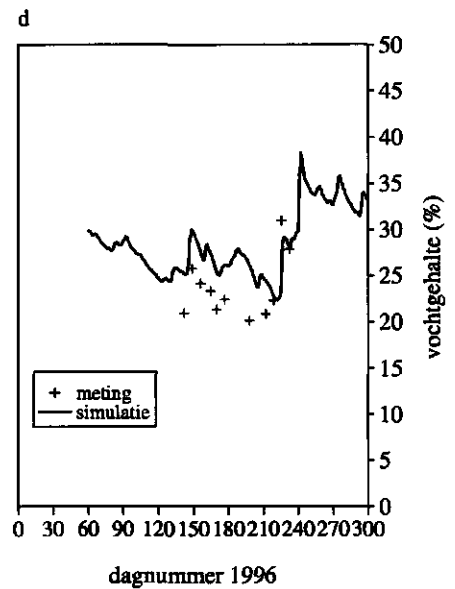
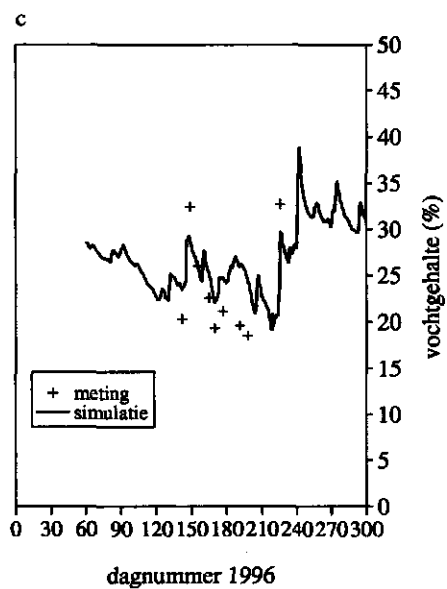
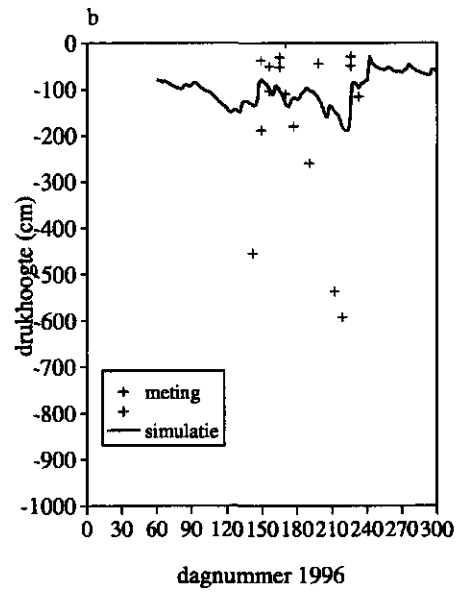
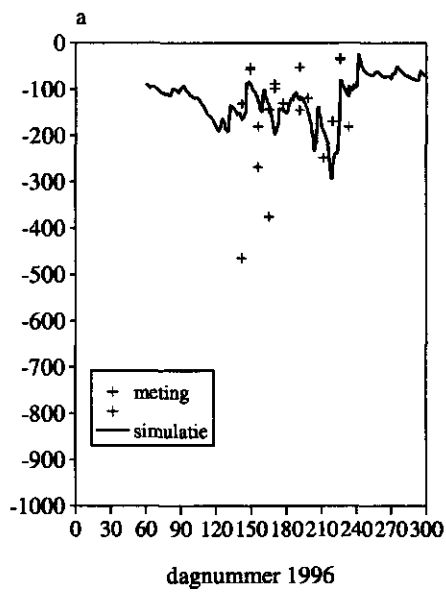
PR, 1997. *Beregeningswijzer*. Lelystad, PR.

Werkgroep SWAP, 1996. *SWAP crop growth and soil water balance simulation system, User's manual version 2.0*. Draft july 1996. WAU-Dept. of Water Resources/DLO-Winand Staring Centre.

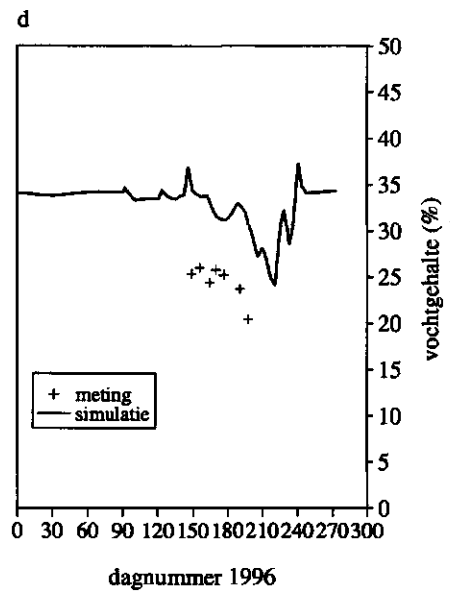
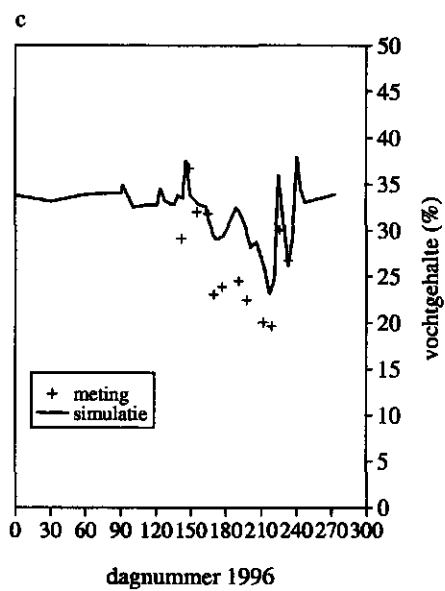
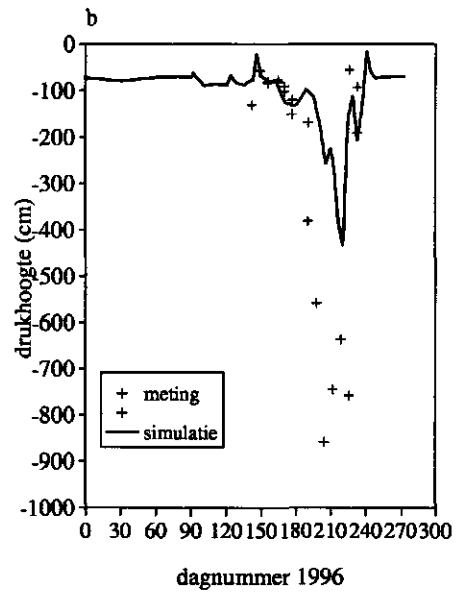
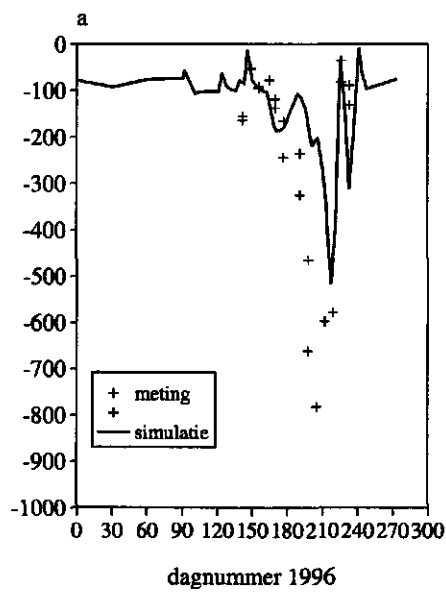
Aanhangsel 1 Resultaten calibratie SWAP 2.0: berekende en gemeten drukhoogten en vochtgehaltes



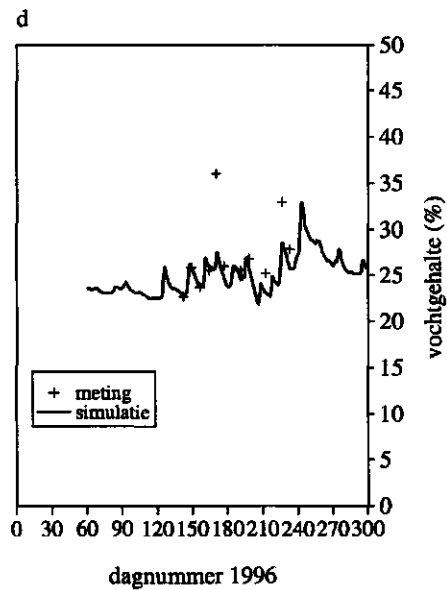
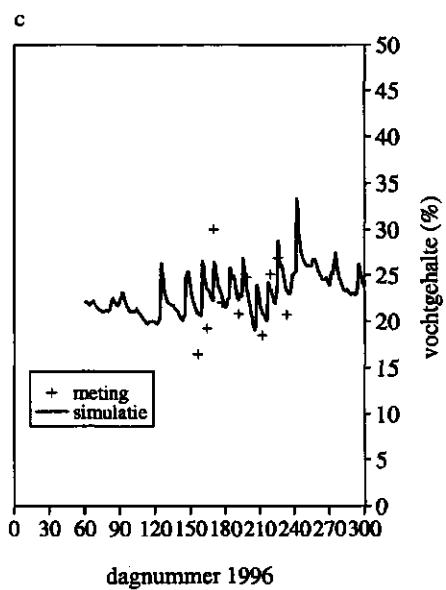
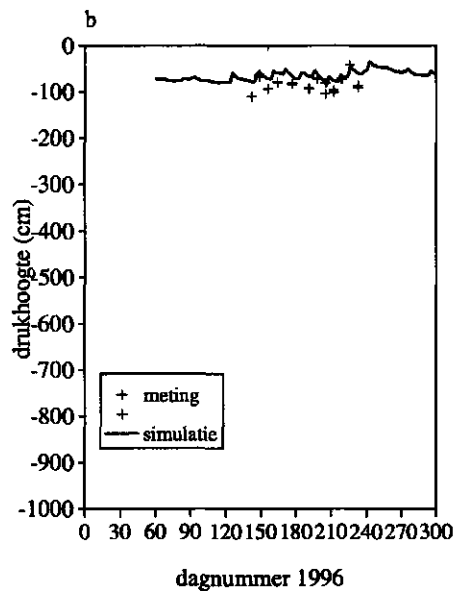
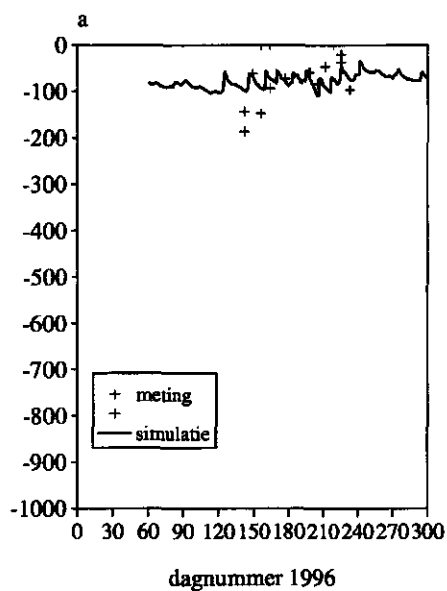
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehaltes op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 2 van dhr. Janssen



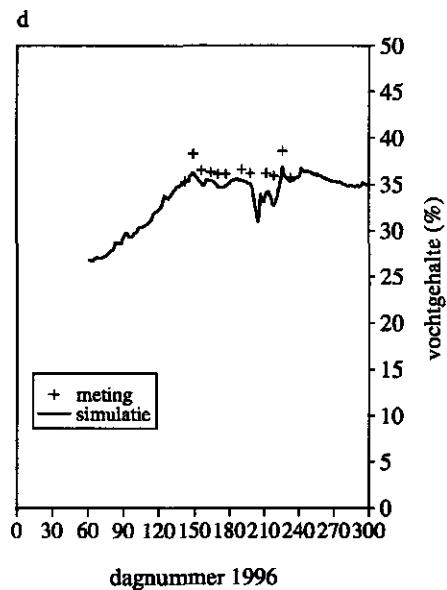
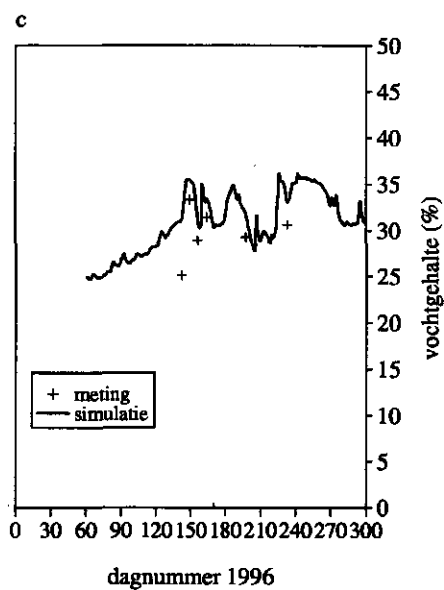
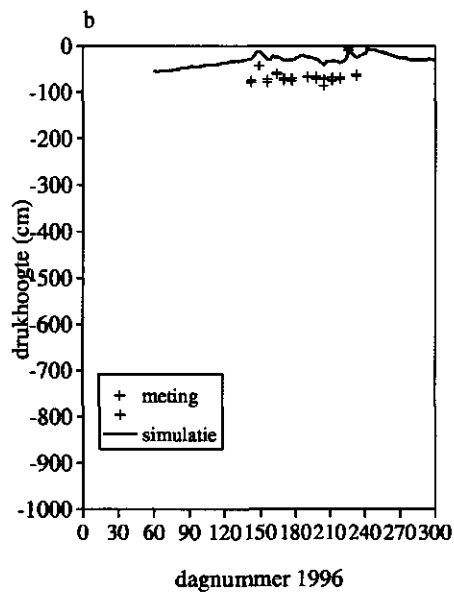
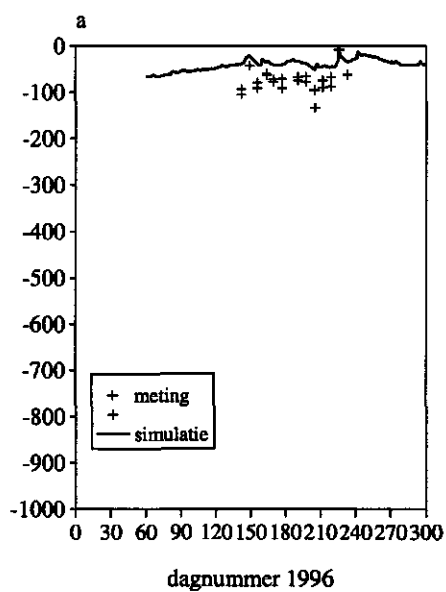
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehaltes op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 11 van dhr. Janssen.



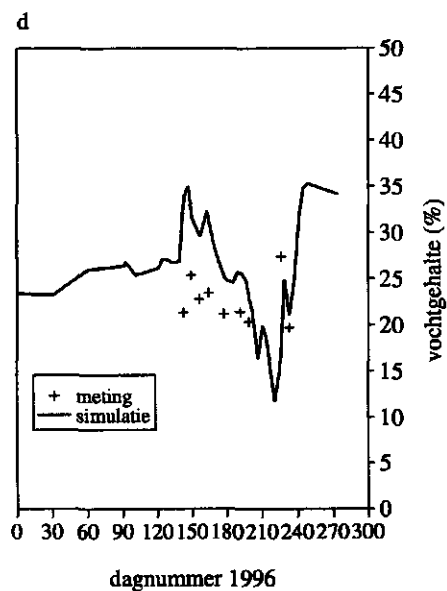
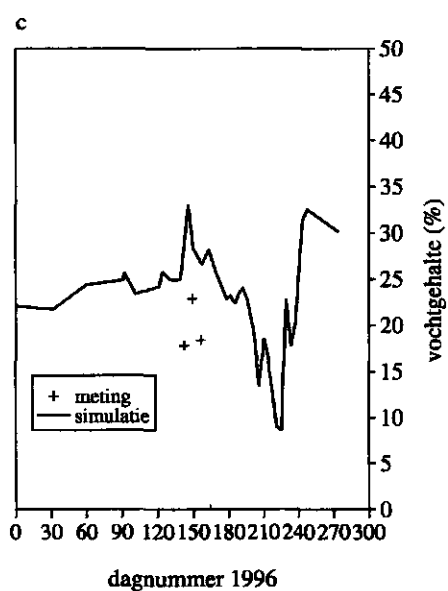
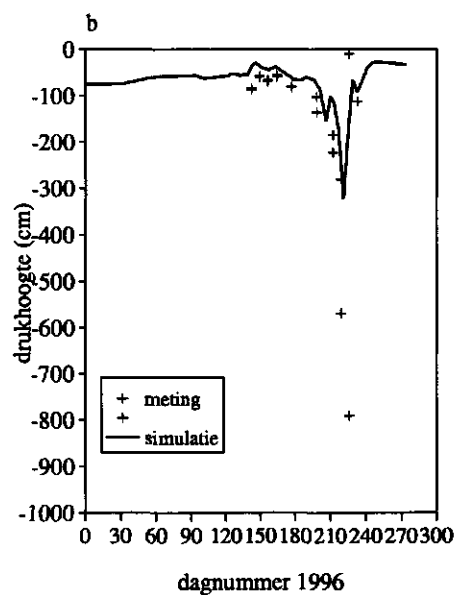
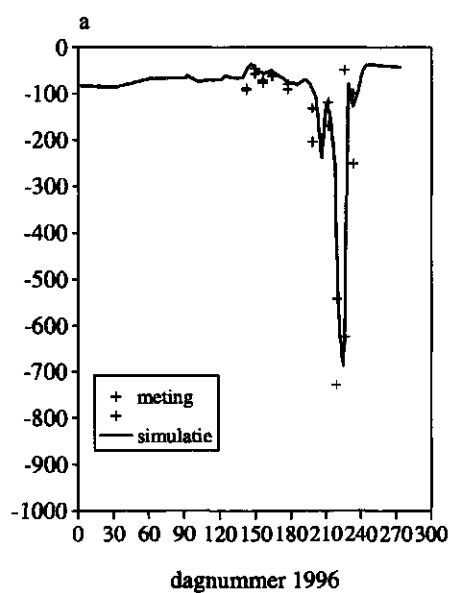
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehaltes op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Janssen.



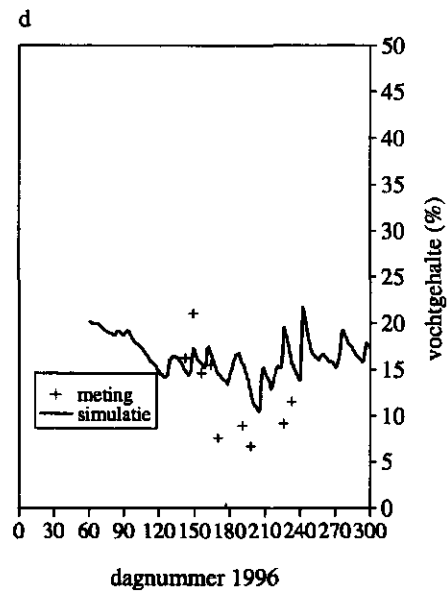
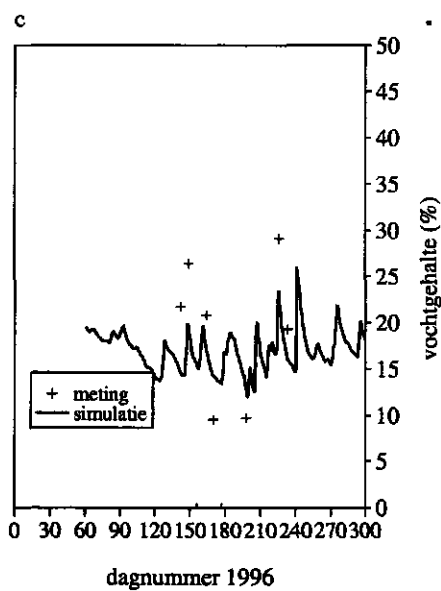
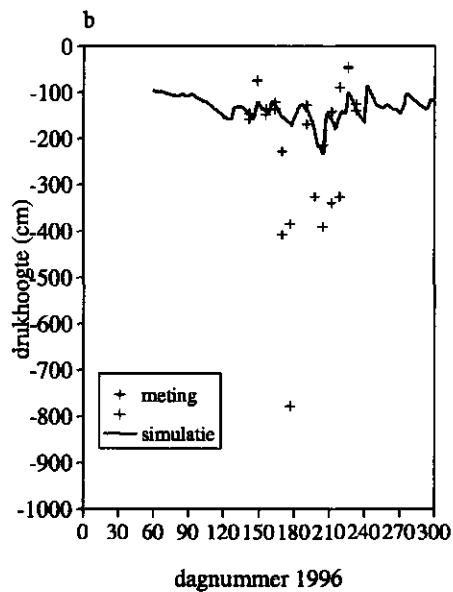
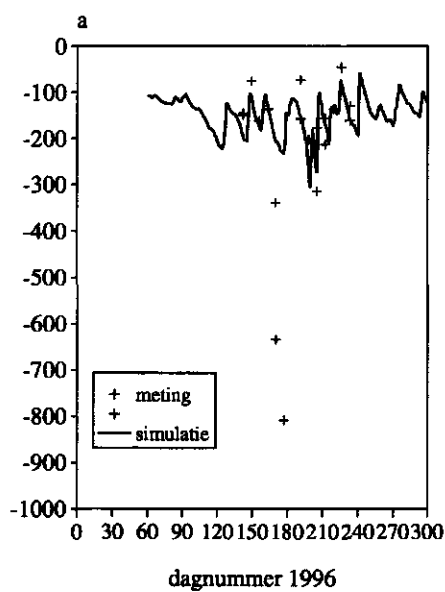
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 1 van dhr. School.



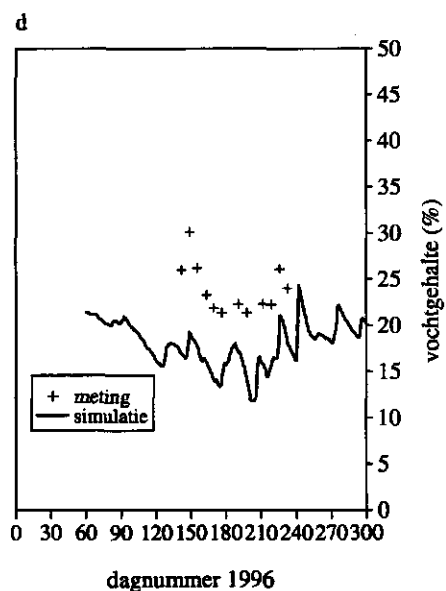
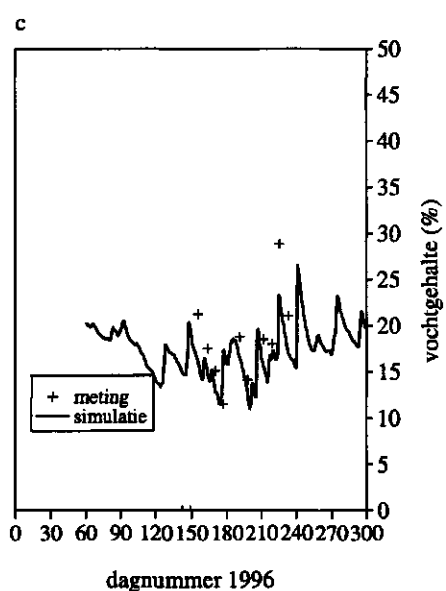
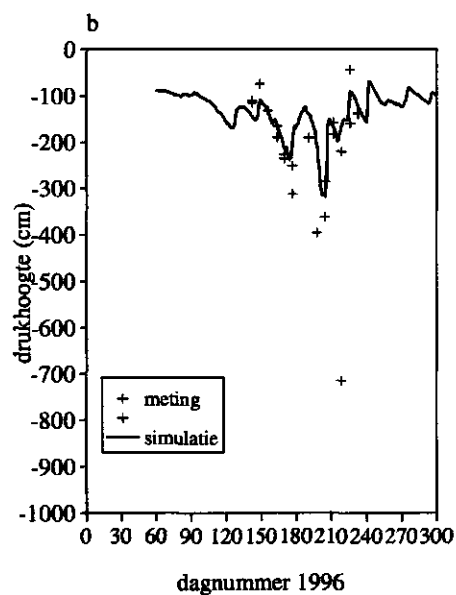
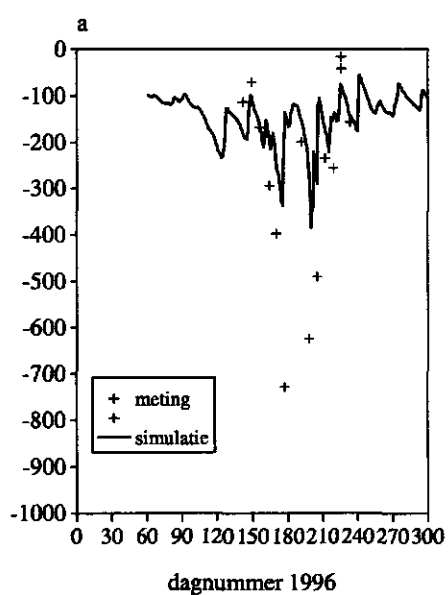
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 5 van dhr. School.



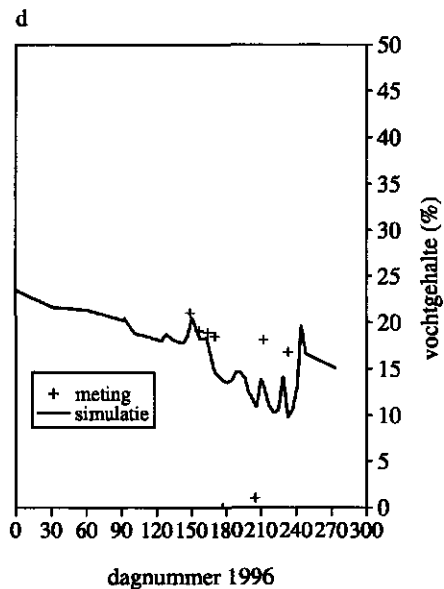
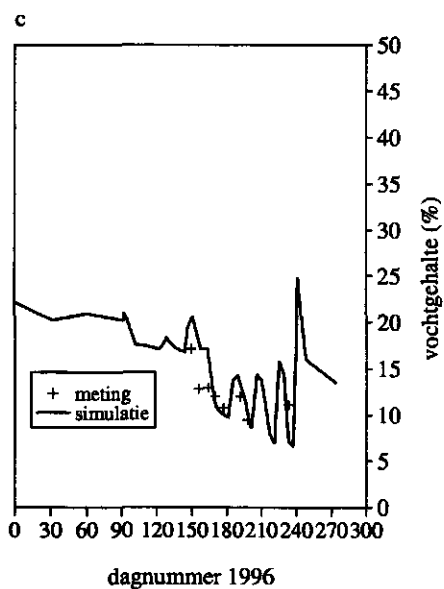
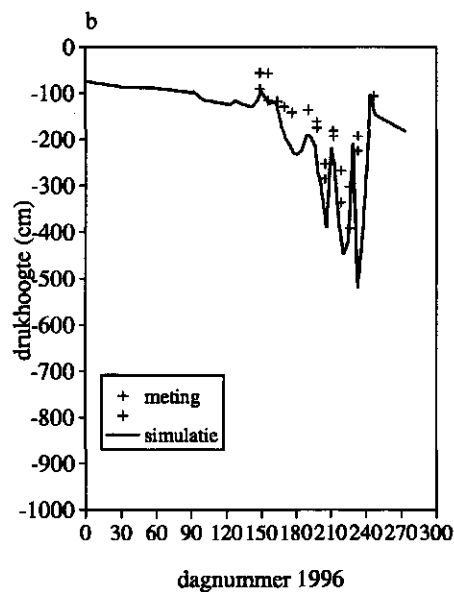
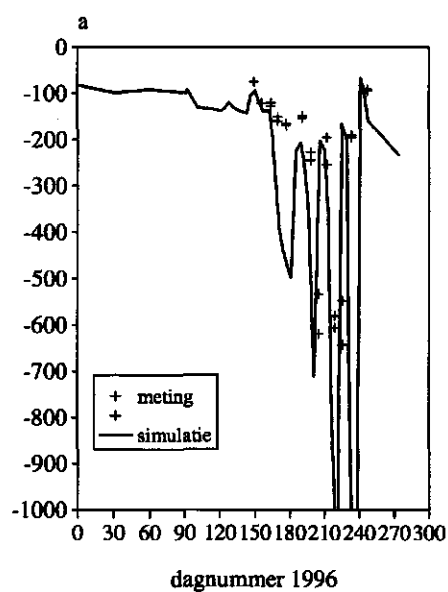
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. School.



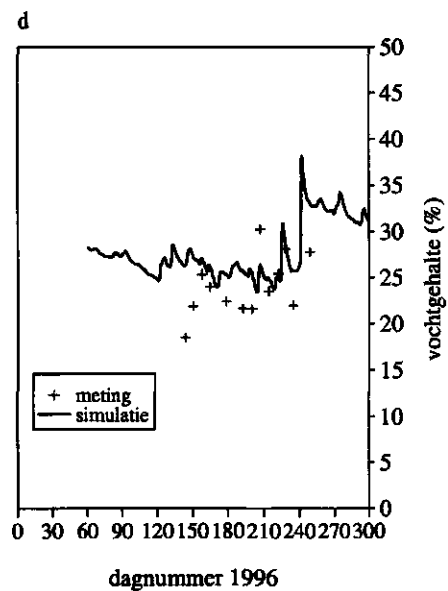
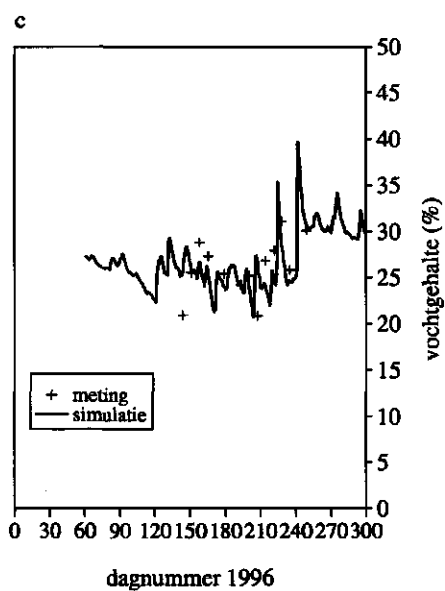
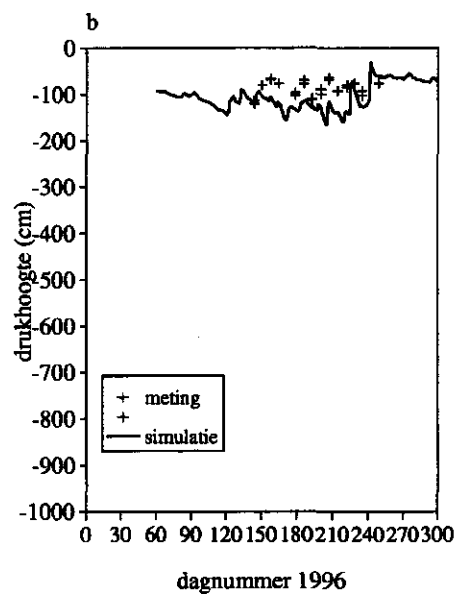
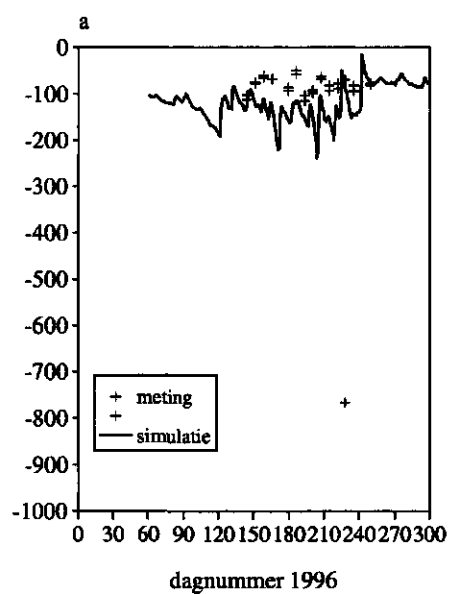
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehaltes op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 4 van dhr. van Genugten.



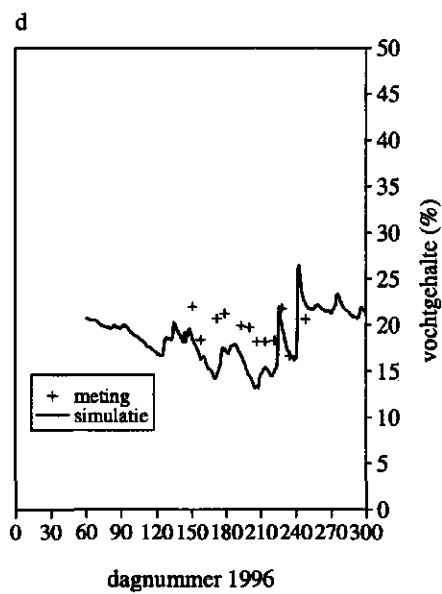
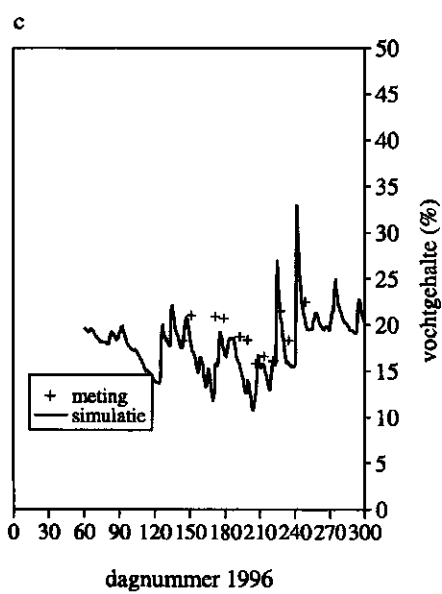
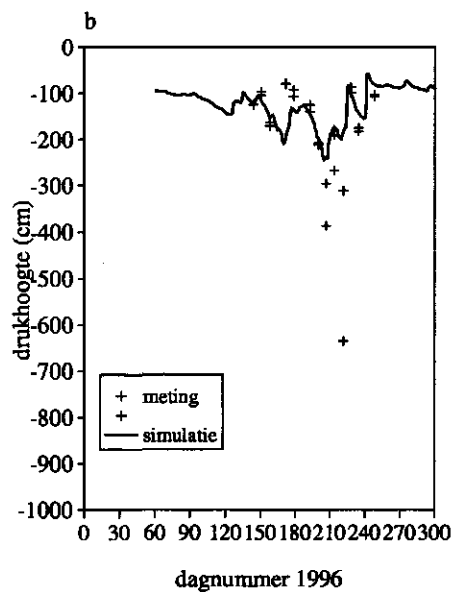
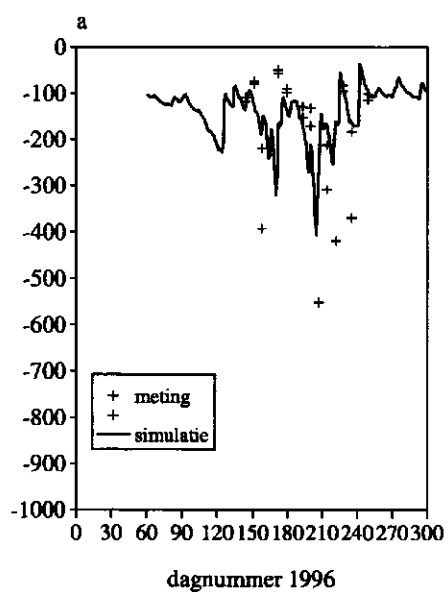
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 7 van dhr. van Genugten.



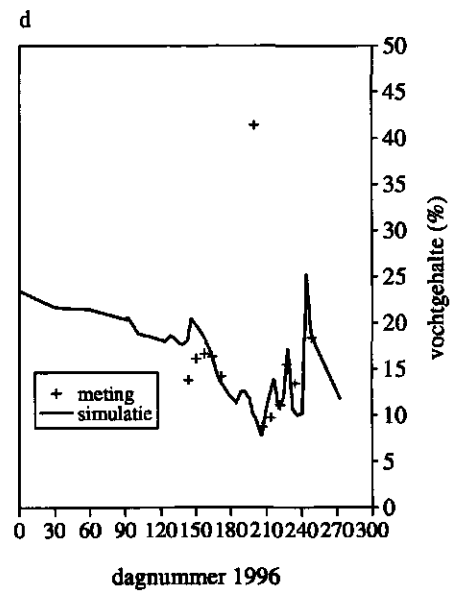
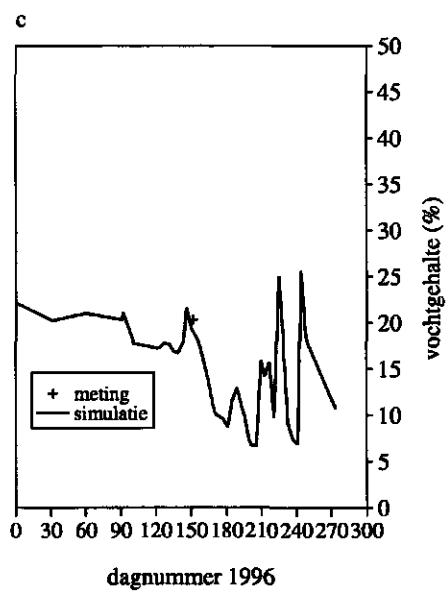
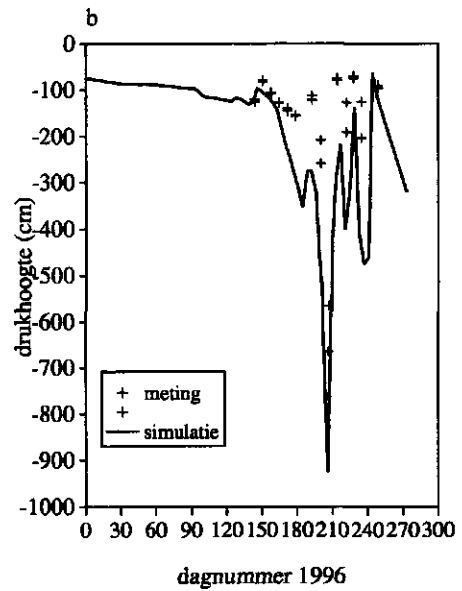
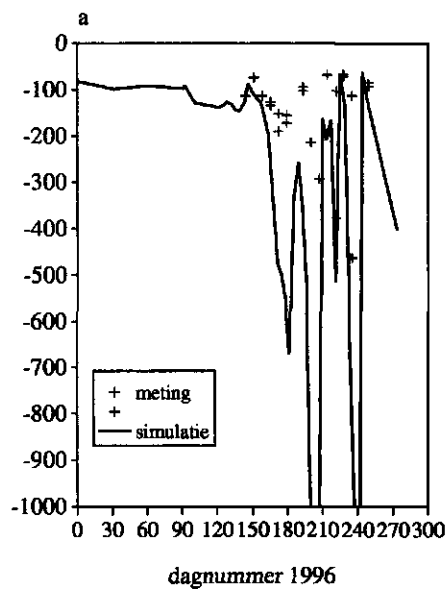
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. van Genugten.



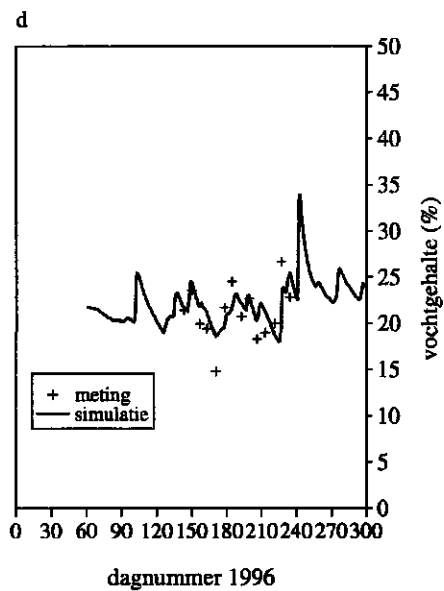
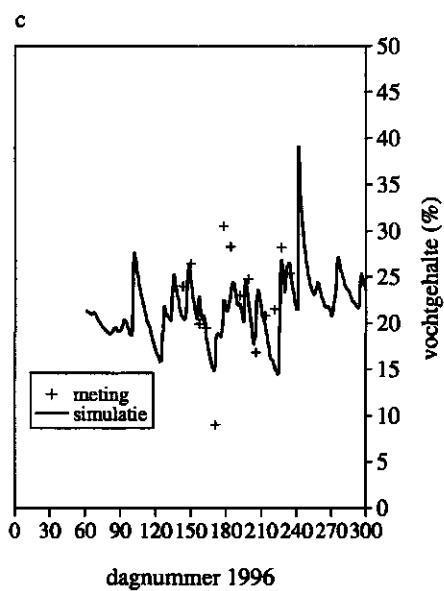
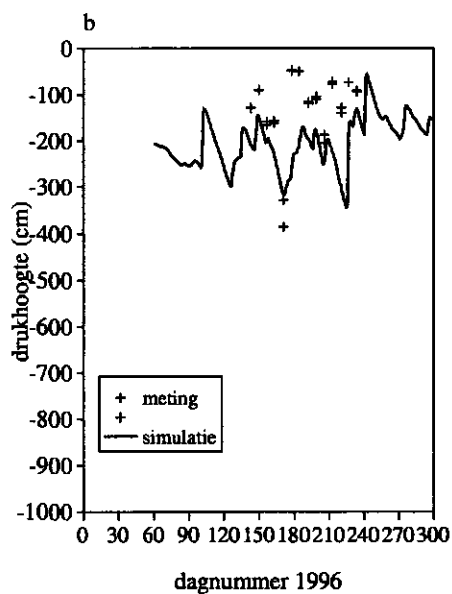
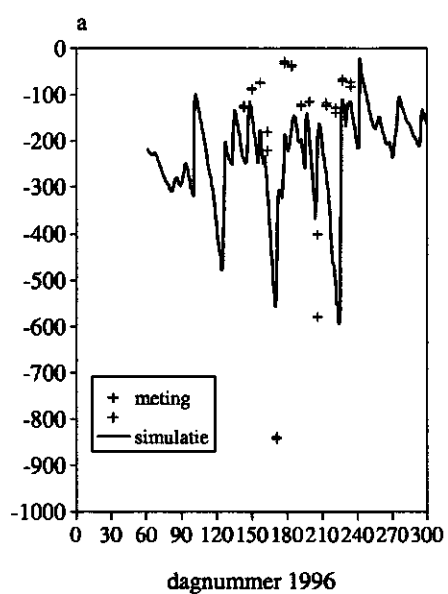
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehaltes op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 3 van dhr. Evers.



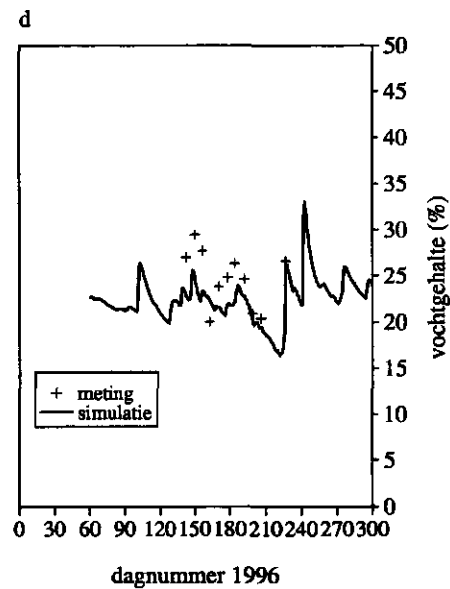
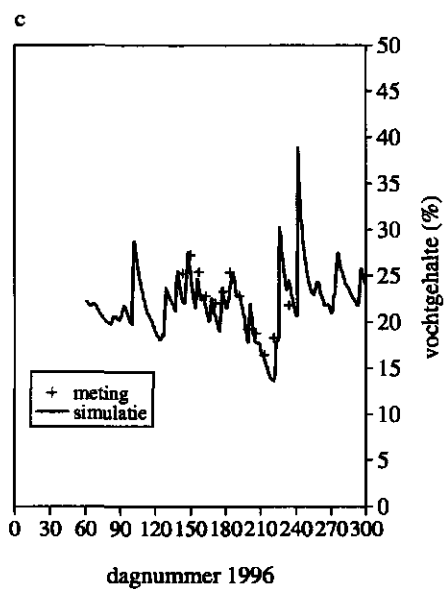
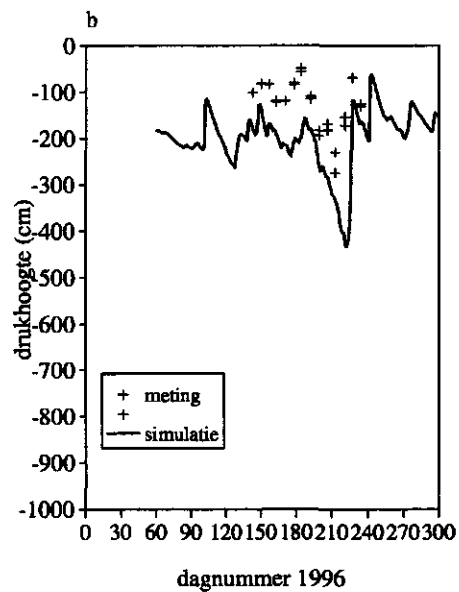
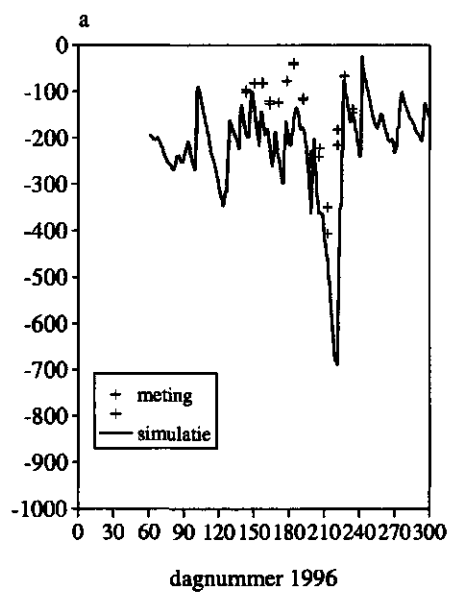
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 10 van dhr. Evers.



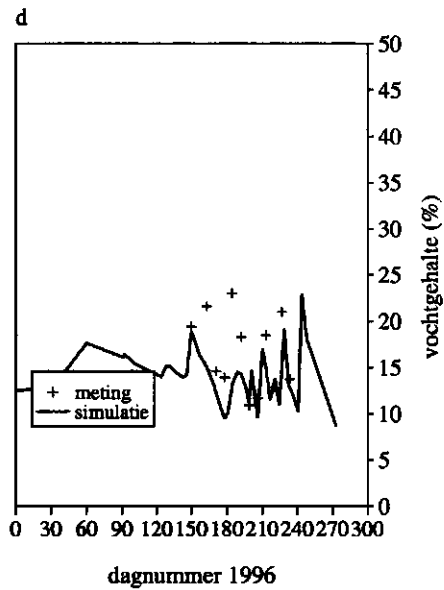
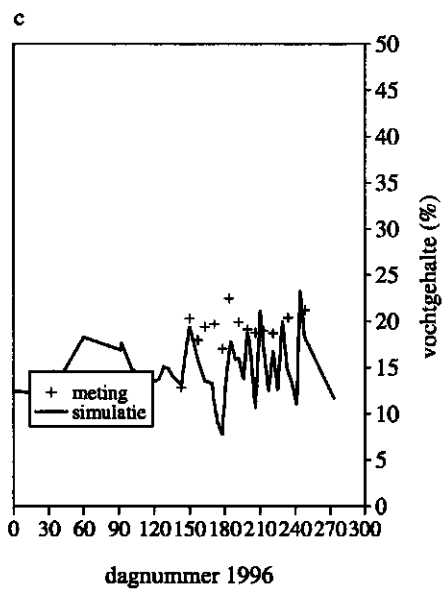
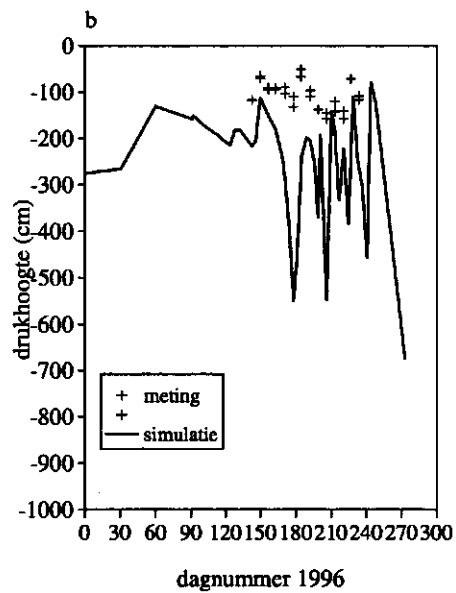
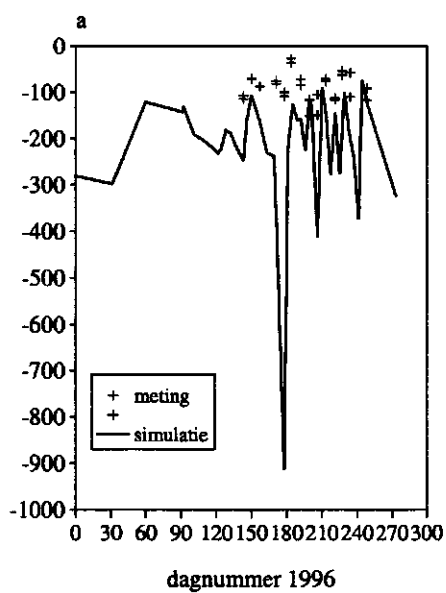
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Evers.



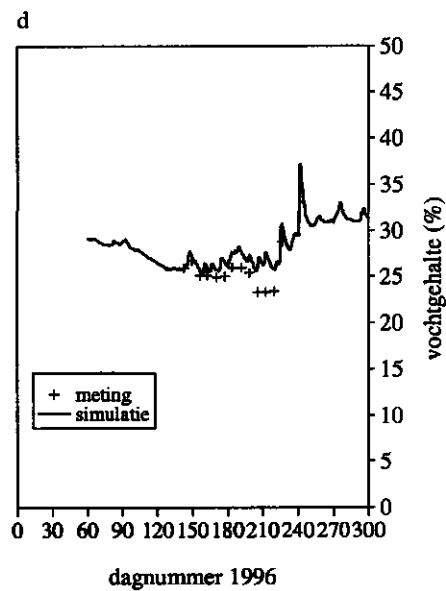
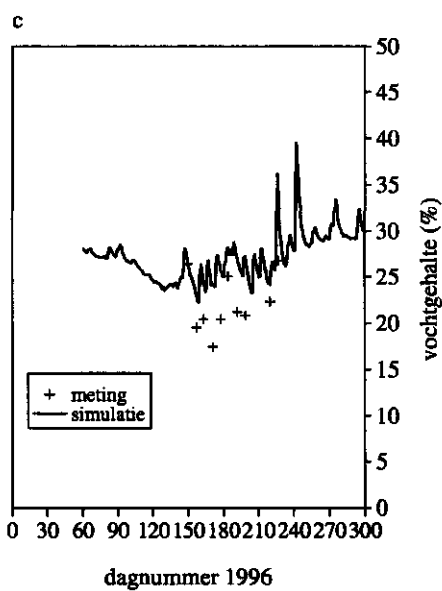
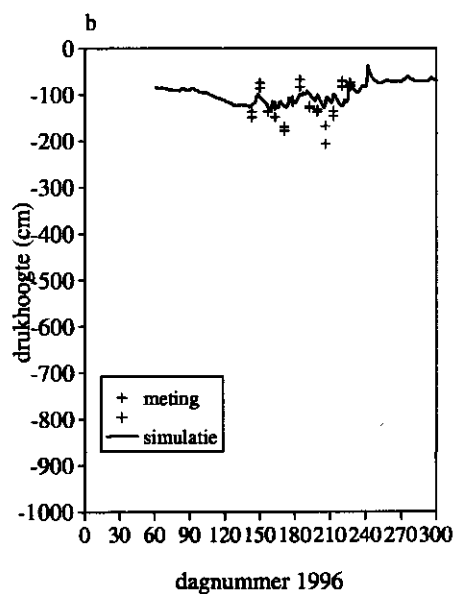
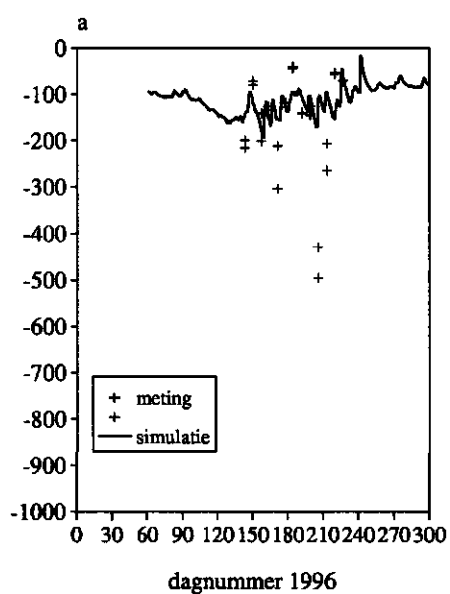
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 7 van dhr. Mulders.



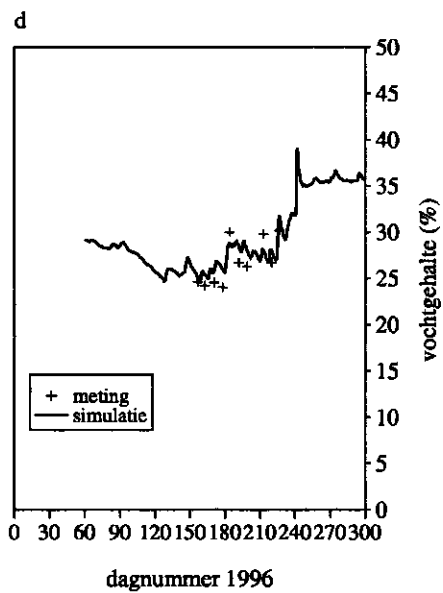
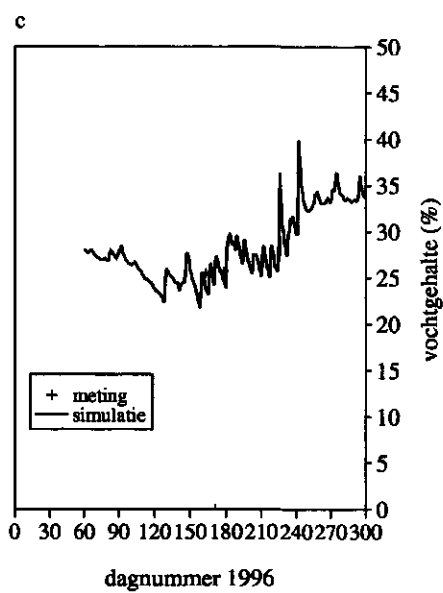
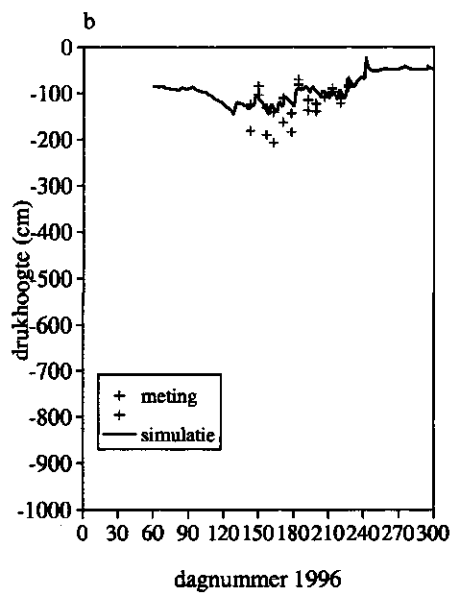
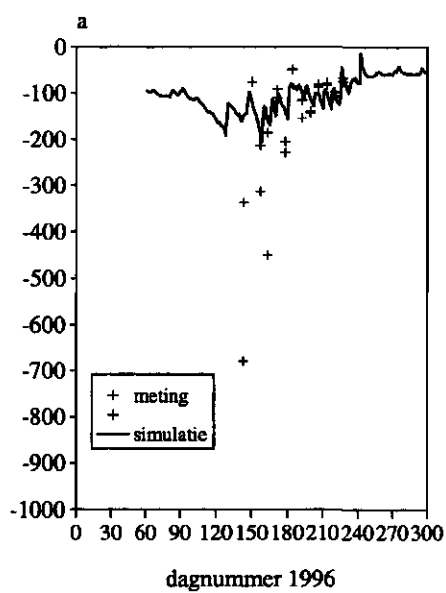
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 16 van dhr. Mulders.



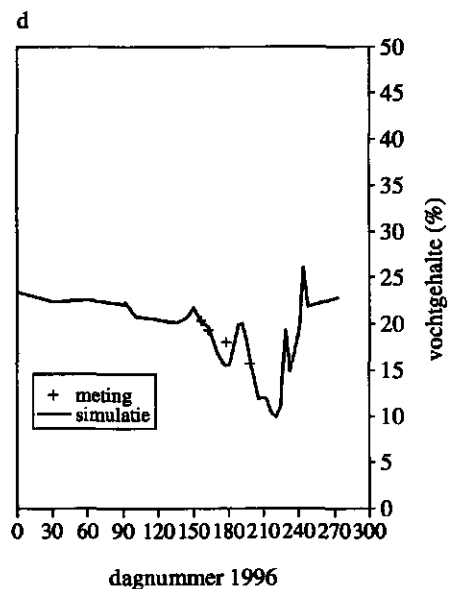
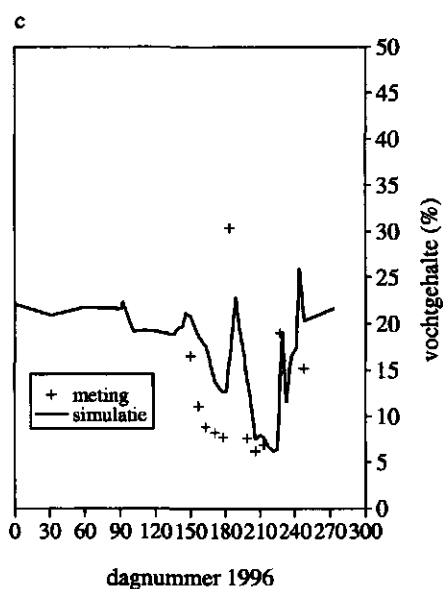
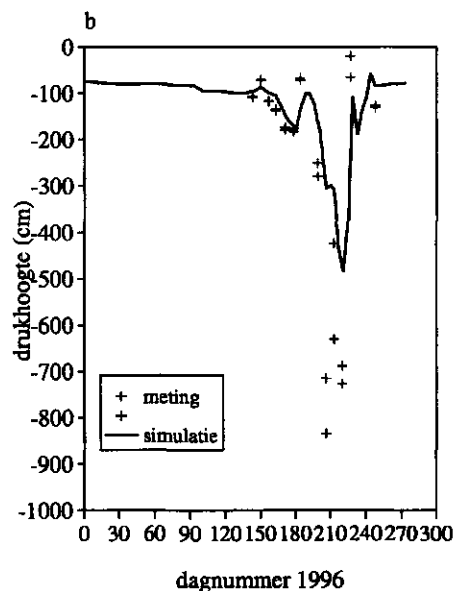
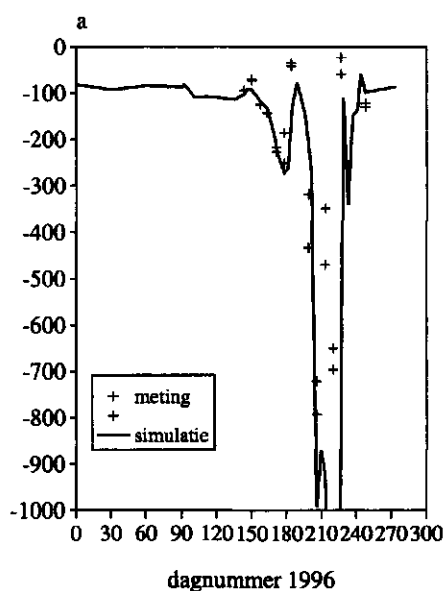
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Mulders.



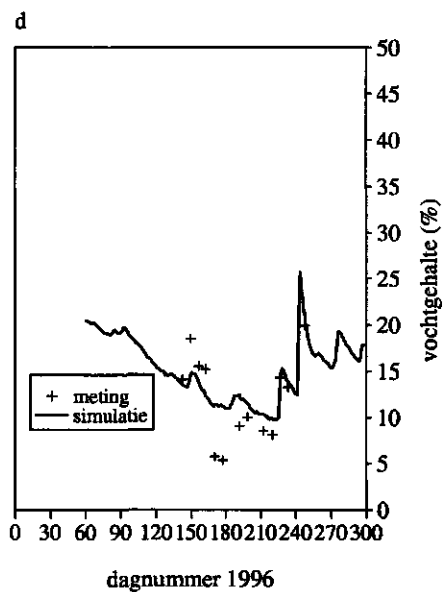
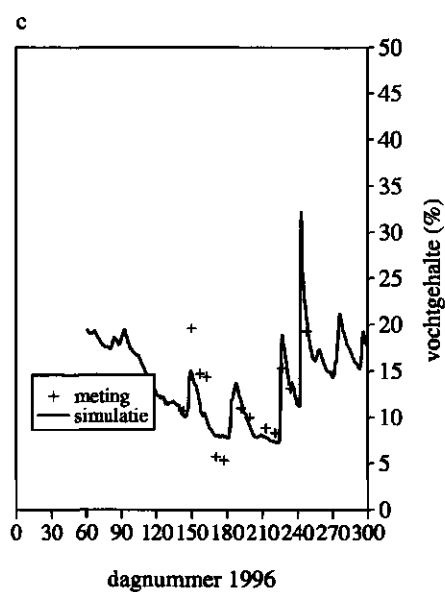
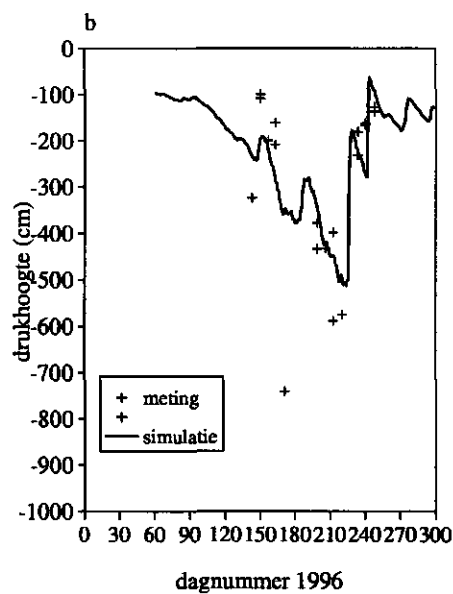
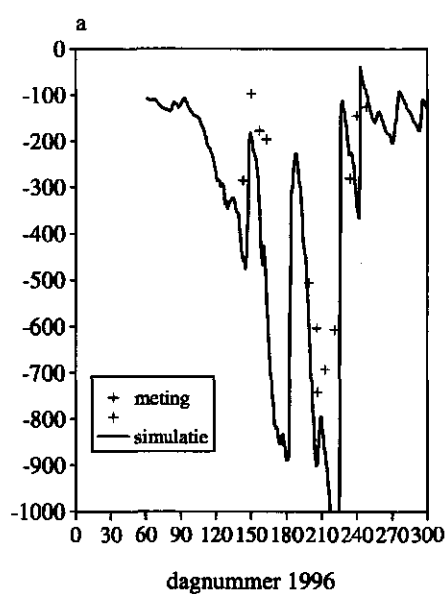
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 11 van dhr. Smulders.



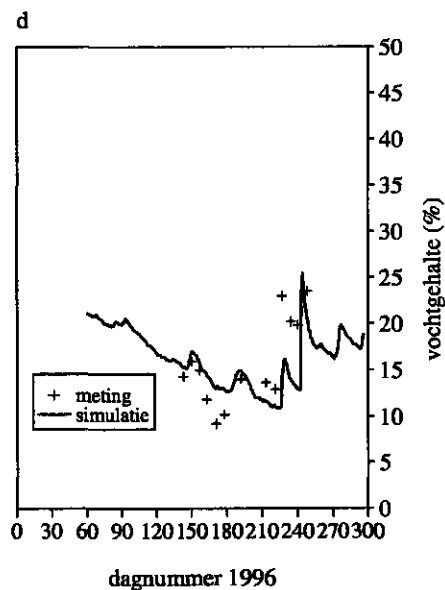
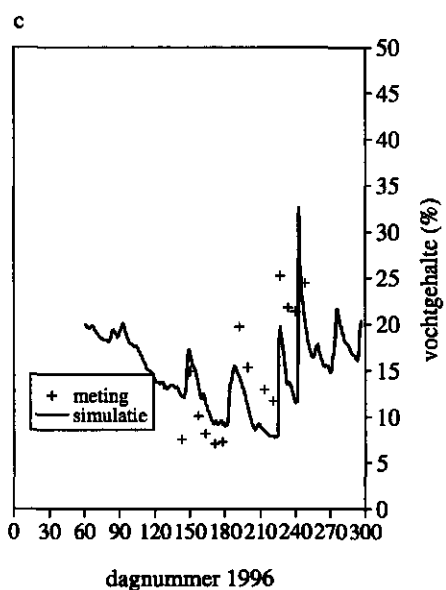
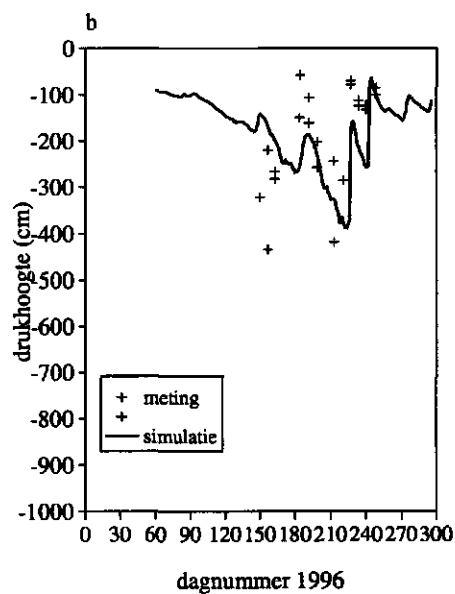
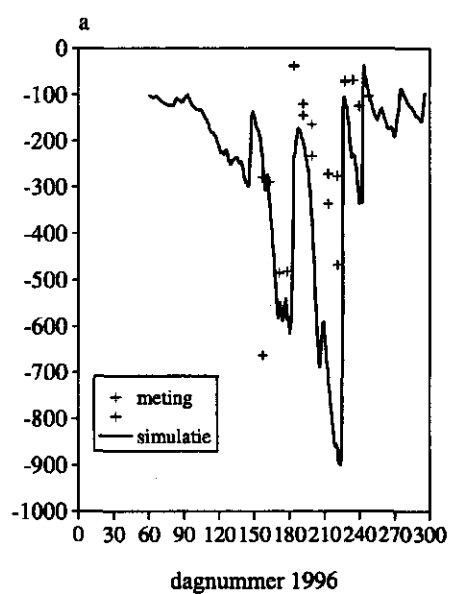
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 18 van dhr. Smulders.



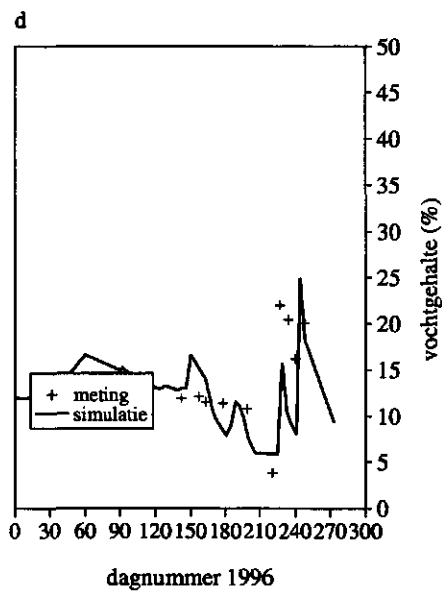
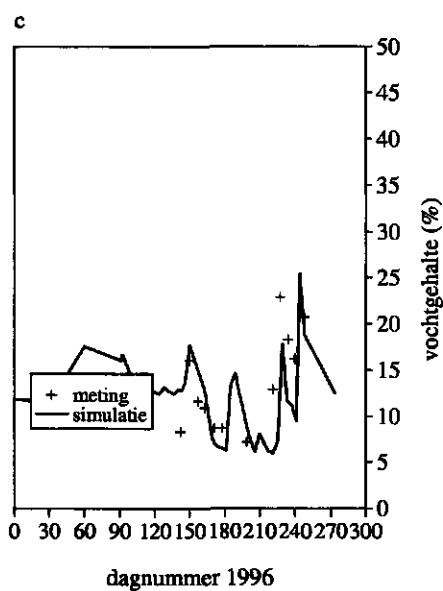
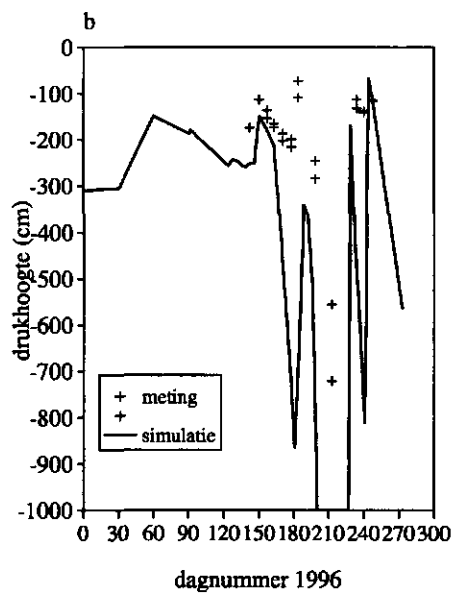
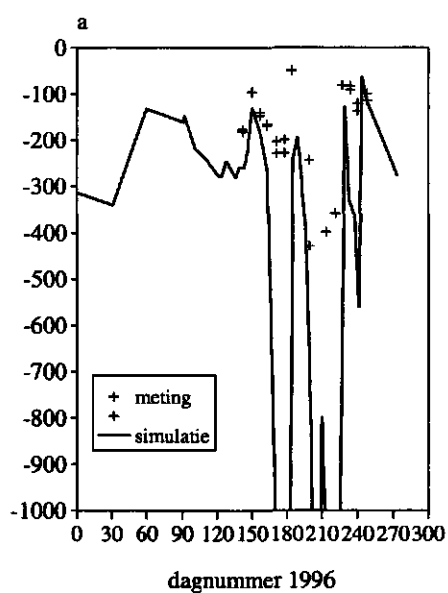
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Smulders.



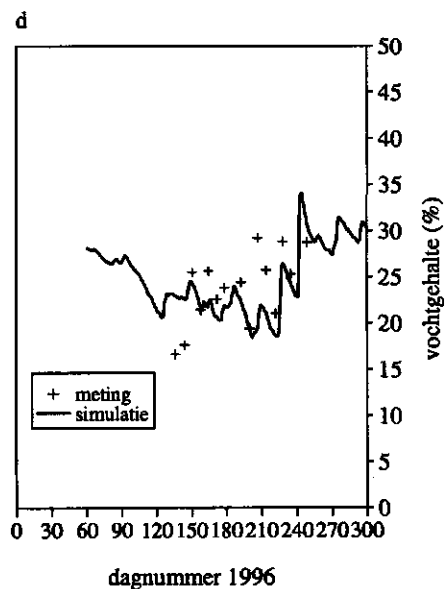
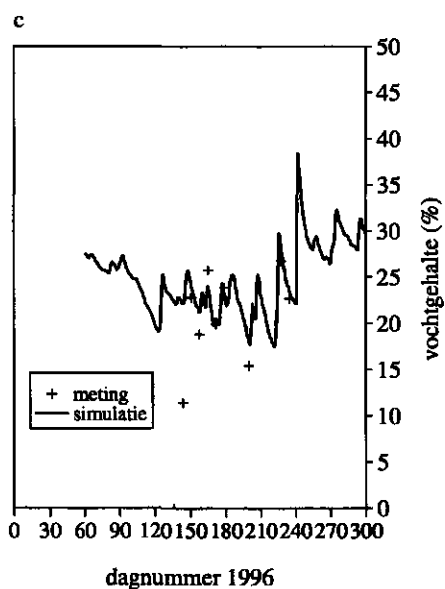
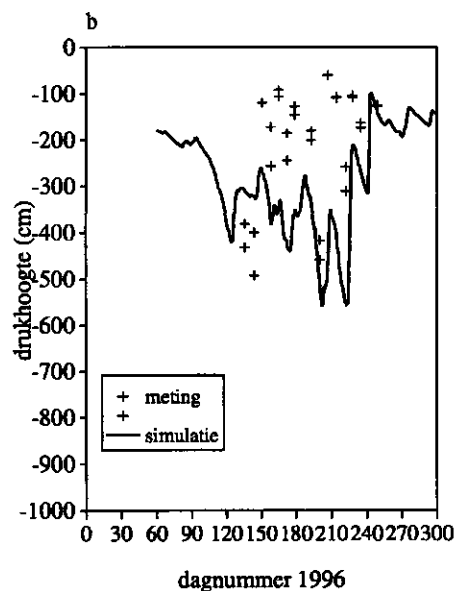
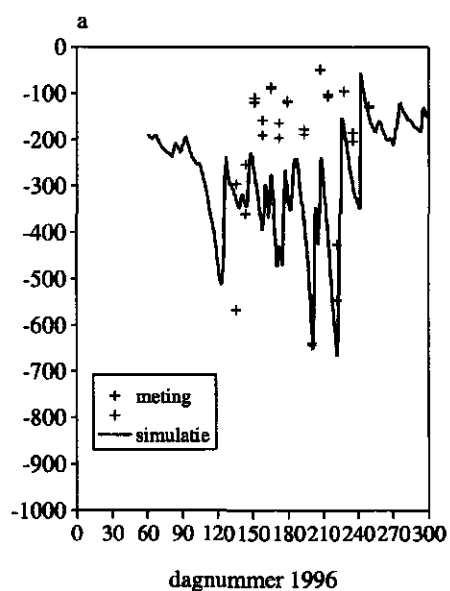
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 2 van dhr. Klaassen.



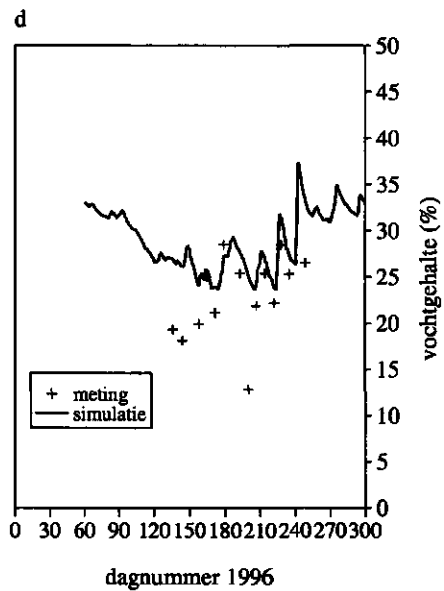
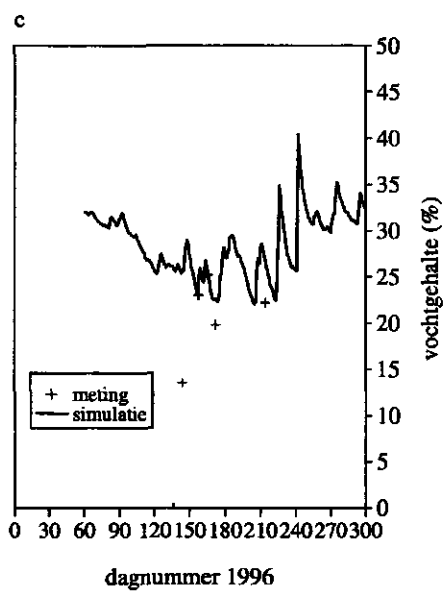
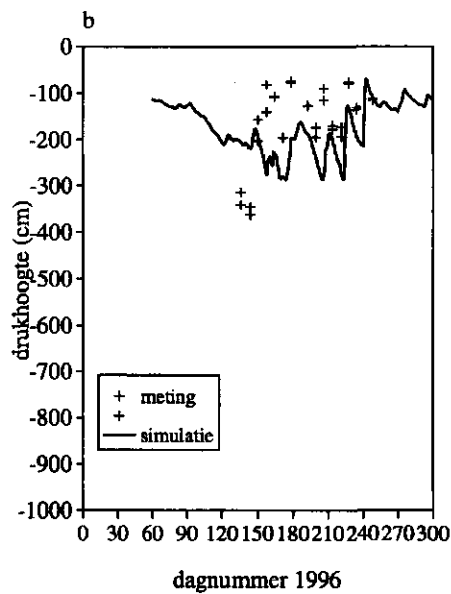
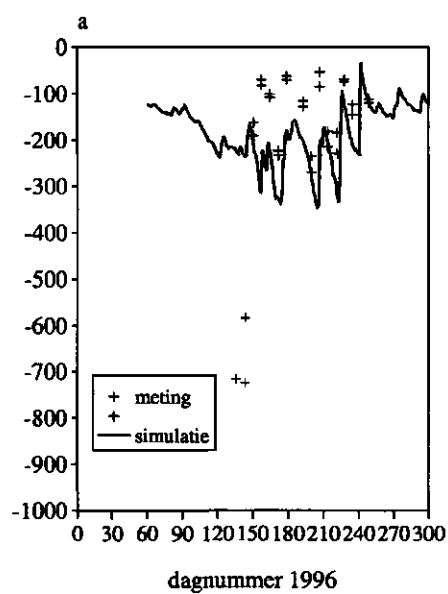
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 7 van dhr. Klaassen.



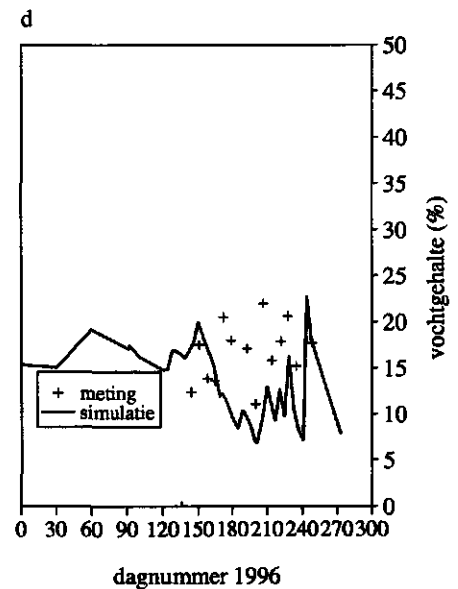
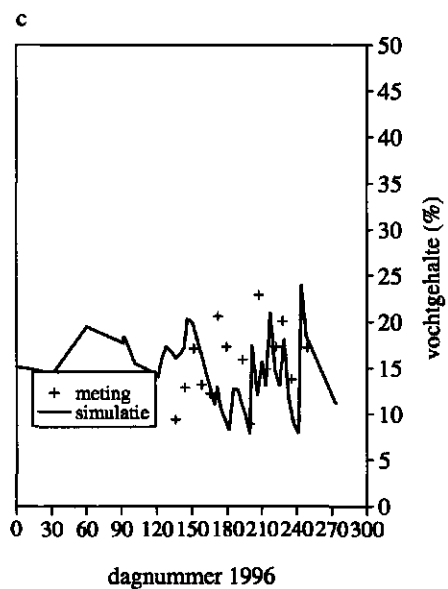
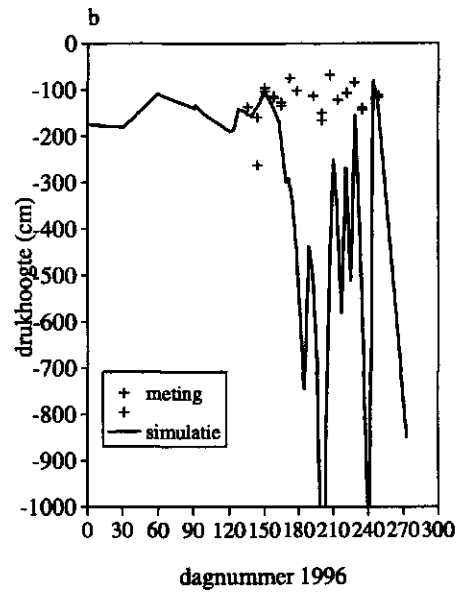
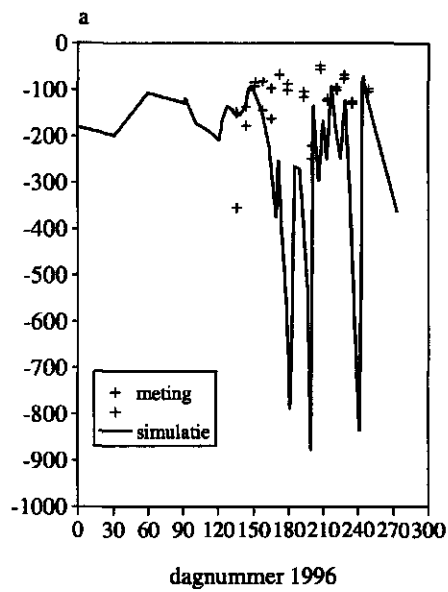
Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehaltes op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Klaassen.



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

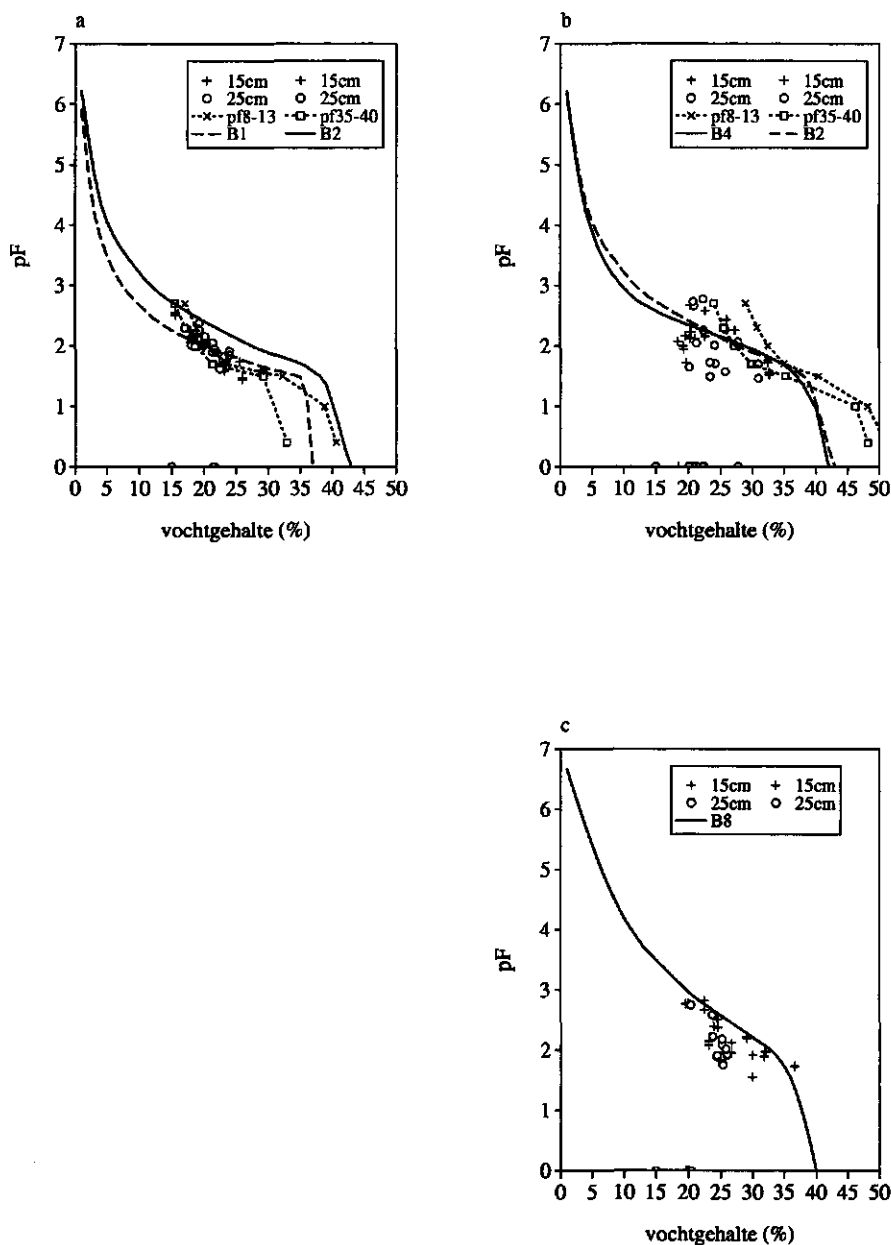


Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehalten op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel 10 van dhr. Keijzers.

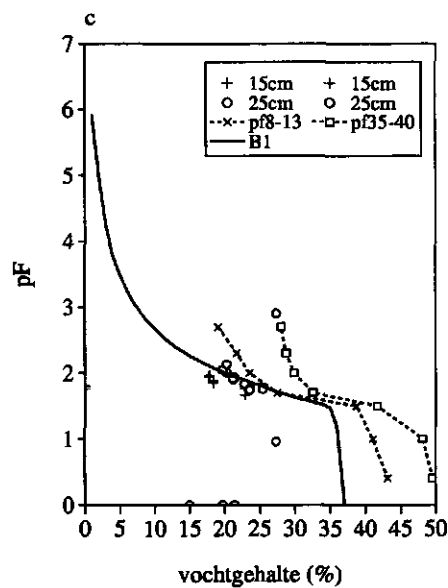
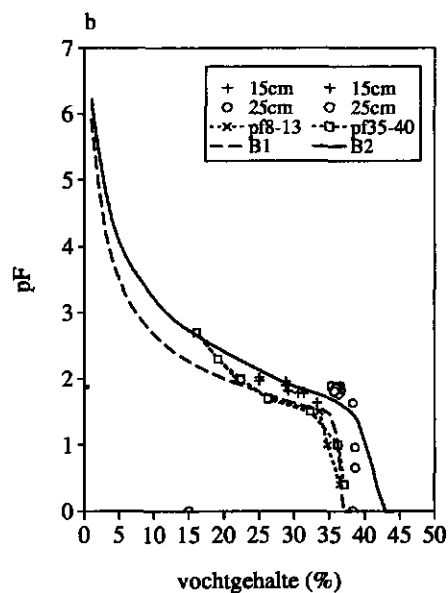
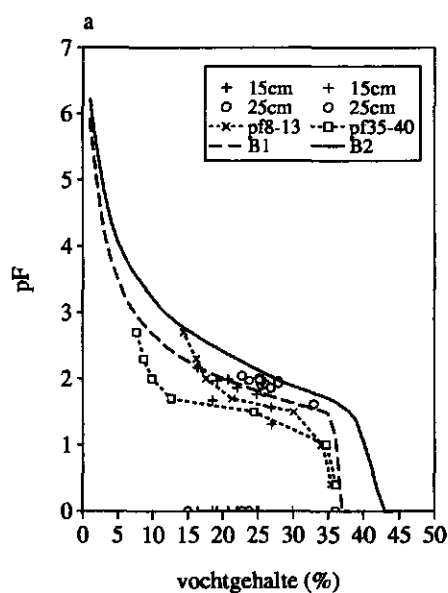


Gesimuleerde en gemeten drukhoogten op 15 cm (a) en 25 cm (b) én vochtgehaltes op 15 cm (c) en 25 cm (d) bij perceel maïs van dhr. Keijzers.

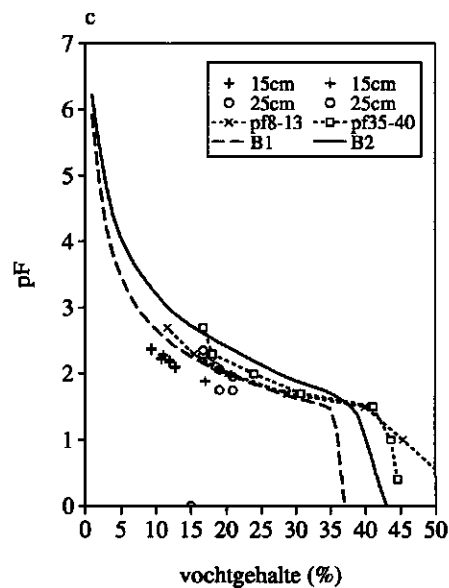
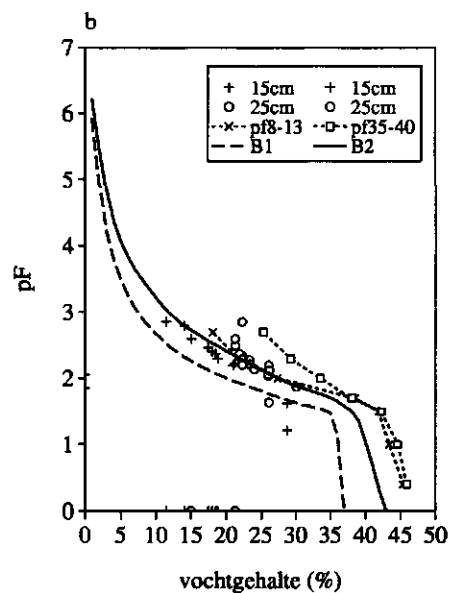
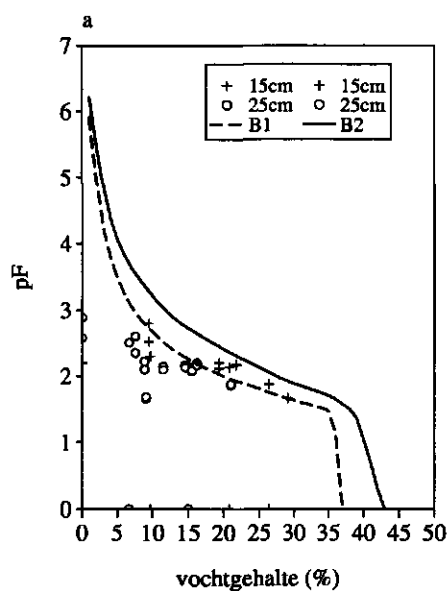
Aanhangsel 2 pF-curves: gebruikte curves van de Staringreeks en meetwaarden



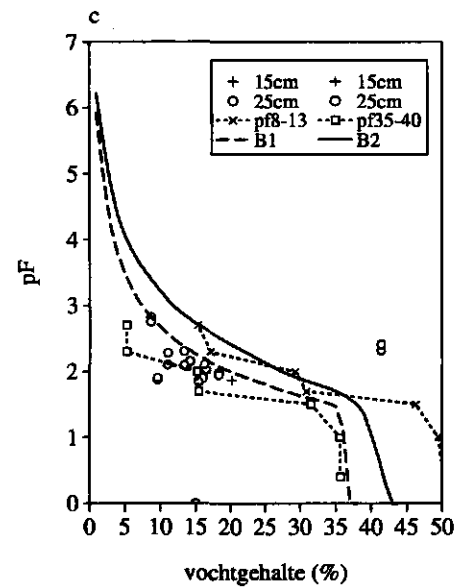
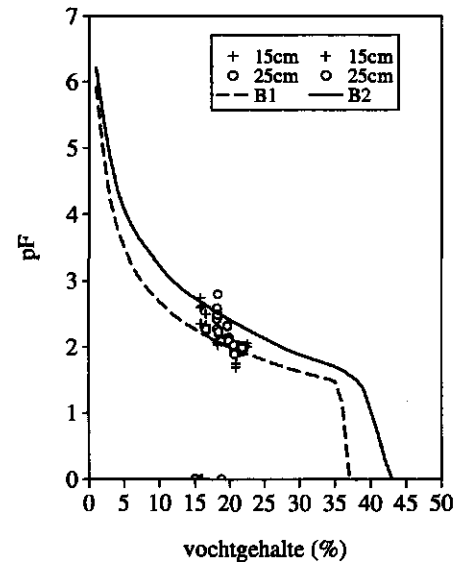
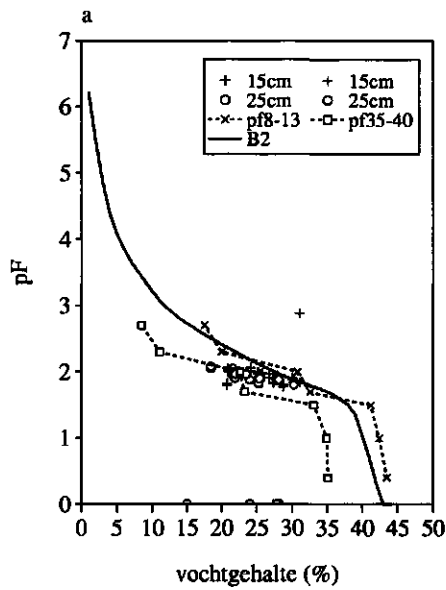
Waterretentiekarakteristieken van de percelen 2 (a), 7 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Janssen. De veldcurven (alleen punten) en de labcurven (gemeten punten verbonden met gestippelde lijnen) zijn aangegeven. Daarnaast zijn twee curves van de bouwstenen van de Staringreeks gegeven. De doorgetrokken lijn geeft de oorspronkelijke bouwsteenkeuze weer. De gestippelde lijn geeft de nieuwe keuze aan.



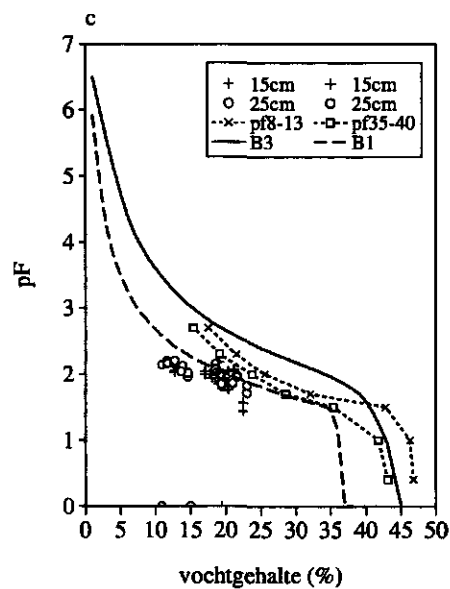
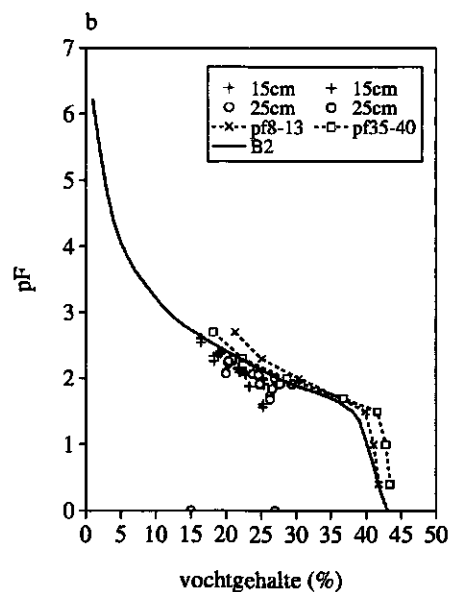
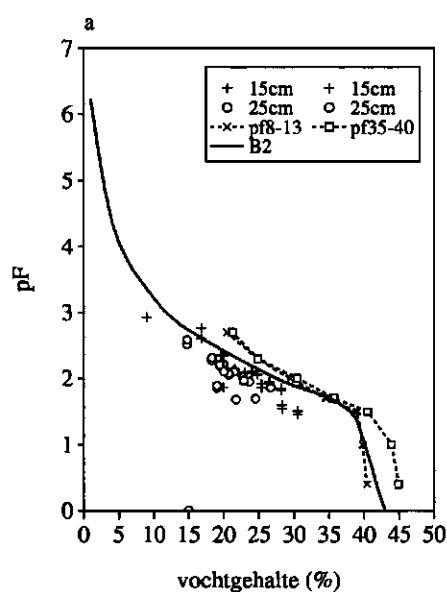
Waterretentiekarakteristieken van de percelen 1 (a), 5 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. School. De veldcurven (alleen punten) en de labcurven (gemeten punten verbonden met gestippelde lijnen) zijn aangegeven. Daarnaast zijn twee curven van de bouwstenen van de Staringreeks gegeven. De doorgetrokken lijn geeft de oorspronkelijke bouwsteenkeuze weer. De gestippelde lijn geeft de nieuwe keuze aan.



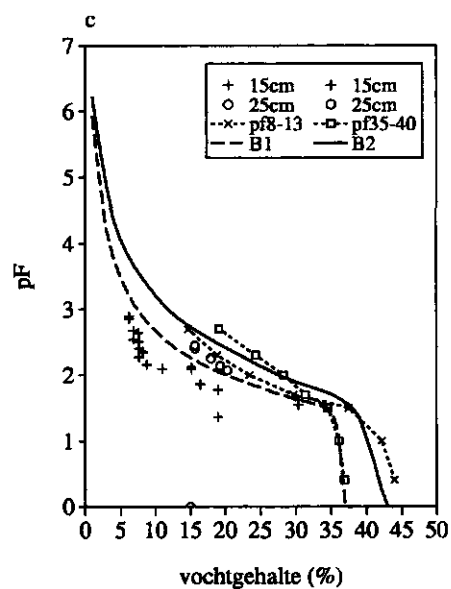
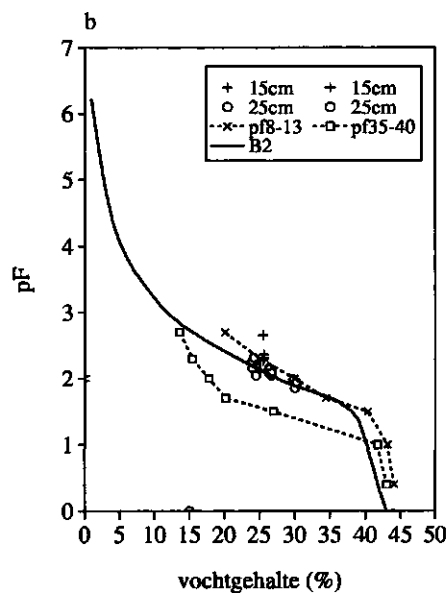
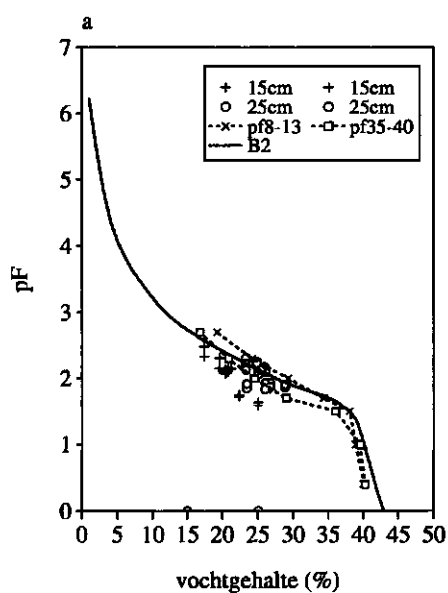
Waterretentiekarakteristieken van de percelen 4 (a), 7 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. van Genugten. De veldcurven (alleen punten) en de labcurven (gemeten punten verbonden met gestippelde lijnen) zijn aangegeven. Daarnaast zijn twee curven van de bouwstenen van de Staringreeks gegeven. De doorgetrokken lijn geeft de oorspronkelijke bouwsteenkeuze weer. De gestippelde lijn geeft de nieuwe keuze aan.



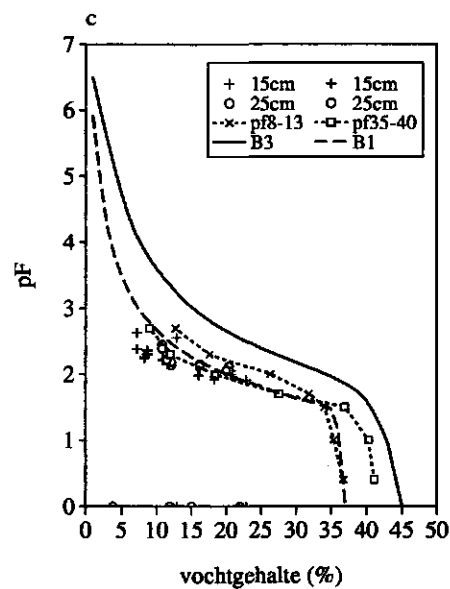
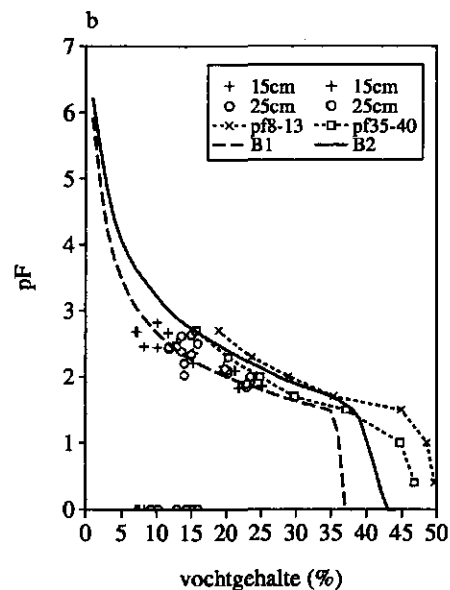
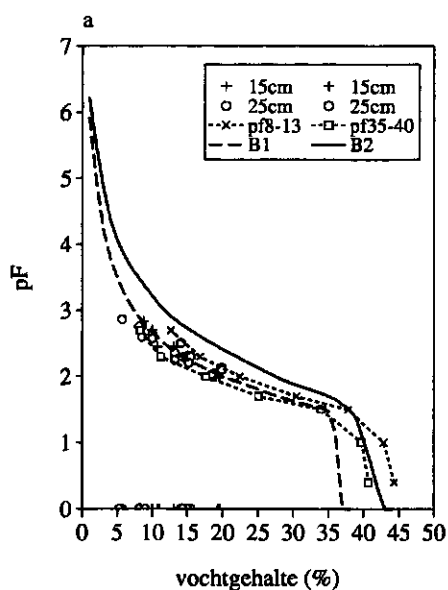
Waterretentiekaracteristieken van de percelen 3 (a), 10 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Evers. De veldcurven (alleen punten) en de labcurven (gemeten punten verbonden met gestippelde lijnen) zijn aangegeven. Daarnaast zijn twee curven van de bouwstenen van de Staringreeks gegeven. De doorgetrokken lijn geeft de oorspronkelijke bouwsteenkeuze weer. De gestippelde lijn geeft de nieuwe keuze aan.



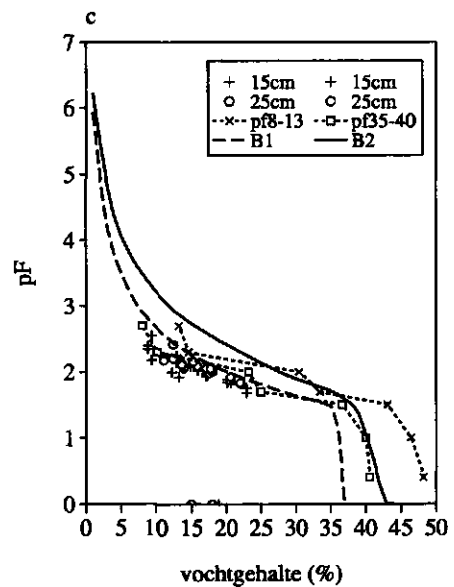
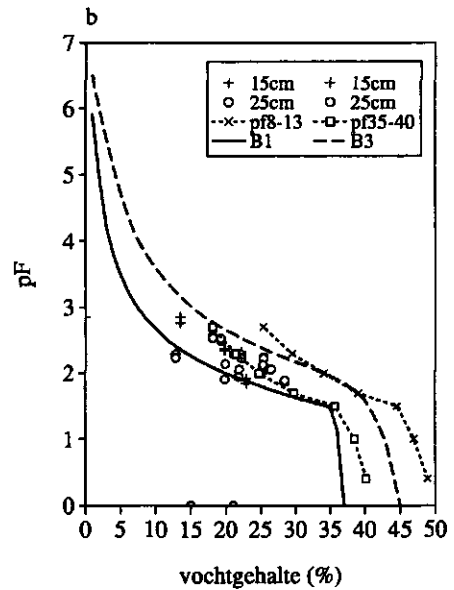
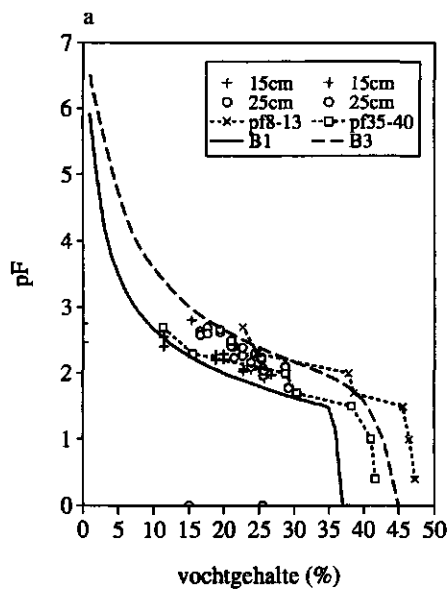
Waterretentiekarakteristieken van de percelen 7 (a), 16 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Mulders. De veldcurven (alleen punten) en de labcurven (gemeten punten verbonden met gestippelde lijnen) zijn aangegeven. Daarnaast zijn twee curven van de bouwstenen van de Staringreeks gegeven. De doorgetrokken lijn geeft de oorspronkelijke bouwsteenkeuze weer. De gestippelde lijn geeft de nieuwe keuze aan.



Waterretentiekarakteristieken van de percelen 11 (a), 18 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Smulders. De veldcurven (alleen punten) en de labcurven (gemeten punten verbonden met gestippelde lijnen) zijn aangegeven. Daarnaast zijn twee curven van de bouwstenen van de Staringreeks gegeven. De doorgetrokken lijn geeft de oorspronkelijke bouwsteenkeuze weer. De gestippelde lijn geeft de nieuwe keuze aan.



Waterretentiekarakteristieken van de percelen 2 (a), 7 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Klaassen. De veldcurven (alleen punten) en de labcurven (gemeten punten verbonden met gestippelde lijnen) zijn aangegeven. Daarnaast zijn twee curven van de bouwstenen van de Staringreeks gegeven. De doorgetrokken lijn geeft de oorspronkelijke bouwsteenkeuze weer. De gestippelde lijn geeft de nieuwe keuze aan.



Waterretentiekaracteristieken van de percelen 5 (a), 10 (b) en maïs (c) bij het bedrijf van dhr. Keijzers. De veldcurven (alleen punten) en de labcurven (gemeten punten verbonden met gestippelde lijnen) zijn aangegeven. Daarnaast zijn twee curven van de bouwstenen van de Staringreeks gegeven. De doorgetrokken lijn geeft de oorspronkelijke bouwsteenkeuze weer. De gestippelde lijn geeft de nieuwe keuze aan.

Aanhangsel 3 Beschrijving van de profielen gebruikt voor de beregeningsplanner in 1996 en de op de gemeten drukhoogten en vochtgehaltes gecalibreerde profiel-beschrijvingen voor SWAP 2.0. De aangepaste beworteling is gebaseerd op metingen

Bedrijf/per- ceel	Bodeminventarisatie 1996			Aangepaste profielbeschrijvingen en beworteling		
	Bouwsteen	Diepte (cm)	Beworteling (cm)	Bouwsteen	Diepte (cm)	Beworte- ling (cm)
Janssen						
2	B2	0-35	35	B1	0-35	20
	O2	35-50		O2	35-50	
	O1	50-150		O1	50-210	
11	B4	0-35	30	B2	0-35	20
	O2	35-50		O5	35-50	
	O1	50-150		O2	50-90	
				O1	90-210	
maïs	B9	0-40	50	B8	0-35	40
	O2	40-50		O1	35-70	
	O1	50-70		O5	70-245	
	O5	70-120				
School						
1	B2	0-35	30	B1	0-35	15
	O1	35-105		O1	35-105	
	O2	105-190		O2	105-285	
5	B2	0-55	30	B1	0-55	20
	O2	55-80		O2	55-80	
	O1	80-110		O1	80-285	
maïs	B1	0-35	40	B1	0-35	35
	O1	35-130		O5	35-130	
V. Genugten						
4	B2	0-25	25	B1	0-22,5	35
	O2	25-120		O2	22,5-120	
	O10	120-160		O10	120-240	
7	B2	0-30	30	B1	0-27,5	30
	O2	30-55		O1	27,5-55	
	O3	55-70		O3	55-70	
	O1	70-115		O1	70-115	
	O10	115-130		O10	115-270	
maïs	B2	0-50	60	B1	0-35	35
	O2	50-70		O1	35-80	
	O3	70-80		O2	80-170	
	O2	80-170		O10	170-340	
	O10	170-180				

Bedrijf/per- ceel	Bodeminventarisatie 1996			Aangepaste profielbeschrijvingen en beworteling		
	Bouwsteen	Diepte (cm)	Beworteling (cm)	Bouwsteen	Diepte (cm)	Beworte- ling (cm)
Evers						
3	B2	0-35	35	B2	0-35	25
	O2	35-95		O2	35-100	
	O3	95-100		O3	100-110	
	O1	100-155		O1	110-240	
10	B2	0-35	35	B1	0-27,5	25
	O2	35-95		O2	27,5-100	
	O3	95-100		O3	100-110	
	O1	100-155		O1	110-240	
maïs	B2	0-35	45	B1	0-35	35
	O1	35-160		O2	35-160	
	O3	160-180		O3	160-345	
Mulders						
7	B2	0-35	35	B2	0-40	20
	O3	35-110		O3	40-110	
	O1	110-200		O1	110-225	
	O2	200-225		O2	225-240	
	B3	225-240		B3	240-325	
16	B2	0-35	35	B2	0-35	25
	O3	35-110		O3	35-110	
	O1	110-200		O1	110-225	
	O2	200-225		O2	225-240	
	B3	225-240		B3	240-325	
maïs	B3	0-35	40	B1	0-35	60
	O2	35-65		O2	35-65	
	O3	65-80		O3	65-80	
	O2	80-165		O2	80-165	
	O3	165-215		O3	165-350	
Smulders						
11	B2	0-30	25	B2	0-27,5	25
	O2	30-50		O2	27,5-65	
	O5	50-170		O5	65-340	
18	B2	0-30	25	B2	0-30	25
	O2	30-100		O2	30-55	
	O3	100-110		O5	55-100	
	O5	110-140		O2	100-320	
	O2	140-170				
maïs	B2	0-70	100	B1	0-35	35
	O2	70-210		O2	35-100	
	O5	210-250		O5	100-360	
Klaassen						
2	B2	0-45	35	B1	0-45	25
	O2	45-85		O2	45-85	
	O5	85-180		O5	85-170	
	O1	180-250		O1	170-330	

Bedrijf/per- ceel	Bodeminventarisatie 1996			Aangepaste profielbeschrijvingen en beworteling		
	Bouwsteen	Diepte (cm)	Beworteling (cm)	Bouwsteen	Diepte (cm)	Beworte- ling (cm)
7	B2	0-30	30	B1	0-30	25
	O3	30-80		O3	30-80	
	O5	80-100		O5	80-100	
	O2	100-120		O2	100-325	
	O5	120-160				
maïs	B3	0-35	80	B1	0-35	65
	O3	35-140		O3	35-135	
	O4	140-220		O4	135-215	
	O5	220-250		O5	215-390	
Keijzers						
5	B2	0-25	30	B3	0-35	40
	O2	25-45		O2	35-75	
	O3	45-60		O3	75-95	
	O2	60-200		O2	95-335	
10	B2	0-25	30	B3	0-35	30
	O2	25-45		O3	35-75	
	O3	45-60		O4	75-105	
	O2	60-200		O2	105-330	
maïs	B2	0-55	60	B1	0-55	60
	O2	55-130		O2	55-135	
	O1	130-150		O1	135-390	

**Aanhangsel 4 Gegevens van de oorspronkelijke bodemprofielen
(bodeminventarisatie 1996) en de meer representatieve profielen voor
berekeningen met de pc-planner (aangepaste profielkeuze en beworteling)**

Bedrijf/ perceel	Bodeminventarisatie 1996			Aangepaste profielkeuze en beworteling		
	Bouwsteen	Diepte (cm)	Beworteling (cm)	Bouwsteen	Diepte (cm)	Beworteling (cm)
Janssen						
2	B2	0-35	35	B2	0-55	35
	O2	35-50		O1	55-100	
	O1	50-150		O5	100-120	
				O1	120-170	
11	B4	0-35	30	B9	0-35	35
	O2	35-50		O2	35-100	
	O1	50-150		O1	100-120	
School						
1	B2	0-35	30	B1	0-30	30
	O1	35-105		O1	30-85	
	O2	105-190		O2	85-140	
5	B2	0-55	30	B2	0-35	35
	O2	55-80		O1	35-60	
	O1	80-110		O2	60-120	
V. Genugten						
4	B2	0-25	25	B2	0-30	30
	O2	25-120		O2	30-125	
	O10	120-160		O11	125-150	
7	B2	0-30	30	B2	0-30	35
	O2	30-55		O2	30-125	
	O3	55-70		O11	125-150	
	O1	70-115				
	O10	115-130				
Evers						
3	B2	0-35	35	niet veranderd		
	O2	35-95				
	O3	95-100				
	O1	100-155				
10	B2	0-35	35	niet veranderd		
	O2	35-95				
	O3	95-100				
	O1	100-155				

Bedrijf/ perceel	Bodeminventarisatie 1996			Aangepaste profielkeuze en beworteling		
	Bouwsteen	Diepte (cm)	Beworteling (cm)	Bouwsteen	Diepte (cm)	Beworteling (cm)
Mulders						
7	B2	0-35	35	B2	0-40	35
	O3	35-110		O2	40-60	
	O1	110-200		O3	60-80	
	O2	200-225		O2	80-250	
	B3	225-240				
16	B2	0-35	35	B2	0-40	35
	O3	35-110		O2	40-60	
	O1	110-200		O3	60-80	
	O2	200-225		O2	80-250	
	B3	225-240				
Smulders						
11	B2	0-30	25	B2	0-30	30
	O2	30-50		O2	30-80	
	O5	50-170		O5	80-170	
18	B2	0-30	25	B2	0-30	30
	O2	30-100		O2	30-80	
	O3	100-110		O5	80-170	
	O5	110-140				
	O2	140-170				
Klaassen						
2	B2	0-45	35	niet veranderd		
	O2	45-85				
	O5	85-180				
	O1	180-250				
7	B2	0-30	30	niet veranderd		
	O3	30-80				
	O5	80-100				
	O2	100-120				
	O5	120-160				
Keijzers						
5	B2	0-25	30	B2	0-30	30
	O2	25-45		O2	30-250	
	O3	45-60				
	O2	60-200				
10	B2	0-25	30	B3	0-30	35
	O2	25-45		O3	30-70	
	O3	45-60		O2	70-170	
	O2	60-200				