

Rapport 165

Beregenen op maat

augustus 1997



Toetsing van **Beregenen op maat** de
beregeningsplanner in de praktijk. Onderzoeksresultaten 1996

I.E. Hoving,
H. Everts
D.A. v.d. Schans

Voorwoord

Op 3 juli 1996 is door de provincie Noord-Brabant, de NCB, de GLTO-Zuid Midden Oost en de Brabantse Waterschappen de intentieverklaring 'waterconservering op peil' getekend. In deze intentieverklaring is afgesproken het grondwaterverbruik door de land- en tuinbouw sterk te reduceren. Middels het project 'Beregenen op maat' wordt daar invulling aan gegeven. In dit project wordt een adviessysteem ontwikkeld en getoetst. Het benodigde onderzoek en de ontwikkeling wordt uitgevoerd door het PR (Praktijkonderzoek voor de Rundveehouderij, Schapen en Paarden), PAV (Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt) en SC-DLO (DLO-Staringcentrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied). De toetsing van de CLM-beregeningsplanner in de praktijk is een deelonderzoek van het project 'Beregenen op maat'. De resultaten daarvan worden in dit rapport beschreven en zijn besproken door de onderzoeksgroep. De onderzoeksgroep in het project 'Beregenen op maat' wordt gevormd door de volgende leden:

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

Samenvatting

De hoofddoelstelling van het project 'Beregenen op maat' is om het grondwatergebruik voor beregening te reduceren. Onderzocht wordt in hoeverre een beregeningsplanner, als hulpmiddel voor de veehouder, een bijdrage levert aan het terugdringen van het watergebruik. De toetsing van de CLM-beregeningsplanner in de praktijk is een deelonderzoek van het project 'Beregenen op maat'. De resultaten worden in dit rapport beschreven.

De beregeningsplanner van het CLM geeft adviezen voor het tijdstip van beregenen en de te verstrekken hoeveelheid water op basis van een vochtboekhouding.

Van acht praktijkbedrijven en het Proefbedrijf Cranendonck is het management en de vochtvoorziening intensief gevolgd. De acht referentiebedrijven zijn gelegen in Noord-Brabant, voornamelijk op droogtegevoelige zandgronden. Van de acht geselecteerde bedrijven worden vijf gekenmerkt als relatief droog en drie als relatief nat, waarvan één droog bedrijf niet beregent. De referentiebedrijven is gevraagd om met de beregeningsplanner voor vier percelen een vochtboekhouding bij te houden. Het uitgangspunt was dat de planner sturend zou zijn voor het juiste moment om te gaan beregenen.

SC-DLO heeft voor elk bedrijf in april een uitgebreide bodemkartering uitgevoerd en een schatting gegeven voor de bewortelbare diepte. De kartering kostte minimaal één dag per bedrijf. Het benodigde aantal boringen en de tijd per boring werden als beperkend ervaren. Een groot aantal boringen is nodig om inzicht te krijgen in de variëteit van de bodem van een bedrijf.

Met de bodemkundige gegevens van SC-DLO en een schatting van de bewortelingsdiepte heeft DLV-Almelo tabellen gemaakt, met daarin gegevens over de vochtinhoud van de wortelzone en de mogelijkheden voor capillaire opstijging vanuit het grondwater. Deze tabellen zijn noodzakelijk voor het kunnen bijhouden van de beregeningsplanner.

De bewortelingsdiepte is geschat op basis van de bewortelbare diepte bepaald bij de bodeminventarisatie. In het groeiseizoen is de bewortelingsdiepte gemeten ter controle van de geschatte bewortelingsdiepte.

Om inzicht te krijgen in de vochtinhoud van de bewortelde zone werd de bovengrond van de proefpercelen wekelijks bemonsterd. De vochtmonsters werden genomen om na het groeiseizoen de CLM-beregeningsplanner te kunnen toetsen met de werkelijkheid.

Op dertien van de 27 proefpercelen bleek dat de CLM-beregeningsplanner de vochttoestand van de bovengrond heeft overschat. In acht gevallen (zie tabel 4) komt de werkelijkheid overeen met de berekende waarden van de CLM-planner. De afwijkingen die worden geconstateerd bij de toetsing van de planner met de gemeten vochtinhoud worden hoofdzakelijk verklaard door een verkeerde keuze van de uitgangspunten en hoogstwaarschijnlijk een overschatting van de capillaire nalevering. Bij een verkeerde inschatting van de uitgangspunten (bodeminventarisatie) kunnen genoemd worden:

- een overschatting van de bewortelingsdiepte;
- een verkeerde inschatting van de bodemkundige gegevens;
- en een verkeerde keuze van de referentieboring.

De weersomstandigheden in het voorjaar van 1996 en de beperkte tijd waarin het project moest worden opgestart, hebben ongetwijfeld invloed gehad op de resultaten en bevindingen van het eerste onderzoeksjaar.

Een goede voorspelling blijkt alleen mogelijk als de uitgangspunten voor het opstarten van de planner zeer nauwkeurig worden gekozen.

Met een vereenvoudigde berekeningswijze is met aangepaste uitgangspunten tevens het vochtverloop berekend (vochtinhoud van de wortelzone) van de grasproefpercelen voor de periode van 1 mei tot en met eind augustus. Op deze manier kon ook worden uitgerekend hoe er volgens de criteria van de beregeningsplanner beregend had moeten worden. In eerste instantie blijken deze bedrijven geen water bespaard te hebben ten opzichte van het voorgaande jaar gezien de hoeveelheden opgepompt water per bedrijf in 1995 en 1996. Voor zes van de zestien proefpercelen (gras) zou echter volgens deze berekeningsmethode een behoorlijke waterbesparing mogelijk zijn geweest. Het betreft voornamelijk percelen, die niet snel verdrogen door capillaire opstijging uit het grondwater en waarbij een planner juist van groot belang kan zijn om water te kunnen besparen. Voor eveneens vijf percelen

moet volgens deze berekening meer water worden gebruikt. Deze constatering komt overeen met de groeireductie (niet gemeten) die in de zomer op deze percelen in de praktijk werd waargenomen. Door OPTICROP (exploitant beregeningsplanner-PC) en SC-DLO is eveneens het watergebruik voor dit jaar uitgerekend op basis van respectievelijk de PC-versie van de beregeningsplanner en het model SWAP 2.0. Een vergelijking van deze op verschillende manieren uitgerekende hoeveelheden watergebruik met het werkelijk watergebruik is gemaakt om een uitspraak over mogelijke waterbesparing met een vochtboekhouding betrouwbaarder te maken. De berekening van waterbesparing volgens de methode van de vereenvoudigde vochtboekhouding is niet eenduidig met de berekeningen volgens de beregeningsplanner-PC en SWAP 2.0. De totale beregeningsbehoefte voor 1996 was volgens de vereenvoudigde vochtboekhouding over het algemeen hoger. De methoden voor het berekenen van een vochtboekhouding zijn niet eensluidend en geven onvoldoende zekerheid voor het bepalen van het optimale beregeningstijdstip. Vooralsnog kan een vochtboekhouding alleen dienen als een nuttige ondersteuning van het plannen van beregening en is nog geen methode die zonder een controle in het veld het beregeningstijdstip betrouwbaar uit rekent.

Na afloop van het project hebben de acht betrokken bedrijven (inclusief het bedrijf dat niet beregend middels een enquête hun mening gegeven over het gebruik van de CLM-beregeningsplanner. Verwacht wordt dat wanneer de papieren versie komend jaar wordt vervangen door een PC-versie de beregeningsplanner gebruiksvriendelijker wordt. Daarbij moeten de uitgangspunten te wijzigen zijn als dit nodig blijkt en dient de benodigde tijd per week voor het bijhouden van de planner bij voorkeur minder te bedragen dan een half uur.

Summary

The main aim of the project "Customized sprinkle irrigation" is to reduce the amount of groundwater used in sprinkle irrigation. The project, which researches how far a sprinkle irrigation planner may aid farmers to reduce water use, includes field trialling of the CLM sprinkle irrigation planner, the results of which are presented in this report. The CLM sprinkle irrigation planner uses a moisture balance sheet to provide advice about when to sprinkle irrigate and how much water to use.

The management and water application of eight working farms and the Cranendonk experimental farm were monitored intensively. The eight selected farms are in North Brabant, generally on sandy, drought-prone soils. Five of the farms are relatively dry and three are relatively wet. One of the dry farms does not sprinkle irrigate. The eight farmers were asked to use the sprinkle irrigation planner to keep a moisture balance sheet for four fields. The idea was that the planner would indicate the correct time to sprinkle irrigate.

In April, SC-DLO carried out an extensive soil survey on each farm and estimated the rootable depth. The mapping took a minimum of one day per farm. The number of soil augerings required and the time allotted per soil core were experienced as restricting factors (numerous soil cores are required to obtain insight into the variation in a farm's soil).

Using SC-DLO's soil data, DLV-Almelo estimated rootable depths and drew up tables of data on the moisture content of the rooting zone and the potential for capillary rise from the water table. These tables are essential for keeping the sprinkle irrigation planner up to date.

The rooting depths were estimated with the aid of the rootable depth determined during the soil survey. The estimates were checked against rooting depth measured during the growing season.

The topsoil of the trial fields was sampled weekly, to ascertain the moisture content of the rooted zone. After the growing season, these samples were used to compare the CLM sprinkle irrigation planner with reality. It was shown that on 13 of the 27 trial fields the CLM sprinkle irrigation planner overestimated the moisture content of the topsoil. In eight cases the estimates calculated by the CLM planner matched reality. The disparity between the actual moisture content and the predictions of the CLM planner is generally attributable to selecting inappropriate basic assumptions and, very probably, to overestimating the additional supply of water via capillary rise. The inappropriate basic assumptions relating to the soil survey were:

- an overestimation of the rootable depth;
- an incorrect assessment of soil data;
- an incorrect choice of reference cores.

The weather in spring 1996 and the limited time in which the project had to be set up undoubtedly influenced the results and conclusions of the first year of research. It seems that accurate prediction is possible only if the basic assumptions for setting up the planner are chosen very carefully.

A simplified calculation method with modified assumptions was also used to calculate the moisture regime (moisture content of the rooting zone) of the grass trial fields for the period from 1 May to the end of August 1996. This also enabled calculations to be made of how, according to the criteria of the sprinkle irrigation planner, the sprinkle irrigation should have taken place.

On the basis of the volume of groundwater abstracted per farm in 1995 and 1996, it initially seemed that the farms did not reduce water use in 1996. According to the calculations however, six of the 16 trial fields (under grass) could have saved substantial volumes of water. These were generally fields that do not dry out quickly due to capillary rise of groundwater, and for which a planner could be very important in economizing on water. According to the calculations, more water should have been applied to five fields. This conclusion fits in with the reduction in growth (not measured) visible on these fields during the summer.

OPTICROP (the distributor of the PC sprinkle irrigation planner) and SC-DLO also calculated the water use for 1996, using the PC version of the sprinkle irrigation planner and the SWAP 2.0 model respectively. The resulting estimates of water use were compared with actual water use, in order to improve the reliability of statements about the water savings that can be achieved by using moisture balance sheets. The water savings calculated with the aid of simplified water balance system were not identical to those calculated with the PC sprinkle irrigation planner and SWAP 2.0. The volume of sprinkle irrigation required

according to the simplified moisture balance system was generally higher. The methods for calculating a moisture balance sheet are not identical and are insufficiently reliable for determining the optimal timing of sprinkle irrigation. At present, a moisture balance sheet can only serve as a useful aid in planning sprinkle irrigation. As yet there is no method for reliably calculating the best time for sprinkle irrigation without field checks.

After the conclusion of the project, the eight farmers (including the one who did not sprinkle irrigate) were surveyed via a questionnaire, to ascertain their opinions on the CLM sprinkle irrigation planner. It is expected that the PC version of the planner that will replace the paper version next year will be more user-friendly. The PC version must allow the user to alter basic assumptions if necessary, and it should preferably take less than half an hour a week to maintain.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1 Inleiding	1
2 Referentiebedrijven	2
2.1 Berekeningssituatie; intensiteit, capaciteit, strategie.....	2
3 Werkzaamheden en waarnemingen	3
3.1 Bodemkartering en inschatting van de bewortelingsdiepte	3
3.2 Introductie van de CLM-beregeningsplanner	3
3.3 Waarnemingen en registratie door het bedrijf	3
3.4 Proefpercelen	4
3.5 Vochtmonsters.....	4
3.6 Grashoogtemetingen	4
3.7 Opbrengstbepalingen maïs	4
3.8 Botanische samenstelling en zodebezetting	5
3.9 Bewortelingsdiepte	5
3.10 Technische controle beregeningsinstallatie.....	5
3.11 Visuele beoordeling vochtgehalte.....	5
3.12 Het weer in 1996	5
4 Resultaten	7
4.1 Bodemkartering en inschatting van de bewortelingsdiepte	7
4.2 Tabellen voor de beregeningsplanner	8
4.3 Botanische samenstelling.....	8
4.4 Bodembedekking maïs en moment van bloei.....	9
4.5 Bewortelingsdiepte	9
4.6 Toetsing CLM-beregeningsplanner	9
4.7 Benadering van de werkelijkheid met een vereenvoudigde methode	13
4.8 Watergebruik	15
4.9 Visuele beoordeling vochtinhoud.....	20
4.10 Enquête	21
5 Discussie	22
6 Conclusies	25
7 Aanbevelingen	27
List of tables and figures	31
Bijlagen	32

1 Inleiding

Efficiënt beregenen van grasland en voedergewassen draagt bij aan een verantwoord watergebruik. Van belang daarbij is het voorkomen van waterverliezen, het realiseren van een goede waterverdeling en het afstemmen van de watergift op de gewasbehoefte en opnamecapaciteit van de grond. Het optimale beregeningstijdstip en de watergift kunnen mede worden afgeleid uit een vochtboekhouding. Daarnaast zijn ook de beregeningsstrategie (de prioriteit bij een beperkte beschikbaarheid van water), de droogtegevoeligheid en waterbenutting van de gebruikte voedergewassen en de kosten van beregening belangrijk.

De hoofddoelstelling van het project 'Beregenen op maat' is om te onderzoeken in hoeverre een beregeningsplanner, als hulpmiddel voor de veehouder, een bijdrage levert aan het terugdringen van het grondwatergebruik voor beregening. De toetsing van de CLM-beregeningsplanner in de praktijk is een deelonderzoek van het project 'Beregenen op maat'. De resultaten worden in dit rapport beschreven.

De beregeningsplanner van het CLM geeft adviezen voor het tijdstip van beregenen en de te verstrekken hoeveelheid water op basis van een vochtboekhouding. De basis voor de vochtboekhouding wordt gevormd door de vochtinhoud van de grond, de capillaire opstijging, de neerslag en de gewasverdamping. De beregeningsplanner van het CLM is gebaseerd op een versimpeling (in hydrologisch opzicht) van de processen in de onverzadigde zone van de bodem (zie Bijlage 1). De CLM-beregeningsplanner is verkrijgbaar in de vorm van een papieren versie en een PC-programma. In 1996 is uitsluitend gebruik gemaakt van de papieren versie, omdat de PC-versie niet beschikbaar was. Het onderzoek heeft plaatsgevonden op acht praktijkbedrijven en op proefbedrijf Cranendonck.

Doelstellingen onderzoek

De doelstelling van het project 'Beregenen op maat' is het terugdringen van het grondwatergebruik voor beregening. Als middel daarvoor wordt het een praktisch hulpmiddel ontwikkeld en geïntroduceerd, dat de agrariër in staat stelt efficiënter te beregenen. Als subdoelstellingen 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 watergebruik, de bedrijfsvoering en het inkomen, (3) het ontwikkelen en toetsen van praktische richtlijnen voor een beregeningsstrategie met minimaal watergebruik en optimale bedrijfsvoering als gevolg en (4) het ontwikkelen en beoordelen van technische en economische criteria ten behoeve van een optimale beregeningsstrategie.

In deze rapportage ligt de nadruk op de keuze van de uitgangspunten voor de CLM-beregeningsplanner, de toetsing van de voorspelde vochtinhoud van de bodem, het praktisch gebruik van de planner en het gerealiseerde watergebruik.

2 Referentiebedrijven

Van acht praktijkbedrijven is het management en de vochtvoorziening intensief gevolgd. De acht bedrijven zijn gelegen in Noord-Brabant, voornamelijk op droogtegevoelige zandgronden. Bij het selecteren van de bedrijven voor het onderzoek is bewust gekozen voor vijf relatief droge en drie relatief natte bedrijven, waarvan één droog bedrijf niet beregent. Bij het selecteren van de bedrijven op droogtegevoeligheid is de keuze voornamelijk gebaseerd geweest op een globale inschatting van het vochthoudend vermogen van de bovengrond en mogelijke vochtlevering vanuit het grondwater aan de hand van de grondwaterstand. Twee bedrijven zijn nauwelijks (School) of slechts gedeeltelijk droogtegevoelig (Janssen). Het bedrijf van de fam. School, wat niet droogtegevoelig is, ligt in een regio waar de afgelopen jaren is gewerkt aan het verhogen van het grondwaterpeil in het groeiseizoen. Hiertoe wordt Maaswater in het gebied gelaten. Op het bedrijf van de fam. Janssen is er voor een gedeelte van de bedrijfsoppervlakte sprake van een behoorlijke levering van vocht uit de ondergrond, door een (betrekkelijk) hoge grondwaterstand. Bovendien is de grond van een gedeelte van de bedrijfsoppervlakte sterk leemhoudend en is lichte zavel aanwezig. Afgezien van dit bedrijf met gedeeltelijk kleihoudende grond, hebben de overige bedrijven meestal te maken met leemarme of zwak lemige zandgronden. De zes overige bedrijven hebben geen of beperkte invloed van het grondwater en blijken bij nader inzien (bodemkartering en ervaring groeiseizoen 1996) allen in meer of mindere mate droogtegevoelig. Zie voor de resultaten van de bodemkartering Bodemkartering en inschatting van de wortelingsdiepte paragraaf 4.1 en Bijlage 3.

Parallel aan deze referentiebedrijven werden waarnemingen uitgevoerd op het Proefbedrijf Cranendonck. Ook het proefbedrijf wordt grotendeels gekenmerkt als een droog bedrijf.

2.1 Beregeningssituatie; intensiteit, capaciteit, strategie

Bij de keuze van de acht bedrijven is bewust gekozen voor één bedrijf zonder beregening (Klaassen). Dit bedrijf is één van de bedrijven die in grote mate droogtegevoelig zijn. Gemiddeld koopt dit bedrijf jaarlijks vier ha snijmaïs aan.

De zeven bedrijven die beregenen zijn zodanig intensief (veebezetting) dat ze wat betreft de ruwvoederverzorging met beregening juist zelfvoorzienend zijn of ondanks beregening toch voer moeten aankopen (Nijssen et al. 1997).

De capaciteit van de beregeningsinstallatie is op de bedrijven net voldoende of onvoldoende om in een droge periode de gehele bedrijfsoppervlakte op tijd te kunnen beregenen. Bij beregening werd bij een beperkte capaciteit prioriteit gegeven aan beregening van maïs (voor gras).

3 Werkzaamheden en waarnemingen

3.1 Bodemkartering en inschatting van de bewortelingsdiepte

De bodemkartering is uitgevoerd door SC-DLO volgens het 'protocol voor de inventarisatie van bodemkundig-hydrologische basisgegevens voor de beregeningsplanner' (De Groot & Hack- Ten Broeke). Voor de inventarisatie zijn de volgende basisgegevens bepaald (alle percelen):

- een bodemprofiel met dikte van de onderscheiden lagen;
- van elke laag een schatting van de bouwsteen volgens de Staringreeks (Wösten et al., 1994) op basis van lutum- of leem-percentages, organische stofgehalte en M50;
- schatting van de bewortelbare diepte;
- schatting van de grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen.

Voor het onderscheiden van meerdere beregeningseenheden is eventueel een schatting gemaakt van het vochtleverend vermogen.

3.2 Introductie van de CLM-beregeningsplanner

DLV-Almelo heeft aan de hand van de bodemkundige gegevens van SC-DLO per beregeningseenheid tabellen gemaakt, met daarin gegevens over de vochtinhoud van de wortelzone en de mogelijkheden voor capillaire opstijging vanuit het grondwater. Deze tabellen zijn noodzakelijk voor het kunnen bijhouden van de beregeningsplanner. Eind mei-begin juni waren de bedrijven voorzien van de tabellen en kon de planner worden opgestart. Het droge voorjaar leidde tot problemen omdat beregening al aan de orde was voordat de benodigde informatie beschikbaar was. Ondanks dat de meeste tabellen begin juni pas beschikbaar waren, is de planner per 1 mei gestart en werd bijgehouden tot en met eind augustus. Voordat de benodigde tabellen gebruikt konden worden, werd een planning gemaakt met een vereenvoudigde benadering van de planner. Zodra de tabellen wel beschikbaar waren, is de start per 1 mei opnieuw doorgerekend en kon de draad worden opgepakt in de loop van mei of begin juni. Voor de maïspcelen is de planner vanwege het koude voorjaar later gestart, namelijk 10 mei.

Na het opstarten van de planner met de tabellen van de DLV zijn de uitgangspunten niet gewijzigd en is de planner niet aangepast aan de actuele gemeten vochttoestand. Voor enkele percelen bleek tijdens het groeiseizoen hier wel noodzaak toe. De uitgangspunten zijn niet gewijzigd om het onderzoek zuiver te houden en omdat na de late start de tijd ontbrak om de planner aan te passen.

3.3 Waarnemingen en registratie door het bedrijf

Van de acht referentiebedrijven werd verwacht dat ze de beregeningsplanner, de urenteller van de beregeningsinstallatie, de giftgrootte bij beregening, de grondwaterstand en de neerslag gedurende het groeiseizoen bijhielden. De referentie gewasverdamping werd 2 à 3 keer per week door de DLV aan de bedrijven opgestuurd. Met de beregeningsplanner werd voor vier percelen een vochtboekhouding bijgehouden. Het uitgangspunt was dat de planner sturend zou zijn voor het juiste moment om te gaan beregenen. De giftgrootte werd gemeten met regenmeters. Zeker in het begin van het groeiseizoen werd van de referentiebedrijven verwacht dat regelmatig de beregeningsgift met regenmeters zou worden gemeten. De werkelijke giftgrootte wijkt namelijk bijna altijd af van de hoeveelheid die men denkt te berekenen op basis van de capaciteit van de installatie. De giftgrootte werd gemeten door vier regenmeters diagonaalsgewijs te plaatsen op het te beregenen perceel. De eerste en de laatste regenmeter werden geplaatst op ongeveer 1/8 van de lengte en de breedte uit de perceelsafschieding; de twee andere meters werden geplaatst op gelijke afstanden hiertussen.

Een discussiepunt was of in een plotseling droge periode, waarbij de boer voorzag dat alle percelen achtereenvolgens beregend zouden moeten gaan worden, vóór het bereiken van V-start ($pF=2,7$) zou

kunnen gaan beregenen. Het advies bleef echter onveranderd, namelijk niet beregenen voor V-start is bereikt.

Aanvullend is aan de referentiebedrijven gevraagd om ook het Bemestings Advies Programma (BAP), de graslandkalender en de DLV-rendementsboekhouding te gebruiken en de gevoerde hoeveelheid krachtvoer / bijvoeding bij te houden. Deze gegevens zijn gebruikt voor de economische studie (Nijssen et al., 1997).

3.4 Proefpercelen

Aan de hand van de bodemkartering van DLO-Staring Centrum is apparatuur geplaatst om de drukhoogte en het vochtgehalte in de bodem te meten. De resultaten van deze metingen zijn gebruikt voor hydrologische studies van SC-DLO (De Groot & Hack-Ten Broeke). Voor deze apparatuur zijn per bedrijf twee graslandpercelen en één maïsperceel gekozen. Op deze percelen werden ook de waarnemingen zoals het nemen van vochtmonsters en het meten van de grashoogte uitgevoerd (zie paragraaf 3.6 en 3.7). Naast de proefpercelen werden twee extra graspercelen gekozen waarop alleen vochtmonsters werden genomen. De resultaten van de vochtmonsters konden eveneens worden gebruikt voor het toetsen van de planner met de werkelijkheid. De extra percelen werden zodanig gekozen dat deze in een andere klasse van vochtleverend vermogen vielen (andere bouwstenen of een andere grondwaterstand). Wanneer op basis van het vochtleverend vermogen geen extra percelen gekozen konden worden, dan werden deze percelen geselecteerd op bijvoorbeeld een afwijkende bewortelingsdiepte of een hogere grondwaterstand.

3.5 Vochtmonsters

Om inzicht te krijgen in de vochtinhoud van de bewortelde zone werd de bovengrond van de proefpercelen wekelijks bemonsterd. De vochtmonsters werden genomen om na het groeiseizoen de CLM-beregenings-planner te kunnen toetsen met de werkelijkheid. De twee extra graspercelen werden om de twee weken bemonsterd (wekelijks één van de twee). Op de extra percelen werden eveneens vochtmonsters genomen, waarvan later de resultaten gebruikt konden worden voor extra informatie en ter controle van de resultaten op de proefpercelen.

Per monster werden twaalf prikken genomen, waarvan acht op de diagonaal van het perceel plus twee monsters links en rechts van deze diagonaal. De vochtmonsters werden genomen over een diepte van 0-20 cm en 20-40 cm (op maïs 20-60 cm).

Op elk proefperceel werd rond de geplaatste apparatuur een extra vochtmonster genomen (vijf steken), om een mogelijk afwijkend vochtgehalte ten opzichte van de rest van het perceel te meten.

3.6 Grashoogtemetingen

De grashoogtemetingen zijn gebruikt bij de economische studie (PR) en hydrologische berekeningen van SC-DLO. De hoogtemetingen werden gebruikt om de gerealiseerde opbrengst bij maaien en inscharen in te schatten. Wekelijks werden uitsluitend op de proefpercelen (grasland) hoogtemetingen gedaan. Diagonaals-gewijs werd op 40 punten de grashoogte gemeten.

3.7 Opbrengstbepalingen maïs

De opbrengstgegevens zijn gebruikt bij de economische studie (PR) en hydrologische berekeningen van SC-DLO. Op 7 en 8 augustus is op alle maïsproefpercelen de opbrengst van de maïs bepaald. De maïs had op dat moment op alle percelen het stadium van 100 % vrouwelijke bloei bereikt. De opbrengst werd bepaald door op vijf plekken van twee meter (1,5 m²) de maïs uit een rij af te snijden en te wegen. Van elke plek werden twee planten aselekt genomen. Deze planten (5 * 2) werden

samen in een zak gedaan en op het PAV-lab gehakseld om het drogestof gehalte te bepalen. Eind september werd deze werkwijze herhaald om de eindopbrengst vast te stellen. Tevens werd het kolfaandeel bepaald.

3.8 Botanische samenstelling en zodebezetting

De resultaten van de botanische kartering zijn gebruikt om afwijkingen in productie of vochttoestand van de bodem in vergelijking met de planner te kunnen verklaren. Aan het begin en het einde van het groeiseizoen zijn van alle graslandpercelen de botanische samenstelling en zodebezetting bepaald. De botanische samenstelling en zodebezetting bepaald in het voorjaar is tevens gebruikt voor de keuze van de proefpercelen en extra percelen.

3.9 Bewortelingsdiepte

Het meten van de bewortelingsdiepte heeft gediend ter controle van de vooraf gekozen bewortelingsdiepte, wat als een van de uitgangspunten gold voor de beregeningsplanner. Met behulp van een wortelboor is van de proefpercelen (gras) en van de extra percelen zo nauwkeurig mogelijk de bewortelingsdiepte vastgesteld. Hiertoe is per perceel minimaal drie keer geboord, plus twee boringen in de buurt van de in de grond geplaatste apparatuur. Op de maïspancelen werden ook vijf boringen gedaan, waarvan één boring in de buurt van de apparatuur.

3.10 Technische controle beregeningsinstallatie

DLV-Boxtel heeft op de acht bedrijven de beregeningsinstallatie bekeken en de capaciteit berekend. Er werd een advies gegeven om de installatie nauwkeuriger af te stellen of werden andere technische problemen besproken.

3.11 Visuele beoordeling vochtgehalte

Gedurende de zomer heeft het PR gekeken of het mogelijk was het vochtgehalte van de grond visueel te schatten. Tijdens het nemen van de vochtmonsters op de proefpercelen en extra percelen is per boring een klasse toegekend aan de hoeveelheid vocht die de bodem leek te bevatten (zie voor de klasse-indeling Bijlage 9). Hiertoe werd de grond met de hand uit de gutsboor genomen, om te bekijken en te voelen. De gedachte is dat wanneer met deze visuele methode ervaring opgedaan wordt, het mogelijk is snel en eenvoudig het vochtgehalte te schatten.

Voor het bepalen van het vochtgehalte is gekeken of de magnetron een bruikbaar hulpmiddel is. Met een magnetron zou de veehouder zelf op zijn bedrijf het vochtgehalte kunnen meten en omrekenen naar een vochtinhoud. Dit om de visuele waarneming te verifiëren of een vochtboekhouding van een perceel te controleren.

3.12 Het weer in 1996

In het onderstaande wordt een beknopte samenvatting gegeven van het weer in 1996 (KNMI, 1997). Het jaar 1996 was koud, zeer droog en zonnig. In 1996 kwam gemiddeld in Nederland de jaarsom van de neerslag op 597 mm tegen 794 mm normaal. Hiermee komt de 1996 op de zesde plaats in de rij van droge jaren van deze eeuw. De eerste zes maanden van 1996 waren droog met als droogste maanden januari en april met landelijk slechts 7 mm neerslag. Het was een zonnig jaar met landelijk gemiddeld 1690 uren zonnenschijn tegen 1487 uren normaal. April was de zonnigste maand, gevolgd

door juni. Het cumulatieve neerslag tekort is een gebruikelijke manier om de droogte van een groeiseizoen (1 april tot en met september) weer te geven. Met een figuur wordt in Bijlage 2 het cumulatieve neerslagtekort weergegeven op basis van weersgegevens van de vliegbasis Eindhoven (de figuur is geleverd door de Stuurgroep landbouw innovatie Noord Brabant)

4 Resultaten

4.1 Bodemkartering en inschatting van de bewortelingsdiepte

De resultaten van de bodemkartering op de referentiebedrijven en proefbedrijf Cranendonck zijn weergegeven in Bijlage 3. In Tabel 1 zijn van de proefpercelen de voorkomende standaard bouwstenen in de boven-en ondergrond volgens de Staringreeks (Wösten et al., 1994), de bewortelbare diepte en de bouwstenen van de referentieboring samengevat. Van de betreffende referentieboring van de proefpercelen is het boornummer (boornr.) aangegeven. In Bijlage 3 staat de classificatie van de bouwstenen gespecificeerd. Per bedrijf zijn van alle percelen ongeveer twee boringen per perceel uitgevoerd. De kartering kostte minimaal één dag per bedrijf. Het benodigde aantal boringen en de tijd per boring werden

Tabel 1 Van de proefpercelen van de referentiebedrijven en van het proefbedrijf Cranendonck zijn de voorkomende standaard bouwstenen in de boven-en ondergrond volgens de Staringreeks (Wösten et al., 1994), de bewortelbare diepte en de bouwstenen van de referentieboring samengevat. Van de betreffende referentieboring van de proefpercelen is het boornummer (boornr.) vermeld

Bedrijf	Proefpercelen	Bodemkartering			Referentieboring		
		Bouwstenen bovengrond	Bouwstenen ondergrond	Gt	Boornr.	Bouwstene n bovengron d	Bouwstenen ondergrond
Janssen	2 - gras	B2	O1, O5	VI-VII	8	B2	O2, O1
	11 - gras	B8, B2	O1, O2, O5	IV-VI	11	B4/B7	O2, O1/O2
	16 - maïs	B7, B8, B9	O1, O2, O3, O5, O8, O11	IV-VI	34	B9	O8, O1, O5
School	H1 - gras	B1, B2	O1, O2	VI	9	B2	O1, O2
	R5 - gras	B1, B2	O1, O2	IIIb-IV	42	B2	O2, O1
	M1 - maïs	B1, B2	O1	IV-VI	67	B1	O1
v. Genugten	4 - gras	B2	O2, O4, O10, O11	VI	25	B2	O2, O10
	7 - gras	B2	O1, O2, O3, O10, 11	VI	12	B2/O2	O2, O3, O1, O10
	11 - maïs	B2	O1, O2, O3, O10, O11	VI	8	B2	O2, O3, O2, O10
Mulders	7 - gras	B2	O1, O2, O3, O4	VIII	10	B2	O3, O1, O2, B3
	16 - gras	B2	O1, O2, O3	VIII	10		(B3: venbodem)
	18 - maïs	B2	O2, O3	VIII	20	B3	O2, O3, O2, O3, O4
Smulders	11 - gras	B2	O1, O2, O3, O4, O5, O12	VI-VII	31	B2	O2, O5
	18 - gras	B2	O1, O2, O3, O5	VI-VII	25	B2	O2, O3, O5, O2
	M3 - maïs	B2, B3	O2, O3, O5	VI-VII	40	B2	O2, O5
Klaassen	2a - gras	B2	O1, O2, O5	VII	1	B2	O2, O5, O1
	7b - gras	B2	O3, O4, O5	IV-VI	14	B2	O3, O5, O2, O5
	maïs	B3	O2, O3, O4, O5, O14	VIII	24	B3	O3, O4, O5
Keijzers	W5-gras	B2, B3	O2, O3	VII	25	B2	O2, O3, O2
	W10-gras	B3	O2, O3, O4	VI-VII	25	B2	O2, O3, O2
	M2-maïs	B2	O1, O2	VIII	43	B2	O2, O1
Evers	3 - gras	B2	O2	VI	7	B2	O2, O3, O1
	10 - gras	B2	O1, O2, O3	VI	7	B2	O2, O3, O1
	8 - maïs	B2	O1, O2, O3	VI-VII	23	B2	O1, O3
Cranend.	13 - gras	B2	O1, O2, O3, O4	VII	24	B2	O2, O1, O3, O1
	45 - gras	B2, B3	O1, O2, O3, O4, O9, O17	VII	60	B2	O2, O3, O2, O4, O2

als beperkend ervaren. Een groot aantal boringen is nodig om inzicht te krijgen in de variëteit van de bodem van een bedrijf. Eind april waren deze werkzaamheden afgerond.

4.2 Tabellen voor de beregeningsplanner

De DLV-Almelo heeft aan de hand van de bodemkundige gegevens van SC-DLO tabellen gemaakt, met daarin gegevens over de vochtinhoud van de wortelzone en capillaire opstijging vanuit het grondwater. Deze tabellen zijn noodzakelijk voor het kunnen gebruiken van de beregeningsplanner. Er deden zich bij het maken van de tabellen echter twee problemen voor, namelijk:

- welke boring is representatief voor een perceel of een gedeelte van de bedrijfsoppervlakte
- wat is de gemiddelde bewortelingsdiepte

De oplossing van het eerste probleem was de keuze van een referentieborings; een profielbeschrijving representatief voor meerdere percelen. Per bedrijf werd op deze manier het aantal tabellen beperkt tot maximaal vijf of zes. Voor de gemiddelde bewortelingsdiepte is voor maïs de bewortelbare diepte aangehouden en voor gras is de HELP-tabel (1987) als uitgangspunt gekozen. Voor een dun dek (< 30 cm) is de bewortelingsdiepte 25 cm en voor een matig dik dek (30-50 cm) is de bewortelbare diepte 35 cm. Een dik dek (> 50 cm) komt op geen van de bedrijven voor bij de graslandpercelen. Voor een gemiddelde bewortelingsdiepte tussen 30 en 35 cm is gekozen voor een bewortelingsdiepte van 30 cm. Voor graslandpercelen van minder dan één jaar oud werd 5 cm bij de gekozen bewortelingsdiepte opgeteld. In de loop van het groeiseizoen is de werkelijke bewortelingsdiepte gemeten. In Bijlage 3 is in een tabel aangegeven welke boringen voor welke percelen als referentieborings zijn gekozen.

4.3 Botanische samenstelling

In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de botanische samenstelling op de proefpercelen, welke in het

Tabel 2 Overzicht van de botanische samenstelling (%) op de proefpercelen per bedrijf, gekarteerd in voorjaar (vj) en het najaar (nj). Een + karakteriseert een zeer laag percentage

Bedrijf	Perceel	Bezetting		Engels r.		Ruw beemd		Kweek		Straatgras		Onkruiden	
		vj.	nj.	vj.	nj.	vj.	nj.	vj.	nj.	vj.	nj.	vj.	nj.
Janssen	2	95	90	76	86	+	+			12	5	7	+
	11	80	95	53	76	5	8	2	2	3	2	11	5
School	H1	85	85	74	75		+	3	3	7	7	+	+
	R5	80	90	62	70	6	4	2	+	6	10	4	4
v.Genugten	4	85	95	76	83	+	+			6	5	3	7
	7	100	95	67	87						3	29	3
Mulders	7	85	95	79	78	2	2	+	+	3	10	2	5
	16	95	95	93	94					2	1		
Smulders	11	80	90	50	47	1	5	3	4	15	19	8	12
	18	85	85	72	77	+				4	7	8	2
Klaassen	2a		85		66		1		5		4		16
	7b		95		80		1				3		10
Keijzers	W5	95	95	65	80					+	11	20	2
	W10	95	95	74	68	4	10	3	6	3	6	4	4
Evers	3	80	95	76	85	+	1			2	6	2	4

	10	90	95	88	87			2	5	+	3
Cranendonck	13	85		65		2	4	6		8	
	45	85		67		+	4	5		9	

voorjaar en het najaar zijn gekarteerd. Een laag bezettingspercentage of een hoog aandeel matige-slechte grassen en kruiden, benadeelt een betrouwbare analyse van de resultaten. Bij de kartering van de percelen in het voorjaar was de botanische samenstelling op de volgende percelen minder goed dan gewenst: Janssen perceel 11, School perceel R5, van Genugten perceel 7, Smulders perceel 11 en Keijzers perceel W5. Bij van Genugten perceel 7 en Keijzers perceel W5 was dit te wijten aan een hoog percentage Vogelmuur. In het najaar bleek dat de botanische samenstelling van deze percelen, evenals die van de andere percelen (op één na) voldoende hersteld was. Alleen het perceel 11 van Smulders was in het najaar botanisch nog onvoldoende. Bij Klaassen daarentegen was op beide proefpercelen het percentage onkruiden in het najaar sterk toegenomen.

4.4 Bodembedekking maïs en moment van bloei

Alle maïsproefpercelen zijn tussen 20 april en 1 mei gezaaid. Het tijdstip van volledige bodembedekking is niet vastgesteld. Op 25 juni bedroeg de bodembedekking op het perceel van School en het perceel op Cranendonck circa 80 %. De overige percelen waren toen minder ontwikkeld. Met name het perceel van Evers was onregelmatig en de bodembedekking bedroeg gemiddeld circa 65 % met een variatie tussen 50 en 75 %. Van de andere percelen zijn geen gewasstanden genoteerd. Begin augustus was het stadium van 100% vrouwelijke bloei bereikt.

4.5 Bewortelingsdiepte

In de loop van het groeiseizoen is de bewortelingsdiepte gemeten met een wortelboor. Voor de gemeten bewortelingsdiepte is de zone aangehouden waarin meer dan vijf levende wortels werden aangetroffen. Dit komt overeen met de dikte van de bovengrond waarin ongeveer 80-90 % van de wortels voorkomen. In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de resultaten. De bewortelingsdiepte werd zowel bij gras als bij maïs in de meeste gevallen bij de keuze van de uitgangssituatie voor de beregeningsplanner overschat. Van de grasproefpercelen werd bij twaalf van de achttien percelen gemiddeld een ondiepere bewortelingsdiepte gemeten dan werd aangenomen. De gemiddelde afwijking was circa 9 cm. In vijf gevallen werd de bewortelingsdiepte onderschat, maar was de afwijking geringer, namelijk ongeveer 6 cm.

De gemeten bewortelingsdiepte bij de maïspcelen bleek bij zes van de acht percelen lager te zijn dan de gekozen bewortelingsdiepte (gemiddelde afwijking circa 10 cm). Het perceel maïs van Smulders werd 40 cm overschat. In één geval was de gemeten bewortelingsdiepte slechts 5 cm hoger dan de uitgangssituatie.

4.6 Toetsing CLM-beregeningsplanner

Vergelijking berekend vochtgehalte CLM-beregeningsplanner en de gemeten vochttoestand

Door het droge voorjaar was de vochttoestand van de bodem op de meeste bedrijven niet op veldcapaciteit. Bij het opstarten van de CLM-planner moesten daarom de resultaten van de vochtmonsters als uitgangspunt dienen. Dit is echter niet volgens het principe van de planner en bovendien vrij lastig, omdat de actuele vochtinhoud volgens de planner gebaseerd is op de beschikbare hoeveelheid vocht (traject vanaf $pF = 4,2$) in plaats van de werkelijke hoeveelheid. De uitslagen van de vochtmonsters moesten daarom worden gecorrigeerd.

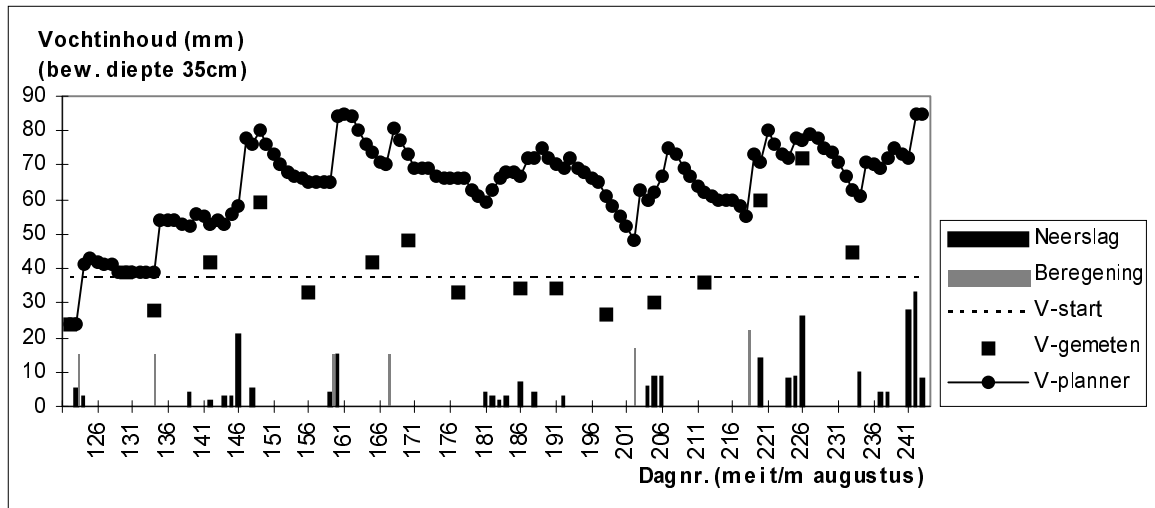
Figuur 1 tot en met Figuur 3 geven een beeld van de resultaten voor twee graspercelen en één maïspcel, met in Figuur 1 een sterk overschatte vochtsituatie op grasland en in Figuur 2 de planning die voor de grasproefpercelen het beste met de werkelijkheid overeenkwam. In de figuren geeft de doorgetrokken lijn de berekende waarden van de CLM-planner weer. De losse punten (V-

gemeten) zijn de uitslagen van de vochtmonsters omgerekend naar een vochtinhoud (volumepercentage vermenigvuldigd met de bewortelingsdiepte). Gedurende de maanden mei t/m augustus is het verloop van de berekende

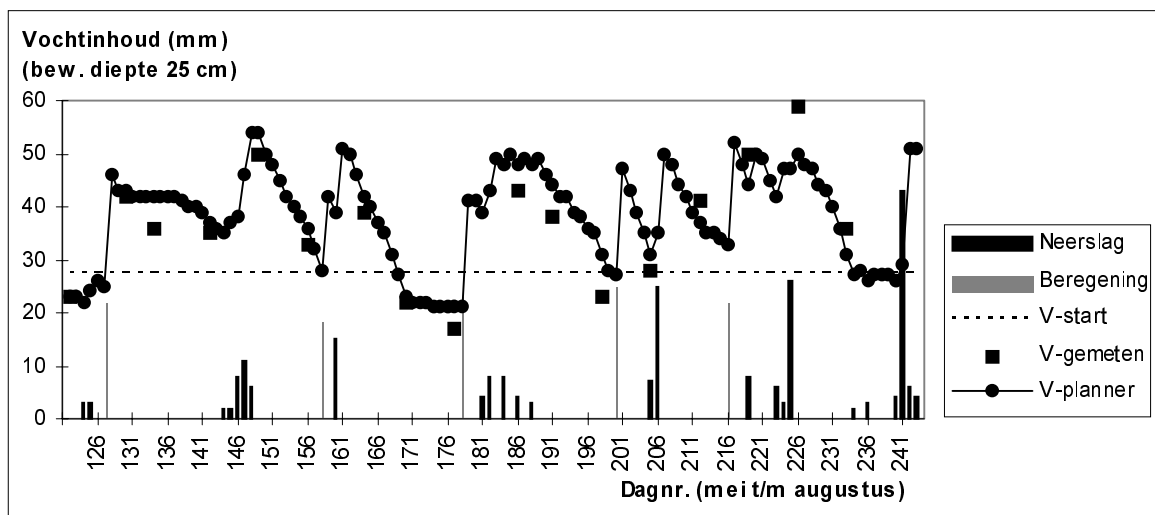
Tabel 3 Overzicht van de bewortelbare diepte (kartering), de gekozen bewortelingsdiepte (beregeningsplanner) en de gemeten bewortelingsdiepte op de proefpercelen van de referentiebedrijven en van het Proefbedrijf Cranendonck

Bedrijf	Proefpercelen	Bewortelbare diepte (cm)	Bewortelingsdiepte uitgangssituatie planner (cm)	Gemeten bewortelingsdiepte (cm)
Janssen	2 - gras	35	35	15-20
	11- gras	35-40	30	20-25
	16 - maïs	40-80	50	-
School	H1 - gras	25-35	30	10-15
	R5 - gras	25-35	30	20
	M1 - maïs	40-80	40	40
v. Genugten	4 - gras	25-35	25	30-35
	7 - gras	30-35	30	30-40
	11 - maïs	60-80	60	50
Mulders	7 - gras	35-45	35	15-20
	16 - gras	30-35	35	25-30
	18 - maïs	40-90	40	45
Smulders	11 - gras	25-35	25	25
	18 - gras	25-35	25	25-30
	M3 - maïs	40-100	90	50
Klaassen	2a - gras	30-45	35	25-30
	7b - gras	25-50	30	25-30
	maïs	60-120	70	55
Keijzers	W5-gras	25-40	30	35-40
	W10-gras	25-30	30	20-25
	M2-maïs	30	60	55
Evers	3 - gras	30-40	35	25
	10 - gras	25-35	35	30-35
	8 - maïs	30-50	45	35
Cranend.	13 - gras	30-35	30	25-30
	45 - gras		30	35-40
	82 - maïs	80-120	85	75

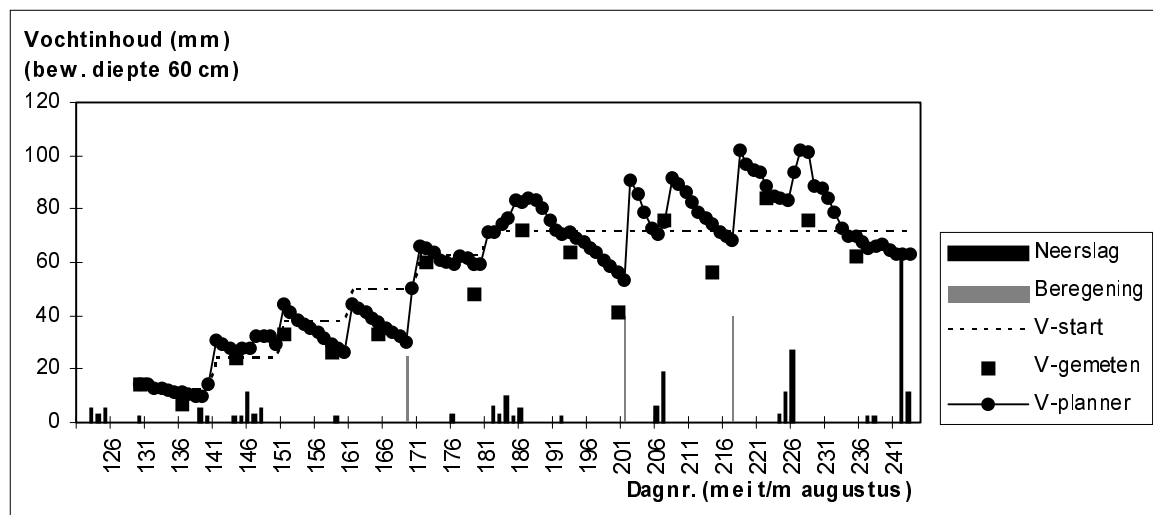
vochtinhoud (V-planner) en de bepaalde vochtgehalten bijgehouden. Met de kolommen wordt de hoeveelheid neerslag en de beregeningsgift aangeduid. De stippellijn geeft het niveau weer van het vochtgehalte bij $pF=2,7$ (V-start). In Bijlage 4 zijn dezelfde figuren voor alle proefpercelen gegeven. In de meeste gevallen bleek dat de CLM-beregeningsplanner de vochttoestand van de bovengrond heeft overschat. In Tabel 4 wordt een samenvatting gegeven van de afwijkingen. Daarbij is aangegeven (*) of de berekende vochtinhoud met de planner vergeleken met de gemeten vochtinhoud is overschat, gelijk was of werd onderschat. Eveneens is aangegeven of een foute inschatting van de bewortelingsdiepte waarschijnlijk een rol heeft gespeeld bij de opgetreden afwijkingen.



Figuur 1 Vergelijking van de berekende vochtinhoud met de CLM-beregeningsplanner en de gemeten vochtinhoud (V-gemeten) in de periode van mei t/m augustus voor Janssen perceel 2. Op dit proefperceel (gras) was sprake van een sterk overschatte vochtsituatie.



Figuur 2 Vergelijking van de berekende vochtinhoud met de CLM-beregeningsplanner en de gemeten vochtinhoud (V-gemeten) in de periode van mei t/m augustus voor van Genugten perceel 4. Op dit proefperceel (gras) kwam de berekende vochtinhoud het beste met de werkelijkheid overeen.



Figuur 3 Vergelijking van de berekende vochtinhoud met de berekeningsplanner (V-planner) en de gemeten vochtinhoud (V-gemeten) in de periode van mei t/m augustus voor het maïs-proefperceel van Keijzers.

Tabel 4 Voor de proefpercelen van de referentiebedrijven en het Proefbedrijf Cranendonck is aangegeven (*) of de berekende vochtinhoud met de CLM-beregeningsplanner vergeleken met de gemeten vochtinhoud was overschat, gelijk is of werd onderschat. Aangegeven is of een foute inschatting van de bewortelingsdiepte een rol heeft gespeeld (waarschijnlijk) bij de opgetreden afwijkingen

Bedrijf	Proefpercelen	Vochtinhoud overschat	Vochtinhoud gelijk	Vochtinhoud onderschat	Foute inschatting bewortelingsdiepte
Janssen	2 - gras	*			*
	11 - gras	*			*
	16 - maïs	*			
School	H1 - gras	*			*
	R5 - gras	*			*
	M1 - maïs	*			
v. Genugten	4 - gras		*		
	7 - gras		*		
	11 - maïs		*		
Mulders	7 - gras			*	*
	16 - gras			*	*
	18 - maïs	*			
Smulders	11 - gras	*			
	18 - gras		*		
	M3 - maïs	*			*
Klaassen	2a - gras		*		
	7b - gras		*		
	maïs		*		
Keijzers	W5-gras			*	
	W10-gras			*	
	M2-maïs		*		
Evers	3 - gras	*			*
	10 - gras	*			*
	8 - maïs			*	*
Cranend.	13 - gras	*			
	45 - gras			*	*
	82 - maïs	*			*
Totaal		13	8	6	12

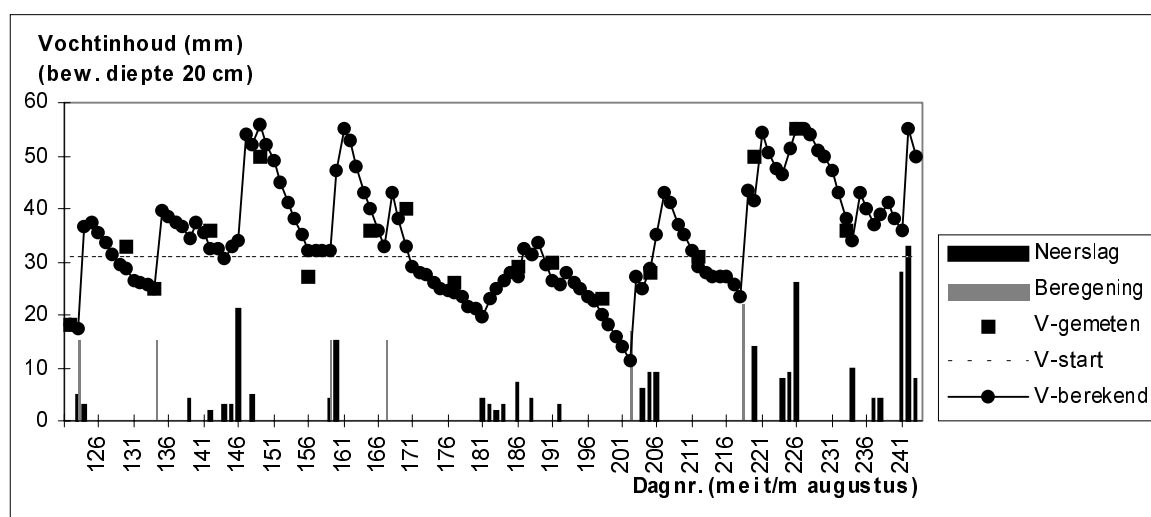
4.7 Benadering van de werkelijkheid met een vereenvoudigde methode

Uit het voorgaande bleek dat met de CLM-beregeningsplanner in veel gevallen de werkelijke vochtinhoud van de wortelzone niet goed berekend werd met als belangrijkste oorzaken de foute inschatting van bewortelingsdiepte en verkeerde keuze van bodemkundige gegevens. Om nu na te gaan of de beregeningsplanner met verbeterde gegevens wel in staat is om de vochtinhoud correct te berekenen zouden de berekeningen eigenlijk opnieuw moeten worden uitgevoerd. Daarvoor in de plaats is gekozen voor een verdere vereenvoudiging van de vochtboekhouding om na te gaan of verbeterde uitgangspunten tot betere voorspellingen kunnen leiden. De uitgangspunten zijn als volgt gewijzigd:

- de bewortelingsdiepte is gebaseerd op de gemeten waarde;
- wanneer de referentieboring verkeerd gekozen bleek te zijn, is de classificatie van de boven- en ondergrond herzien op basis van de uitgevoerde kartering;

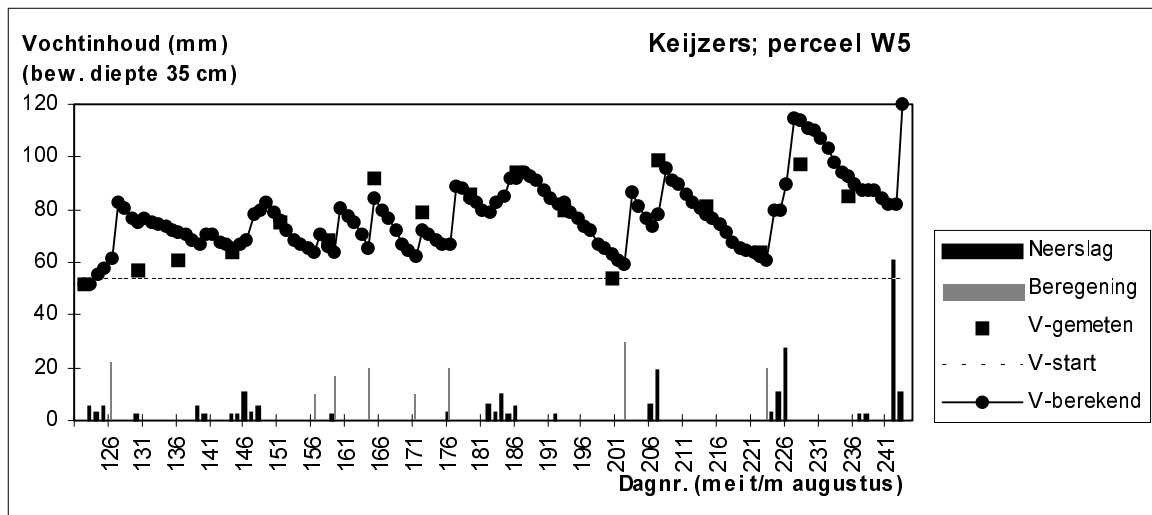
- de uitgebreide profielbeschrijving is vervangen door 1 klasse die de ondergrond karakteriseert qua capillaire nalevering;
- de capillaire nalevering wordt benaderd (Handboek Rundveehouderij) met een gemiddelde hoeveelheid (0,1, 2 of 3 mm), afhankelijk van de bewortelingsdiepte en de grondwaterstand. Aangenomen is dat de maximale capillaire nalevering 3 mm is;
- de berekende vochtinhoud is gebaseerd op de totale hoeveelheid vocht (dus inclusief traject $pF > 4,2$);
- als bleek op basis van de vochtmonsters, dat de bodemkartering waarschijnlijk niet juist was (interpretatie van de vochtmonsters), dan werd een andere bouwsteen gekozen b.v. leemarm in plaats van zwak lemig fijn zand;
- in een etmaal met neerslag of beregening werd de capillaire nalevering gelijk aan 0 gesteld.

Afgezien van deze wijzigingen waren de berekeningen gelijk aan de beregeningsplanner. Figuur 4 en Figuur 5 geven het verloop van de vochtinhoud weer berekend met de vereenvoudigde benadering van twee proefpercelen met een verschillend type bovengrond volgens de bouwstenen uit de Staringreeks (Wösten et al., 1994).



Figuur 4 Vergelijking van de opnieuw berekende vochtinhoud (eenvoudige methode) en de gemeten vochtinhoud Janssen perceel 2 (zie Figuur 1). De textuur van de boven- en ondergrond zijn in deze berekening respectievelijk zwak lemig en leemarm fijn zand.

Uit de figuren blijkt dat de vereenvoudigde vochtbalans met verbeterde uitgangspunten (bodem, beworteling) de werkelijkheid goed kan benaderen. In Bijlage 5 is voor alle grasproefpercelen een dergelijke grafiek weergegeven. Voor een deel zijn de verbeteringen toe te schrijven aan het beperken van de capillaire nalevering tot maximaal 3 mm. Ook bij de eenvoudige vochtbalans geldt dat afwijkingen ontstaan kunnen zijn door overlap in beregeningsbanen en een betrekkelijke effectiviteit van een regenbui en een beregeningsgift.

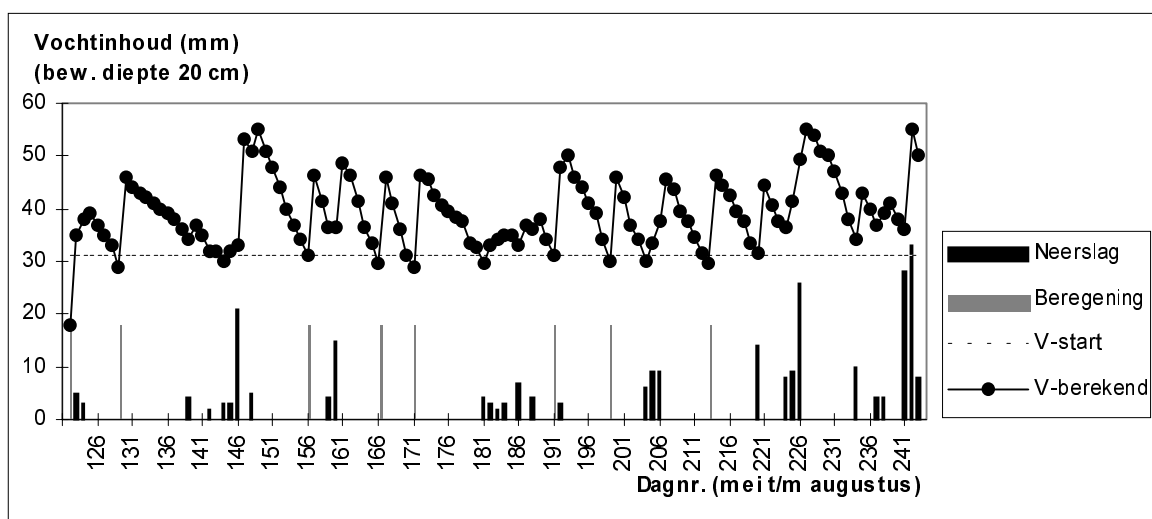


Figuur 5 Vergelijking van de opnieuw berekende vochtinhoud (eenvoudige methode) en de gemeten vochtinhoud voor Keijzers perceel W5. De textuur van de boven- en ondergrond zijn in deze berekening respectievelijk sterk lemig en zwak lemig fijn zand.

4.8 Watergebruik

Vergelijking *werkelijk watergebruik en volgens de criteria van beregenen op maat*

In paragraaf 4.7 is beschreven hoe met een vereenvoudigde berekeningswijze het vochtverloop (vochtinhoud van de wortelzone) van de grasproefpercelen is berekend voor de periode van 1 mei tot en met eind augustus. Op deze manier kan ook worden uitgerekend hoe er volgens de criteria van de beregeningsplanner berekend had moeten worden zie Figuur 6. Bij deze berekening is de giftgrootte gebaseerd op het verschil tussen V-max en V-start en is maximaal 25 mm. Er werd berekend op het moment dat een vochttekort reeds was bereikt ($pF=2,7$). Wanneer dit vochttekort werd bereikt op de dag voor een aantal dagen met neerslag dan werd beregenen uitgesteld. Verondersteld is dat wanneer één dag voor een meerdaagse regenperiode door weerstations een neerslag verwachting wordt gegeven, boeren daar met beregening op kunnen anticiperen door beregening uit te stellen. De resultaten zijn gegeven in Bijlage 5.



Figuur 6 Verloop van een berekende vochtinhoud (eenvoudige methode) zoals volgens de criteria van de beregeningsplanner berekend had moeten worden voor Janssen perceel 2. Bij deze

berekening is de giftgrootte 18 mm. Er werd berekend op het moment dat een vochttekort reeds was bereikt ($pF=2,7$).

Vervolgens zijn beide berekende vochtverlopen met elkaar vergeleken en is aangegeven of er sprake is van een teveel aan watergebruik, of de beregende hoeveelheid onder de geadviseerde hoeveelheid ligt of dat het gebruik vergelijkbaar is (zie Tabel 5). Voor elk van deze mogelijke vergelijkingen worden motieven, oorzaken en mogelijke besparingen genoemd. De samenvatting van Tabel 5 geeft weer, dat bij zes van de dertien proefpercelen die berekend zijn, water bespaard had kunnen worden. Met name het berekeningstijdstip kan nog beter worden gekozen. Het tijdstip van beregenen wordt in de praktijk mede bepaald door de capaciteit van de installatie. Als de capaciteit beperkt was werd bewust gekozen voor acceptatie van opbrengstreductie of er wordt vroegtijdig berekend. Met vroegtijdig beregenen op een aantal percelen probeert een bedrijf gemiddeld alle percelen op tijd te beregenen. Deze maatregel heeft men alleen genomen tijdens perioden met sterk drogend weer.

Tabel 5 Vergelijking tussen de werkelijk aangewende hoeveelheid water gedurende het groeiseizoen (gemeten met regenmeters) en de hoeveelheid water die gebruikt had moeten worden volgens de criteria van beregenen op maat berekend met verbeterde uitgangspunten volgens een vereenvoudigde berekeningswijze (geoptimaliseerd = Opt.)

Bedrijf	Perceel	Giftgrootte (mm)		Hoeveelheid totaal (mm)		Verklaring
		Werkelijk	Opt.	Werkelijk	Opt.	
Janssen	2	15-22	18	99	144	werkelijk<opt.; bewuste keuze
	11	15-17	13	32	90	werkelijk<opt.; bewuste keuze
School	H1	14-20	10	91	0	werkelijk>opt.; er is besparing mogelijk: juiste moment en kleinere giftgrootte
	R5	-	-	-	-	geen berekening nodig door verhoging stuwpeil Waterschap. Een droge plek in het perceel wordt niet berekend, omdat dit geen invloed heeft op het bedrijfsresultaat.
v. Genugten	4	18-23	25	110	100	werkelijk=opt.
	7	17-30	25	114	100	werkelijk=opt. ; moment en giftgrootte kunnen nog wel beter gekozen worden.
Mulders	7	25-30	24	210	168	werkelijk>opt.; er is besparing mogelijk: juiste moment en kleinere giftgrootte
	16	25-30	24	180	144	werkelijk>opt.; er is besparing mogelijk: juiste moment en kleinere giftgrootte
Smulders	18	20-25	24	208	141	werkelijk>opt.; er is besparing mogelijk: juiste moment.
	11	20-22	19	162	153	werkelijk=opt.
Keijzers	W5	10-30	25	149	175	werkelijk<opt.; berekening was zo goed als optimaal. De capaciteit van de installatie is de beperkende factor
	W10	15-22	25	117	175	werkelijk<opt.; De capaciteit van de installatie is de beperkende factor.
Evers	3	20-25	24	176	168	werkelijk=opt.
	10	20-25	24	195	168	werkelijk>opt.; er is besparing mogelijk: Het berekeningstijdstip kan nog beter gekozen worden.
Cranend.	13	15-24	25	119	100	werkelijk>opt.; besparing mogelijk: berekeningstijdstip kan nog beter gekozen worden.
	45	20-24	25	107	150	werkelijk<opt.; advies planner werd opgevolgd (oude uitgangssituatie) ondanks dat verdroging werd geconstateerd.
Samengevat		18-25	22	138	132	werkelijk<opt.: in 2 van de 5 gevallen ging het om een bewuste keuze. In 2 gevallen werd de capaciteit als beperkend ervaren. 1 bedrijf week niet af van het advies van de planner. werkelijk>opt.: 6 gevallen. 6 keer is er besparing mogelijk door een beter keuze van het berekeningstijdstip en in 3 gevallen moet tevens de giftgrootte worden teruggebracht. werkelijk=opt.: 4 gevallen. Op 1 van deze percelen kan het moment van beregenen wel beter gekozen worden, evenals de giftgrootte.
Conclusie	In 7 van de 15 gevallen kan de planner een positieve bijdrage leveren aan efficiënt watergebruik en het terugdringen van het watergebruik. In 4 gevallen wordt een hoger watergebruik geadviseerd					

dan is aangewend.

Vergelijking berekend watergebruik volgens beregeningsplanner-PC 1.0 (OPTICROP) met planning volgens SWAP 2.0 (SC-DLO) en een vereenvoudigde vochtboekhouding (PR) op grasland

In het bovenstaande is met een vereenvoudigde vochtboekhouding de totale beregeningsbehoefte voor 1996 uitgerekend. Dit is echter één methode om het watergebruik volgens de criteria van Beregenen op maat te berekenen. Door OPTICROP (exploitant beregeningsplanner-PC) en SC-DLO is eveneens het watergebruik voor dit jaar uitgerekend op basis van respectievelijk de PC-versie 1.0 van de beregeningsplanner en het model SWAP 2.0 (zie tussenrapport De Groot & Hack-Ten Broeke)*. Een vergelijking van deze op verschillende manieren uitgerekende hoeveelheden watergebruik met het werkelijk watergebruik dient gemaakt te worden voordat een uitspraak gedaan kan worden over de mogelijke mate van waterbesparing.

Uit paragraaf 4.6 blijkt dat met de papieren versie van de beregeningsplanner de werkelijke vochttoestand in veel gevallen niet juist werd berekend. Voor het berekenen van de totale beregeningsbehoefte volgens de beregeningsplanner (PC-versie), is het groeiseizoen van 1996 achteraf door gerekend met een meer representatieve keuze van de profielopbouw en een gemeten bewortelingsdiepte. Voor het berekenen van de beregeningsbehoefte is nogmaals de bodeminventarisatie bestudeerd en zijn de in het voorjaar gekozen referentieboringen kritisch bekeken en zo nodig vervangen door boringen die bij nader inzien representatiever bleken. De PC-versie van de beregeningsplanner wijkt op de volgende punten af van de papieren versie:

- de referentiegewasverdamping wordt in de PC-versie gecorrigeerd met een gewasfactor voor het aantal groeidagen vanaf de vorige snede. Deze factor is maximaal 1,2. Bij de papieren versie wordt geen gewasfactor gebruikt.
- bij hele droge of hele natte bodem wordt de verdamping gecorrigeerd voor een aangepaste gewasweerstand (sinkterm). Bij de papieren versie wordt de referentiegewasverdamping gehalveerd zodra de vochtinhoud van de bodem lager wordt dan de hoeveelheid bij V-start.

De beregeningsgiften zijn berekend aan de hand van het verschil tussen de vochtinhoud bij veldcapaciteit en de actuele vochtinhoud min 10 mm. Bij een berekende gift van minder dan 15 mm werd de korting van 10 mm verminderd tot 5 mm om een gift van minimaal 15 mm te berekenen. De berekeningen met SWAP 2.0 zijn gekalibreerd aan gemeten drukhoogten en vochtgehalten van een meetplek in elk perceel. Ook hierbij is de profielopbouw enigszins aangepast en is de beworteling overgenomen van de metingen. Wanneer het gekalibreerde model (zowel de vereenvoudigde vochtboekhouding als SWAP 2.0) de metingen redelijk goed beschrijft, zijn de modellen bruikbaar om te vergelijken. De metingen zijn weliswaar verschillend (meetplek versus perceel en grondmonsters versus TDR-metingen), maar zouden bij een representatieve keuze van de meetplek en redelijke homogeniteit van het perceel niet te veel uiteen mogen lopen (tussenrapport De Groot & Hack-Ten Broeke).

Bij zowel de gesimuleerde planning volgens de beregeningsplanner, SWAP 2.0 en de vereenvoudigde vochtboekhouding is geen rekening gehouden met de praktische mogelijkheid om te beregenen (bijvoorbeeld tijdens beweiden) op het moment dat de planner berekening voorschrijft. Voor zover mogelijk is het werkelijke graslandgebruik gebruikt om de gewasverdamping te corrigeren voor veldperiode, beweiding etc.. De planperiode is voor de drie methoden gelijkgesteld aan de periode 1 mei t/m 31 augustus. In Tabel 6 is een overzicht gegeven van de beregeningsbehoefte gedurende de vier maanden in het groeiseizoen van 1996 berekend op drie verschillende manieren. Tevens is in deze tabel het werkelijke watergebruik weergegeven en of er al of geen waterbesparing mogelijk is volgens de drie berekende plannings. De berekening van waterbesparing volgens de methode van de vereenvoudigde vochtboekhouding is niet eenduidig met de berekeningen volgens de beregeningsplanner-PC 1.0 en SWAP 2.0. De totale beregeningsbehoefte voor 1996 was volgens de vereenvoudigde vochtboekhouding over het algemeen hoger. Volgens Tabel 6 is waterbesparing zeker op zes van de veertien percelen mogelijk (drie sterren), maar onduidelijk is hoeveel water. Een mogelijke waterbesparing werd alleen positief gewaardeerd bij elk van de methoden als berekende methode overtuigend minder was dan het werkelijk watergebruik. Alleen met de beregeningswijzer wordt in vijf gevallen een hoger watergebruik berekend dan gerealiseerd.

* Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de PC-beregeningsplanner versie 1.0 en niet van de later uitgebrachte versie 1.1 (per 31-7-'97).

Tabel 6 Beregeningsbehoefte 1996 van de proefpercelen van zeven onderzoeksbedrijven die hebben berekend, berekend volgens een vereenvoudigde vochtboekhouding (PR), de beregeningsplanner PC 1.0 (OPTICROP) en het model SWAP 2.0 (SC-DLO). Eveneens zijn weergegeven het werkelijke watergebruik en de mogelijkheid van waterbesparing

Bedrijf	Perceel	Werkelijk berekend '96	Beregeningsbehoefte berekend (mm)			Waterbesparing mogelijk (* per berekeningsmethode)
			Planner-PC 1.0	SWAP 2.0	Vereenvoudigde vochtboekhouding	
Janssen	2	99	62	0	144	**
	11	32	0	0	90	**
School	H1	91	0	0	0	***
	R5	0	0	0	0	
v. Genugten	4	110	52	20	100	***
	7	114	0	31	100	***
Mulders	7	210	150	48	168	***
	16	180	110	62	144	***
Smulders	11	162	75	0	153	***
	18	208	45	19	141	***
Keijzers	W5	149	107	79	175	**
	W10	117	104	27	175	**
Evers	3	176	83	0	168	**
	10	195	146	50	168	***

Beoordeling watergebruik maïs

Drie van de acht bedrijven hebben de maïsproefpercelen berekend. De opbrengst van de maïs kan niet direct worden gerelateerd aan de hoeveelheid beschikbaar water. Zo spelen ook bemesting, temperatuur, bodembedekking, en indringingsweerstand (bewortelingsdiepte) van de ondergrond een grote rol. In dit verslag wordt daarom niet verder ingegaan op de opbrengst van de maïsproefpercelen. In Bijlage 7 wordt een samenvatting gegeven van de opbrengsten. Uit literatuur en recent onderzoek is bekend dat maïs veel minder water nodig heeft dan gras om dezelfde hoeveelheid drogestof te produceren (Van der Schans et al., 1996). Maïs gebruikt circa 200 liter per kg drogestof ten opzichte

van 350-400 liter per kg drogestof bij gras. In het kader van dit onderzoek is het vochtverbruik-efficiëntie niet berekend.

Watergebruik geregistreerd met de urenteller

Het watergebruik is geregistreerd met de urenteller en is verwerkt door de Stuurgroep Landbouw Innovatie (Grondwateronttrekking voor beregening, 1996). In Bijlage 8 staat een samenvatting van het watergebruik in de jaren 1995 en 1996 van de acht praktijkbedrijven.

4.9 Visuele beoordeling vochtinhoud

Tijdens het nemen van de grondmonsters kan een inschatting gemaakt worden van de vochttoestand van de grond. Eind juli en begin augustus zijn voor alle bedrijven een aantal percelen bemonsterd en middels een code is de vochttoestand ingeschat. Deze inschatting is gecontroleerd met de resultaten van de gemeten vochtinhoud. De resultaten van de visuele inschatting zijn samengevat in Bijlage 9.

In het totaal is 35 keer visueel beoordeeld met het volgende resultaat:

Beoordeling van de bovenste 20 cm

22	keer voldoende tot goed ingeschat
7	keer onderschat; beoordeling lager dan het werkelijke vochtgehalte
6	keer overschat; beoordeling hoger dan het werkelijke vochtgehalte

Het resultaat van de 34 beoordelingen van de laag 20-40 cm

16	keer voldoende tot goed ingeschat
5	keer onderschat; beoordeling lager dan het werkelijke vochtgehalte
13	keer overschat; beoordeling hoger dan het werkelijke vochtgehalte

Voor het toepassen van de genoemde codering in de praktijk kunnen de verschillende vochttoestanden als volgt omschreven worden:

1. Nog geen beregening nodig. De grond is goed kneedbaar, soms is er zelfs sprake van vochtuittrekking tijdens het kneden.
Bij een dergelijke vochttoestand wordt de kleur van de grond in deze klasse-indeling de basiskleur genoemd. Het gras is fris groen.
2. Afhankelijk van de weersomstandigheden is binnenkort beregening nodig. De grond is meestal nog wel kneedbaar maar valt gemakkelijk uiteen in kleinere brokken, soms is de grond iets kruimelig en wat lichter van kleur. Het gras heeft 's morgens nog een fris groene kleur. Vooral in de namiddag kan plaatselijk een begin van verwelking waargenomen worden. Er is nog geen duidelijke groeivertraging.
3. Beregening is nodig, uitstel gaat productie kosten. De grond is niet meer goed kneedbaar, ze is brokkelig en kruimelig en iets stoffig. De kleur is afwijkend, erg licht ten opzichte van de basiskleur. Het gras begint stress te vertonen. Dit uit zich in dit stadium in een lichte verwelking van het gras, vooral zichtbaar in de namiddag. In het algemeen worden stressverschijnselen herkent aan verwelking, het vouwen van de bladeren, het 'krimpen' van het gras en een donkere kleuring.
4. Er is bijna of geheel sprake van stilstand van de groei. De grond is niet meer kneedbaar, er zit vrijwel geen vocht meer in. De grond is erg stoffig en glijdt gemakkelijk uit de boor. De kleur is ten opzichte van de basiskleur erg licht. Het gras krimpt, heeft een doffe donkere kleur en is duidelijk aan het verwelken. Afhankelijk van de duur van de droogteperiode ontstaat er dood en of afstervend materiaal.

4.10 Enquête

Na afloop van het project hebben de acht betrokken bedrijven middels een enquête hun mening gegeven over het gebruik van de CLM-beregeningsplanner. De uitslag van de enquête is samengevat in Bijlage 10. Aan de hand van een viertal punten wordt in het onderstaande een beeld gegeven van de belangrijkste bevindingen.

Bodemkartering

Zes van de acht bedrijven hebben het idee dat de bodem op hun bedrijf is gekarteerd overeenkomstig de droogtegevoeligheid die de veehouders in de praktijk ervaren. Twee bedrijven hebben voor enkele percelen twijfels over de kartering. De tabellen die gemaakt zijn op basis van de bodemkartering, bleken echter in veel gevallen niet praktisch bruikbaar voor het bijhouden van een vochtboekhouding en het maken van een beregeningsplanning. Dit werd in sommige gevallen geweten aan de verkeerde keuze van de referentiebooring.

De betrokken bedrijven geven aan dat een bodemkartering gericht uitgevoerd kan worden door de ervaring van de boer hierin te betrekken.

Veranderingen in watergebruik ten opzichte van voorgaande jaren (zonder beregeningsplanner)

Twee bedrijven hebben het tijdstip van beregenen vervroegd. Er werd minder lang gewacht met beregening, maar daarbij werd de giftgrootte aanzienlijk verkleind. Drie bedrijven zijn bewust later gaan beregenen en hebben ook de giftgrootte aangepast. Deze bedrijven hebben het idee dat ze, ondanks dat de beregeningsplanner nog niet optimaal werkt, wel water bespaard hebben. De overige twee bedrijven hebben het beregeningstijdstip en de giftgrootte niet aangepast, omdat de wijze van beregenen in de voorgaande jaren volgens deze bedrijven overeenkwam met het huidige advies van Beregenen op maat. De gemiddelde giftgrootte per beregening was afgelopen jaar 20-25 mm. Voorheen was dit voor de bedrijven die de beregeningsgift hebben aangepast gemiddeld 10 mm hoger.

Bezoek van de DLV met betrekking tot de afstelling van de beregeningsinstallatie

Drie bedrijven hebben na het bezoek van de DLV afstelling van de beregeningsinstallatie verbeterd. De veranderingen hadden betrekking op de sectorinstelling, de sproeiers (baarsysteem) en de zwenksnelheid.

Het bezoek werd als zeer nuttig ervaren. De meeste bedrijven hadden naast de afstelling ook vragen over de capaciteit van de installatie in relatie tot de bedrijfsoppervlakte, het vochtleverend vermogen van de grond en het drukverlies in de turbine van de installatie.

Praktisch gebruik van de CLM-beregeningsplanner

Gemiddeld werd de planner wekelijks 1-2 keer ingevuld en de benodigde tijd daarvoor was 35 minuten. De tijd echter die men hieraan zou willen besteden is minder. Daarbij is het gebruik van de PC zeer wenselijk, zodat er minder tijd nodig is en er minder snel fouten gemaakt worden. Voor het bijhouden van de planner werd veel tijd gestopt in getallen opzoeken en invullen in plaats van dat deze tijd besteed kon worden aan de planning van beregening.

5 Discussie

Bodemkartering en inschatting van de bewortelingsdiepte

De variëteit van de bodem binnen percelen en binnen een bedrijf blijkt vaak zeer groot te zijn. De variatie komt voornamelijk tot uiting in het voorkomen van verschillen typen bodemlagen in zowel boven- als ondergrond, de dikte van de verschillende bodemlagen en de diepte waarop ze voorkomen. Het tijdstip van bodeminventarisatie kan invloed hebben op de inschatting van de bewortelingsdiepte. Vroeg in het voorjaar is bijvoorbeeld de bewortelingsdiepte mogelijk minder dan na de ontwikkeling van de eerste snede. Gedurende het groeiseizoen is het wellicht mogelijk dat afhankelijk van de weersomstandigheden de bewortelingsdiepte na de eerste snede afneemt.

Tabellen voor de beregeningsplanner

De voorkomende variatie van bodemprofielen maakt het vaak erg lastig om een referentieboring te kiezen. Bovendien bleek dat verschillende profielopbouwen sterk het resultaat van een berekende vochtboekhouding kunnen bepalen. Hierbij is de actuele grondwaterstand ook van grote invloed. Wanneer bijvoorbeeld een grofzandige laag zowel boven als onder de gemiddelde zomergrondwaterstand voorkomt zoals bij het bedrijf Smulders, dan is de keuze van de referentieboring cruciaal voor het resultaat.

Botanische samenstelling en zodedichtheid

De vochtboekhouding die wordt berekend bij het gebruik van de beregeningsplanner wordt onder andere berekend aan de hand van de referentiegewasverdamping. De actuele verdamping wordt (zonder droogtestress) alleen benaderd door de referentieverdamping als de botanische samenstelling en de zodedichtheid als goed worden geclassificeerd. Een onvoldoende botanische samenstelling en zodedichtheid kan opbrengstreductie tot gevolg hebben welke niet gerelateerd is aan groeireductie door droogte. In het voorjaar was van een aantal proefpercelen de botanische samenstelling onvoldoende. Deze was echter in de meeste gevallen (op één perceel na) al snel na de eerste snede hersteld. De botanische samenstelling was niet zodanig afwijkend dat deze verklarend is voor het verschil tussen de gemeten vochttoestand van de proefpercelen en de berekende vochttoestand met de CLM-beregeningsplanner.

Bodembedekking maïs en moment van bloei

Tussen de verschillende proefpercelen bestond een grote variatie tussen het moment waarop het gewas de bodem volledig bedekt had. Het moment van 50 en 100 % bedekking is niet vastgesteld en kan daarom dus niet gebruikt worden om de veronderstelde gewasontwikkeling (planner) te controleren. Deze vergelijking had wellicht kunnen bijdragen aan een verklaring van de overschatte vochtinhoud op 5 bedrijven. Niet alleen groeiomstandigheden hebben invloed op de ontwikkeling van maïs, maar ook rasverschillen.

Bewortelingsdiepte

Bij twaalf proefpercelen lijkt een foute inschatting van de bewortelingsdiepte een rol gespeeld te hebben in de afwijking van de planner met de werkelijkheid. Bij School is de geringe bewortelingsdiepte waarschijnlijk te verklaren door de gemiddeld hoge grondwaterstand. Op de andere bedrijven, waar sprake is van een geringere bewortelingsdiepte dan verwacht, kan de mate van intensief gebruik van het grasland (N-bemesting, beweiding, beregening) een verklaring zijn. De zuurgraad, aëratie en indringingsweerstand zijn eveneens beperkende factoren voor wortelgroei. Het verschil tussen de gemeten en geschatte bewortelingsdiepte bij maïs wordt waarschijnlijk veroorzaakt door (veel voorkomende) bodemverdichting in de laag 30-70 cm min maaiveld.

Toetsing CLM-beregeningsplanner

De afwijkingen die worden geconstateerd bij de toetsing van de planner met de gemeten vochtinhoud worden grotendeels verklaard door een verkeerde keuze van de uitgangspunten. Bij een verkeerde inschatting van de uitgangspunten (bodeminventarisatie) kunnen genoemd worden:

- een overschatting van de bewortelingsdiepte (zie paragraaf 4.5)
- een verkeerde inschatting van de bodemkundige gegevens
- en een verkeerde keuze van de referentieboring (zie paragraaf 4.2)

Van de 27 proefpercelen komt in acht gevallen (zie Tabel 4) de werkelijkheid overeen met de berekende waarden van de CLM-planner. In de meeste gevallen wordt de vochtinhoud van de wortelzone overschat door de beregeningsplanner. Een verklaring voor een al of niet foute inschatting van de bodemkundige gegevens wordt gegeven in de rapportage van de hydrologische studies (De Groot & Hack- Ten Broeke, 1997).

De overschatting van de vochtinhoud van de wortelzone is over het algemeen op de maïspcelen geringer dan op de graspercelen. De maïspcelen waren in de meeste gevallen gelegen op zandgronden met een diepe grondwaterstand of er was sprake van een geringe bewortelingsdiepte (van Genugten en Evers). Bij de bedrijven Janssen, School en Smulders was er wel een grondwaterinvloed. Juist bij deze 3 bedrijven is er een zeer groot verschil tussen de berekende vochtinhoud en de gemeten waarden. Dit betekent dat waarschijnlijk de capillaire opstijging sterk overschat is. Voor veel graslandpercelen is dit ook het geval geweest, wat in sommige gevallen mede een gevolg is van een overschatte bewortelingsdiepte (bij een grotere bewortelingsdiepte mag bij gelijke grondwaterstand een hogere capillaire nalevering worden verwacht).

Er zijn een aantal mogelijke oorzaken, die een verschil tussen de resultaten van de CLM-beregeningsplanner en de werkelijke vochttoestand kunnen verklaren en die niet gerelateerd zijn aan de keuze van de uitgangspunten:

- de werkelijke hoeveelheid nuttige neerslag en de nuttige hoeveelheid waarmee gerekend kan worden (planner) kunnen van elkaar verschillen
- de gewasverdamping in werkelijkheid kan af geweken hebben met de aangenomen referentieverdamping
- het gewasstadium van maïs is mogelijk anders geweest dan het benaderde gewasstadium door de planner
- mogelijk is er sprake van een overschatting van de capillaire nalevering. Het is niet onwaarschijnlijk dat de strenge vorstperiode en de droge omstandigheden van het najaar '95 en de winter '95 / '96 de potentiële capillaire nalevering negatief beïnvloed hebben (ook na herbevochtiging van de bodem in de periode eind mei).

Juist bij grote hoeveelheden neerslag bij droge grond kunnen preferente stromen in de grond ontstaan, dat wil zeggen dat plaatselijk een gedeelte van de neerslag rechtstreeks naar de ondergrond stroomt. De gewasverdamping zou overschat kunnen zijn door een onvoldoende botanische samenstelling of een laag bezettingspercentage. In de paragraaf 4.3 worden een aantal percelen genoemd welke in het voorjaar een onvoldoende botanische samenstelling toestand hadden. De overschatting van het vochtgehalte van de bovengrond is een aantal gevallen echter zo groot, dat de afwijking niet alleen met een onvoldoende botanische samenstelling verklaard kan worden.

Voor maïs wordt een potentiële verdamping uitgerekend door de referentie gewasverdamping te vermenigvuldigen met een gewasfactor. Deze factor is afhankelijk van het gewasstadium. Het gewasstadium wordt met de CLM-planner benaderd, door na telkens tien dagen vanaf opkomst deze factor aan te passen. De factor is de eerste 40 dagen na opkomst lager dan 1 en na 50 dagen wordt deze groter dan 1 tot maximaal 1,3. De bewortelingsdiepte wordt telkens tien dagen na opkomst vergroot met 10 cm, totdat de bewortelbare diepte is bereikt. Wanneer de bewortelingsdiepte vergroot neemt ook het vochtreservoir toe waaruit de plant water kan onttrekken, dus moet er bij een dergelijke overgang een vochtinhoud worden opgeteld. De ontwikkeling van het gewas wordt benaderd door deze gemiddelde situatie en kan dus afwijken zoals in het afgelopen groeiseizoen van 1996. De start van de maïs was traag door met name koude perioden in mei en juni. Ongunstige groeiomstandigheden komen echter ook tot uiting in een lagere referentiegewasverdamping.

Watergebruik

Uit de vergelijking die is gemaakt tussen het werkelijk watergebruik en de hoeveelheid water die gebruikt zou zijn berekend volgens de vereenvoudigde vochtboekhouding, blijkt er voor zes van de zestien proefpercelen (gras) wel waterbesparing mogelijk te zijn (Tabel 5). Het betreft voornamelijk percelen, die niet snel verdrogen door capillaire opstijging uit het grondwater en waardoor boeren toch geneigd zijn eerder te beregenen dan noodzakelijk is. Voor vijf van de zestien percelen moet volgens deze berekening meer water worden gebruikt. Deze constatering komt overeen met de groeireductie die in de zomer op deze percelen werd waargenomen (niet gemeten) en zouden mogelijk een hoger watergebruik rechtvaardigen.

De berekening van waterbesparing volgens de methode van de vereenvoudigde vochtboekhouding is niet eenduidig met de berekeningen volgens de beregeningsplanner-PC 1.0 en SWAP 2.0 (Tabel 6). De totale beregeningsbehoefte voor 1996 was volgens de vereenvoudigde vochtboekhouding over het algemeen hoger. Volgens Tabel 6 is waterbesparing zeker op zes van de veertien percelen mogelijk, maar onduidelijk is hoeveel water. Het niveau van waterbesparing is hoofdzakelijk afhankelijk van de hoeveelheid capillaire nalevering die wordt aangenomen of berekend. Ook wordt een deel van de verschillen tussen de drie methoden verklaard door verschillen in actuele verdamping en effectieve neerslag. Daarbij beïnvloeden de uitgangspunten in grote mate de kwaliteit van deze berekeningen. Een verklaring voor de verschillen die bestaan tussen de drie berekeningsmethoden wordt gegeven in de rapportage van SC-DLO (Tussenrapportage De Groot & Hack-Ten Broeke).

6 Conclusies

Algemeen

De weersomstandigheden in het voorjaar van 1996 en de beperkte tijd waarin het project moest worden opgestart, hebben ongetwijfeld invloed gehad op de resultaten en bevindingen van het eerste onderzoeksjaar. Door de late start werden de benodigde tabellen (gegevens vochtinhoud wortelzone en capillaire opstijging) voor het gebruik van de planner later aangeleverd dan wenselijk was voor het plannen van berekening vanaf begin mei. Door het droge voorjaar was de vochttoestand van de bodem op de meeste bedrijven niet op veldcapaciteit. Bij het opstarten van de CLM-planner moesten daarom de resultaten van de vochtmonsters als uitgangspunt dienen. Bovendien was de capillaire nalevering in het groeiseizoen mogelijk lager dan normaal, doordat de bodemlagen tussen wortelzone en grondwater eveneens uitgedroogd waren.

Bodemkartering en inschatting van de bewortelingsdiepte

De bodemkartering vergt veel meer tijd dan gewenst is voor een grootschalige toepassing van de beregeningsplanner in de praktijk. De benodigde tijd voor de kartering worden verkort om het betaalbaar te houden. Dit is tegenstrijdig met de vereiste kwaliteit en vraagt zodoende om een andere aanpak van de bodeminventarisatie.

De gemeten bewortelingsdiepte bleek met name voor grasland vaak af te wijken van de ingeschatte bewortelingsdiepte.

Tabellen voor de beregeningsplanner

Aan de hand van de bodemkartering werd een beperkt aantal boringen gekozen, waarvan het bodemprofiel representatief is voor een of meerdere percelen. De keuze van deze boringen bleek zeer bepalend voor de berekeningen van de beregeningsplanner.

Botanische samenstelling en zodedichtheid

In het voorjaar was van een aantal proefpercelen de botanische samenstelling onvoldoende. Deze was echter in de meeste gevallen (op één perceel na) al snel na de eerste snede hersteld. De botanische samenstelling was niet zodanig afwijkend dat deze verklarend is voor het verschil tussen de gemeten vochttoestand van de proefpercelen en de berekende vochttoestand met de CLM-beregeningsplanner.

Bodembedekking maïs en moment van bloei

Tussen de verschillende proefpercelen bestond een grote variatie tussen het moment waarop het gewas de bodem volledig bedekt had. Het moment van 50 en 100 % bedekking is niet vastgesteld en kan daarom dus niet gebruikt worden om de veronderstelde gewasontwikkeling (planner) te controleren. Deze vergelijking had wellicht kunnen bijdragen aan een verklaring van de overschatte vochtinhoud op vijf bedrijven. Niet alleen groeiomstandigheden hebben invloed op de ontwikkeling van maïs, maar ook rasverschillen.

Bewortelingsdiepte

De bewortelingsdiepte blijkt niet alleen afhankelijk te zijn van factoren die tijdens een bodemkartering zijn in te schatten (dikte bovengrond, indringingsweerstand en aëratie). Waarschijnlijk heeft de mate van gebruik van het grasland (N-bemesting, beweiden / maaien en berekening) een grote invloed op de bewortelingsdiepte. Bij maïs wordt in de berekening van de beregeningsplanner verondersteld dat de ontwikkeling van de worteldiepte tot de ingeschatte bewortelingsdiepte continue is. Wordt echter de gewasontwikkeling gestoord dan wordt mogelijk op dat moment de bewortelingsdiepte overschat en daarmee de hoeveelheid beschikbaar vocht.

Toetsing CLM-beregeningsplanner

Afgelopen jaar is de CLM-planner getest met als belangrijkste doelstelling om te zien of het bodemvochtgehalte goed wordt voorspeld. Een goede voorspelling blijkt alleen mogelijk als de uitgangspunten voor het opstarten van de planner zeer nauwkeurig worden gekozen. De uitvoering van de bodemkartering en het bepalen van de bewortelingsdiepte zijn cruciaal voor de kwaliteit van de uitgangspunten.

Voor de geconstateerde afwijkingen tussen de berekende en gemeten vochtinhoud zijn meerdere oorzaken aan te wijzen. Een verklaring van de geconstateerde afwijkingen zijn in hoofdzaak een verkeerde keuze van de uitgangspunten en hoogstwaarschijnlijk een overschatting van de capillaire nalevering. Factoren die in mindere mate bij de berekende vochtboekhoudingen de geconstateerde afwijkingen hebben veroorzaakt zijn gewasverdamping (bijvoorbeeld slechte botanische samenstelling en lage zodedichtheid) en het voorkomen van ongunstige groeiomstandigheden (maïs). Onduidelijk is in hoeverre de overschatting van de capillaire nalevering voortkomt uit de strenge vorstperiode en de droge omstandigheden van het najaar '95 en de winter.

Bij het maken van een vochtboekhouding en planning van de vochtinhoud voor het gewas maïs kunnen extra fouten gemaakt worden, door het verkeerd inschatten van de te verwachten bewortelingsdiepte (kan niet vooraf worden gemeten) en een afwijkende ontwikkelingssnelheid van het gewas.

Watergebruik

Het blijkt erg moeilijk om gefundeerde conclusies te trekken over het werkelijke watergebruik in 1996 door de acht bedrijven en Proefbedrijf Cranendonck op basis van de gegevens die in dit verslag zijn uitgewerkt. In eerste instantie blijken deze bedrijven geen water bespaard te hebben ten opzichte van het voorgaande jaar (zie Bijlage 8 Watergebruik 1995 en 1996). Uit de vergelijking die is gemaakt tussen het werkelijk watergebruik en de hoeveelheid water die gebruikt zou zijn berekend volgens de vereenvoudigde vochtboekhouding, blijkt er voor zes van de zestien proefpercelen (gras) wel waterbesparing mogelijk te zijn (Tabel 5). Het betreft voornamelijk percelen, die niet snel verdrogen door capillaire opstijging uit het grondwater en waarbij een planner juist van groot belang is om water te kunnen besparen. Voor vijf van de zestien percelen moet volgens deze berekening meer water worden gebruikt.

De berekening van waterbesparing volgens de methode van de vereenvoudigde vochtboekhouding is niet eenduidig met de berekeningen volgens de beregeningsplanner-PC 1.0 en SWAP 2.0 (Tabel 6). De totale beregeningsbehoefte voor 1996 was volgens de vereenvoudigde vochtboekhouding over het algemeen hoger. Volgens Tabel 6 is waterbesparing zeker op zes van de veertien percelen mogelijk, maar onduidelijk is hoeveel water. Het niveau van waterbesparing is in de berekeningen hoofdzakelijk afhankelijk van de hoeveelheid capillaire nalevering die wordt aangenomen of berekend. De methoden voor het berekenen van een vochtboekhouding zijn niet eensluidend en geven voorsnog onvoldoende zekerheid voor het bepalen van het optimale beregeningstijdstip. Voorsnog kan een vochtboekhouding alleen dienen als een nuttige ondersteuning van het plannen van beregening en is nog geen methode die zonder een controle in het veld het beregeningstijdstip betrouwbaar uit rekent.

Visuele beoordeling vochtinhoud

Voor een geoefend iemand blijkt het matig tot redelijk mogelijk de vochttoestand van de bodem te beoordelen. Het blijkt dat bij een diepere bemonstering van de bovengrond de vochtinhoud moeilijker is in te schatten en bovendien de afwijking groter wordt. In de meeste gevallen wordt in de laag 20-40 cm bij de betreffende bedrijven ook een gedeelte van de ondergrond bemonsterd, wat meestal veel minder vocht kan bevatten.

Praktisch gebruik (enquête)

De CLM-beregeningsplanner bleek als papieren versie beperkt praktisch bruikbaar. Met name bij bedrijven met invloed van het grondwater op de vochtinhoud van de bovengrond kost het werken met de tabellen en invulformulieren voor de planner veel inspanning om snel en nauwkeurig een vochtboekhouding voor vijf percelen bij te houden

7 Aanbevelingen

Bodemkartering en inschatting van de bewortelingsdiepte

Een goede voorspelling van de vochtinhoud blijkt alleen mogelijk als de uitgangspunten voor het opstarten van de planner zeer nauwkeurig worden gekozen. De uitvoering van de bodemkartering en het bepalen van de bewortelingsdiepte zijn bepalend voor de kwaliteit van de uitgangspunten. Samengevat zijn de volgende punten van belang en worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- inventariseren van de bodem volgens een nieuw protocol, waarin geprobeerd wordt doelgericht, nauwkeurig en in een kortere tijd (halve dag) de bodem te inventariseren. De veehouder zelf kan aangeven of op het bedrijf verschillen bestaan in droogtegevoeligheid, er storende lagen voorkomen en in hoeverre de grondwaterstand varieert;
- het komende jaar zal worden bekeken of textuurmonsters van de bodem een goede aanvulling zijn op het bepalen van de bouwstenen. Tevens moet worden nagegaan of dit ook qua kosten een interessante optie is

Tabellen voor de beregeningsplanner

Tijdens de bodemkartering moet reeds bedacht worden van welke locaties de bodemprofielen representatief zijn voor een of meerdere percelen. Deze profielbeschrijvingen zijn nodig voor het vertalen van de bodemkundige gegevens in tabellen, welke als basis dienen voor de vochtboekhouding die met de beregeningsplanner worden uitgevoerd. Een nauwkeurige keuze van de referentieboringen is van zeer groot belang voor het goed functioneren van de planner.

Botanische samenstelling en zodedichtheid

Het bepalen van de botanische samenstelling en zodedichtheid van de graspercelen in het voor- en najaar kunnen afwijkingen verklaren die niet gerelateerd zijn aan de uitgangspunten en dient zodoende in het vervolgonderzoek wederom te worden uitgevoerd.

Bodembedekking maïs en moment van bloei

Bij maïs dient het moment van 50 % en 100 % bodembedekking te worden vergeleken met de gewasontwikkeling die de planner veronderstelt. Wanneer de werkelijke gewasontwikkeling af gaat wijken van de veronderstelde ontwikkeling (zonder dat er sprake is van droogte) dan is de vermenigvuldiging van de betreffende gewasfactor (afhankelijk van het gewasstadium) met de referentiegwasverdamping niet meer terecht.

Bewortelingsdiepte

De ingeschatte bewortelingsdiepte (bodeminventarisatie) moet gecontroleerd worden met een gemeten bewortelingsdiepte (wortelboor) in het voorjaar. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen jong en ouder grasland (> 1 jaar oud). Verondersteld wordt dat de bewortelingsdiepte van gras gedurende het groeiseizoen niet varieert.

Toetsing CLM-beregeningsplanner

In het vervolgonderzoek zal de nadruk moeten komen te liggen op de keuze van de juiste uitgangssituatie, het terugdringen van het watergebruik en het gebruik van de PC-beregeningsplanner. De controle van de planner zal daarom wederom moeten plaatsvinden. Het wekelijks nemen van vochtmonsters blijkt hiertoe een geschikte methode. De gegevens voor de beregeningsplanner zullen in een zo vroeg mogelijk stadium worden aangepast, als blijkt dat met het programma het werkelijke vochtgehalte niet goed wordt ingeschat.

Vereenvoudigde vochtboekhouding

Een eenvoudige methode kan tegemoet komen aan de bezwaren van een zeer uitgebreide en daardoor kostbare bodemkartering, de praktische bruikbaarheid van de CLM-planner en is van belang voor boeren die geen PC hebben of willen gebruiken. Er zijn ook situaties denkbaar, dat bijvoorbeeld slechts een klein gedeelte van een bedrijf droogtegevoelig is en het niet de moeite en de kosten loont om een uitvoerig programma te gebruiken. Met de vereenvoudigde vochtboekhouding wordt nagestreefd dat:

- een boer inzicht krijgt in de vochtinhoud van de bodem op zijn bedrijf;
- een boer naar zowel het gewas als naar de bodem (gutsboor) kijkt;
- de werkelijke vochtinhoud van de bodem met behulp van een magnetron kan worden bepaald;
- de actuele vochtinhoud van de bodem betrouwbaar wordt bepaald;
- het systeem flexibel is wat betreft de keuze van de uitgangspunten ('beregeningswijzer')

De vereenvoudigde methode, de zogenaamde 'Beregeningswijzer', zal voor het groeiseizoen 1997 worden geïntroduceerd. Zie voor meer informatie over de 'Beregeningswijzer' de bijbehorende gebruiksaanwijzing en handleiding (Evers & Hoving, 1997).

Watergebruik

Wil het effect van het project Beregenen op maat duidelijk naar voren komen dan zal in het vervolg van het project waterbesparing moeten worden gestimuleerd door een strikt gebruik van de PC-planner, het opstellen van een strategisch beregeningsplan afhankelijk van het bedrijf, het aanreiken van economische criteria en het correct afstellen van de beregeningsapparatuur. Het opstellen van een strategisch beregeningsplan zal geschieden aan de hand van specifieke bedrijfsgegevens en de geldende beregeningsbeperkingen. Met de betreffende bedrijven zal worden overlegd in hoeverre dit plan haalbaar en wenselijk is. De economische criteria zijn handreikingen, waarmee de bedrijven op basis van de actuele ruwvoerbehoefte en de geldende ruwvoerprijzen economisch een gefundeerde beslissing kunnen nemen van wel of niet beregenen

Visuele beoordeling vochtinhoud

Het visueel beoordelen van de vochttoestand is erg aan te bevelen, ondanks dat men geoefend moet zijn om de vochttoestand nauwkeurig te kunnen vaststellen. Door het gebruik van een gutsboor wordt 'Beregenen op maat' minder abstract en kan in veel gevallen onnodig beregenen voorkomen. Om ervaring op te doen is het goed om de verwachting te checken met een bepaling van de volumefractie vocht. Het bepalen van de volumefractie vocht is betrekkelijk eenvoudig uit te voeren, door een grondmonster van ongeveer 200 gram te drogen in de magnetron en vervolgens het gewichtspercentage vocht te berekenen (ten opzichte van de droge grond) en te vermenigvuldigen met het volumegewicht van de grond. De gemeten vochtinhoud is helaas niet rechtstreeks te vergelijken met de vochtinhoud waarmee de planner rekent. De planner rekent namelijk met de hoeveelheid beschikbaar vocht voor de plant, dat minder is dan de werkelijke vochtinhoud. Voor een vergelijking moet daarom eerst de werkelijke vochtinhoud gecorrigeerd worden. Dit is voor de gebruikers van de planner niet praktisch.

Praktisch gebruik (enquête)

Verwacht wordt dat wanneer de papieren versie komend jaar wordt vervangen door een PC-versie de beregeningsplanner gebruiksvriendelijker wordt. Daarbij moeten de uitgangspunten te wijzigen zijn als dit nodig blijkt en dient de benodigde tijd per week voor het bijhouden van de planner bij voorkeur minder te bedragen dan een half uur.

Literatuur

Handboek voor de Rundveehouderij, 1993. Lelystad, IKC. Publikatienummer 35

Werkgroep Help-tabel, 1987. Invloed van de waterhuishouding voor de landbouwkundige productie. Landinrichtingsdienst, Utrecht.

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

Boland, D., J. Bongers, G. Slagman, 1996. Werkboek voor het gebruik van de beregeningsplanner. Almelo, DLV. Utrecht, CLM. Werkboek

Evers, H. en I.E. Hoving, 1997. Gebruiksaanwijzing en handleiding Beregeningswijzer. Lelystad, PR.

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

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

Nijssen, K., W.J.M. de Groot, 1997. Economische scenario's Beregenen op maat. Lelystad, PR. Tussenrapport

Schans, D.A. van der, H. Everts en P. Snijders, 1996. Keuze en teelt van voedergewassen op droogtegevoelige grond. Lelystad, PAV en PR. Verslagen onderzoek 1995

Poll, A.J., 1996. Grondwateronttrekking voor beregening. Tilburg, Stuurgroep Landbouw innovatie Noord-Brabant. Rapportage 1996.

List of tables and figures

Tables

1. Summarized data for the topsoil and soil in the trial fields on the reference farms and on Cranendonck experimental farm: the standard textural classes according to the Staring series (a Dutch system: see Wösten et al., 1994), the rootable depth and the textural classes of the reference augering. The auger number of the reference augering in the trial fields is given as *boornr.*
2. The botanical composition (%) on the trial fields per farm, mapped in spring (vj) and autumn (nj). A + indicates a very low percentage.
3. The rootable depth (soil survey), the selected rooting depth (sprinkle irrigation planner) and the measured rooting depth on the trial fields of the reference farms and on Cranendonck Experimental farm.
4. Relation between the moisture content estimated with the CLM sprinkle irrigation planner and the measured moisture content for the trial fields on the reference farms and on Cranendonck experimental farm. A * indicates whether the content was overestimated, accurately predicted, or underestimated. It is indicated whether an incorrect estimate of the rooting depth is likely to have played a role in the disparity.
5. Comparison between the actual volume of water applied during the growing season (measured with rain gauges) and the volume of water that should have been used according the criteria for customized sprinkle irrigation calculated according to a simplified method with improved basic assumptions (optimized = Opt.)
6. Irrigation requirements for 1996 on the trial fields of seven research farms that sprinkle irrigated, calculated according to a simplified moisture balance sheet (PR), the PC sprinkle irrigation planner (OPTICROP) and the SWAP 2.0 model (SC-DLO). The actual water use and the potential for saving water are also given.

FIGURES

1. Comparison of the moisture content calculated with the CLM sprinkle irrigation planner and the measured moisture content (*V-gemeten*) in the period May-August for farmer Janssen's field 2, on which the moisture situation was greatly overestimated.
2. Comparison of the moisture content calculated with the CLM sprinkle irrigation planner and the measured moisture content (*V-gemeten*) in the period May-August for farmer van Genugten's field 4 (under grass), in which the calculated moisture content most closely matched reality.
3. Comparison of the moisture content calculated with the sprinkle irrigation planner (*V-planner*) and the measured moisture content (*V-gemeten*) in the period May-August for farmer Keijzer's maize trial field.
4. Comparison between the recalculated (using the simple method) moisture content and the measured moisture content in farmer Janssen's field 2. The textures used in this calculation were topsoil: slightly silty; soil: fine sand low in silt.
5. Comparison of the recalculated (simple method) moisture content and the measured moisture content in farmer Keijzer's field W5. The textures used in this calculation were topsoil: very silty; soil: fine sand low in silt.
6. Moisture content for farmer Janssen's field 2, calculated with the simple method, and assuming irrigation according to the criteria of the sprinkle irrigation planner. The calculation assumed an irrigation of 18 mm. Sprinkle irrigation was applied as soon as a moisture deficit was reached ($pF = 2.7$).

Bijlagen

Bijlage 1

CLM-beregeningsplanner

Bijlage 2

Cumulatief neerslagtekort

Bijlage 3

Gegevens bodemkartering SC-DLO

Bijlage 4

Toetsing Beregeningsplanner CLM

Bijlage 5

Berekening vochtinhoud met vereenvoudigde methode

Bijlage 6

Berekening vochtinhoud met vereenvoudigde methode volgens criteria 'Beregenen op maat'

Bijlage 7

Drogestof opbrengst (ton ds/ha) en - gehalten (%) van maïs

Bijlage 8

Watergebruik 1995 en 1996

Bijlage 9

Visuele beoordeling vochttoestand bodem

Bijlage 10

Uitslag enquête referentiebedrijven