

J. v. Bahel

Nota 1376

oktober 1982

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

DE RELATIE TUSSEN WATERAANVOER, VERDAMPING EN

PRODUKTIE BIJ HET GEWAS AARDAPPELEN

Verslag van een veldproef op het proefterrein
Sinderhoeve in 1981

ir. A.J. Hellings

M. de Graaf

ing. D.A. van der Schans

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties. Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten. Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

	blz.
INLEIDING	1
I. HET BODEMPROFIEL EN DE PROEFOPZET	3
II. DE BEREKENINGSINSTALLATIE	6
III. KORT OVERZICHT VAN DE RESULTATEN	10
IV. BEREKENING VAN DE VOCHTINHOUD VAN DE BODEM EN DE WEGZIJGING NAAR DE ONDERGROND	12
IV.1. Inleiding	12
IV.2. Bepaling van de vochtinhoud van de bodem	12
IV.3. Berekening van de wegzijging naar de ondergrond	21
V. VERDAMPING VAN HET GEWAS	26
V.1. Potentiële verdamping	26
V.2. Actuele verdamping	33
VI. GEWASONTWIKKELING EN GEWASPRODUKTIE	39
LITERATUUR	49

INLEIDING

Door intensivering van de akkerbouw- en de vollegrondsgroente- teeltbedrijven neemt de behoefte aan watervoorziening voor de gewassen toe.

De wateronttrekking door de industrie en de drinkwater-leidingbedrijven neemt eveneens toe. In verband daarmee wordt de kennis van de relatie tussen watervoorziening en de gewasproductie/-verdamping steeds belangrijker.

Berekening van de effecten van wateraanvoer met behulp van modellen betekent een belangrijke besparing aan tijd en geld ten opzichte van het uitvoeren van talloze regionale veldproeven. Een toetsing van de gebruikte gewas- en andere constanten kan echter niet gemist worden.

Door middel van enkele onder nauwkeurig gecontroleerde omstandigheden uitgevoerde veldproeven zijn de nodige constanten behorende bij uiteenlopende bodem- gewas- en weertypen te bepalen. Hieruit kunnen tevens de reductie-factoren, die het verband aangeven tussen open waterverdamping en potentiële gewasverdamping, in de verschillende groeistadia worden afgeleid.

In 1981 werd op het proefterrein 'Sinderhoeve' in Renkum begonnen met een veldproef teneinde het verband tussen wateraanvoer, gewasverdamping en -productie over korte perioden zo goed mogelijk vast te stellen. Omdat de aardappel het belangrijkste akkerbouwgewas is en bovendien een duidelijke reactie op vochttekorten laat zien is met dit gewas begonnen. Het ras was 'Bintje'.

De proef werd uitgevoerd in samenwerking met het PAGV in Lelystad. Het ICW stelde het proefterrein beschikbaar, verder de beregningsinstallatie, de vochtmeetapparatuur en het weerstation. Het PAGV zorgde voor de gewassenteelt, de grond- en gewasanalyses en de

opbrengstbepalingen. De landbouwkundige werkzaamheden zoals ploegen, bemesten, poten, zaaien, ziektebestrijding en oogsten werden door het Bureau voor Gemeenschappelijke Diensten (B.G.D.) te Wageningen uitgevoerd.

I. HET BODEMPROFIEL EN DE PROEFOPZET

Het bodemprofiel bestaat uit een humeus dek van 30 à 40 cm dikte, een grindlaag die gemengd is met humeus zand van 5 à 15 cm dikte, een bruine inspoelingslaag van 10 à 20 cm dikte op een gele grofzandige en grindhoudende ondergrond. De bewortelbare diepte is 60 à 70 cm. De hoeveelheid opneembaar vocht bedraagt tot deze diepte circa 70 mm. Het grondwater bevindt zich op een diepte van circa 11 m onder m.v. zodat geen capillaire nalevering van betekenis te verwachten is. Voor de waterbalansstudie is dit een voordeel, echter de keerzijde is dat gemakkelijk wegzijging kan optreden bij zware buien of grote beregeningsgiften. Ook is het een nadeel dat de bergingsvariatiën in de grindhoudende lagen moeilijk vast te stellen zijn.

De proefopzet

De proef werd uitgevoerd met 4 objecten en 3 parallellen op een perceel van 36 bij 144 m. De netto veldjes hadden een oppervlakte van 4,5 x 32 m. Deze vorm werd gekozen in verband met het beregeningssysteem en de uitvoering van de periodieke oogsten. (Zie fig. 1).

De volgende objecten werden aangehouden

V ₀	Controle (alleen natuurlijke neerslag)
V ₁	Matige vochtvoorziening, uitdrogingsgrens op 30-35 cm diepte pF 2,8
V ₂	Goede vochtvoorziening, uitdrogingsgrens pF 2,5
V ₃	Ruime vochtvoorziening, uitdrogingsgrens pF 2,3

De watergiften werden aangepast aan het vochtdeficit in de grond echter met inachtneming van 15 mm als ondergrens en 25 mm als bovengrens. Voor het inregelen van overbemesting zijn enkele kleine giften van 5 à 10 mm gegeven.

De vochtgrenzen werden gemeten met behulp van tensiometers met de potjes op 25 cm diepte op alle veldjes. Daarnaast werd terwille van de waterbalans op een tweetal proefplekken de bergingsverandering in het gehele profiel gemeten (zie fig. 1). Behalve met tensiometers voorzien van kwikmanometers werd hier ook met behulp

SINDERHOEVE
 BEREKENINGSPROEFVELD ICW 50.21
 Aardappelen (bintje) STROOK H 4
 schaal 1:500
 datum mei 1961 PAGV 23.8.0:
 Ir. A.J.Hellings (proj. leider)
 get *Deur van der Schans*

- legenda:
 trekkabel
 - - - - - afgrastering
 ~~~~~ aardappel ruggen  
 ||||| tensiometers op 20,40,60,  
 90 en 120 cm -MV

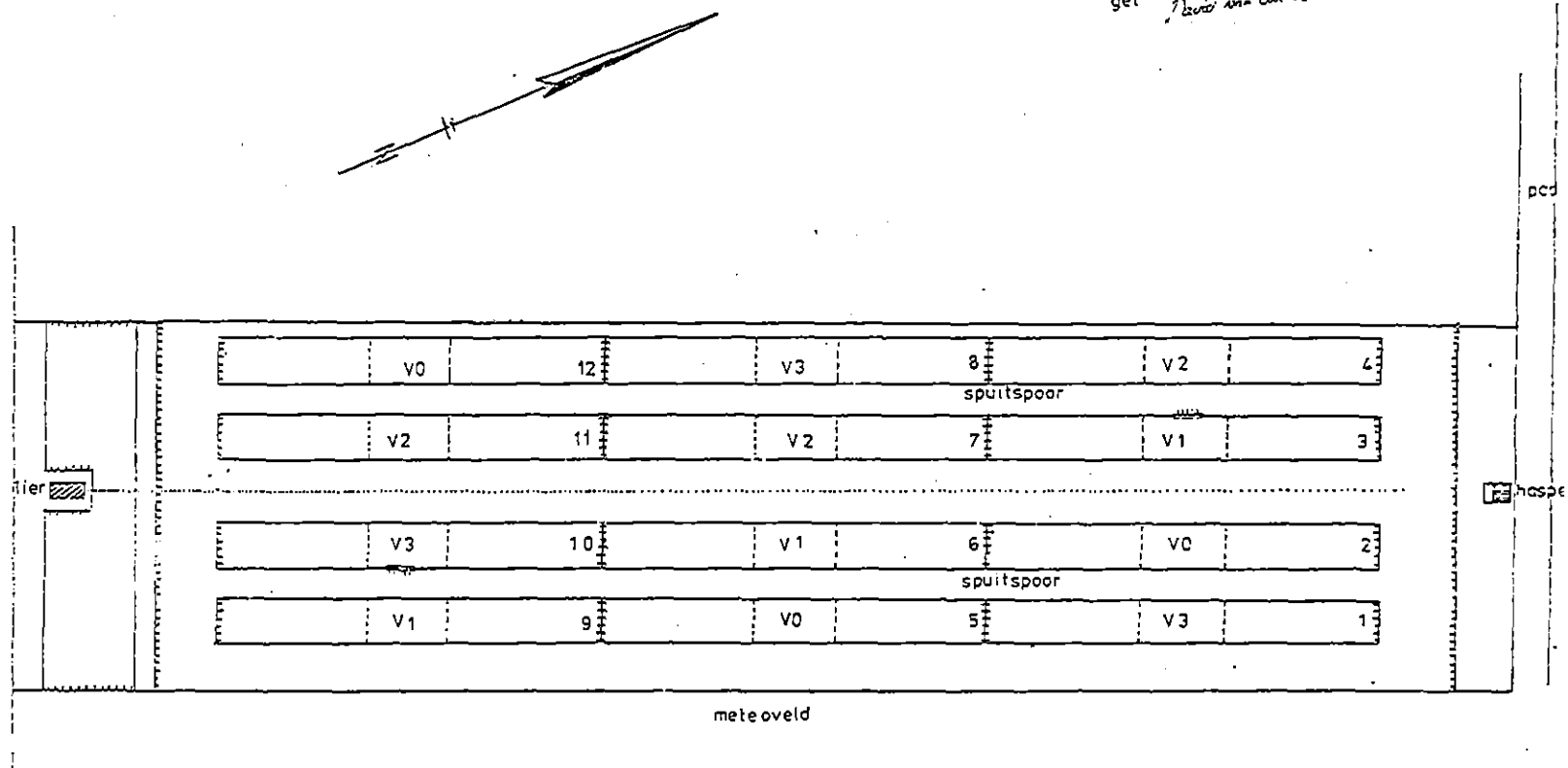


Fig. 1. Proefveldschema

van de gammasonde en met een beperkt aantal capacitieve sensoren het vochtgehalte gemeten.

Tenslotte werd in de lagen 0-20 en 20-40 cm het vochtgehalte gravimetrisch bepaald. Op deze vochtmetingen wordt in hoofdstuk IV uitvoerig teruggekomen.

Van het gewas werden regelmatig de hoogte en de grondbedekking gemeten en enkele malen de LAI (leaf area index). In het begin werd het moment vastgesteld waarop 90% opgekomen was en aan het eind van het seizoen de mate van afsterving van het loof. De grondbedekking werd aanvankelijk op het oog geschat, na het begin van de beregeningsperiode door middel van lichtmeting boven en onder het gewasdek en enkele keren met behulp van infrarood fotografie.

Voorts werden meteorologische waarnemingen gedaan en de open waterverdamping gemeten met behulp van twee blok-evaporimeters.

## II. DE BEREGENINGSINSTALLATIE

Op het proefterrein 'de Sinderhoeve' te Renkum werd een nieuwe beregeningsinstallatie in bedrijf gesteld. Deze speciaal voor proefvelden ontworpen installatie bestaat uit een tweetal sproeiwagens, die door middel van kleine haspelmachines en electrolieren voortbewogen worden. De haspelmachines trekken de sproeiwagens met geringe snelheid over het land en zorgen voor de wateraanvoer. Door de elektrische aandrijving is de snelheid onafhankelijk van de waterafname. De watergift per trek is afhankelijk van de druk en de snelheid. Bij 2,0 bar kan deze variëren van 3 tot 14 mm door het aanpassen van de rijsnelheid. In het algemeen wordt gewerkt met giften van hoogstens 4 tot 6 mm per keer, omdat bij de hoge regenintensiteit van circa 150 mm per uur gemakkelijk plasvorming gaat optreden.

Een probleem met installaties die kleine proefvelden moeten beregenen is het verkrijgen van een goede waterverdeling in combinatie met een geringe windgevoeligheid. Een rijdend systeem met omlaaggerichte sproeidoppen biedt de beste kansen, wanneer over goede sproeidoppen beschikt kan worden. In samenwerking met het IMAG werden doppen gevonden, die een vrij grove druppel produceren en een goede verdeling kunnen geven. Bij dopafstanden van 75 cm waren de resultaten echter nogal wisselend, de variatiecoëfficiënten waren in het algemeen groter dan 10%. In tabel 1 is een overzicht gegeven.

Tabel 1. De waterverdeling van een sproeiwagen uitgerust met RA-10 doppen op onderlinge afstanden van 75 cm. De hoogte (h) van de sproeidoppen en de druk (p) werd gevarieerd om de invloed op de verdeling te kunnen meten. De cijfers hebben betrekking op de totale watergift die in 3 trekken werd gegeven

|            | h=60cm,p=2,0bar | h=80cm,p=2,0bar | h=100cm,p=3,0bar |
|------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Sproeibuis | V.C.%           | V.C. '%         | V.C. ''%         |
| 1          | 15,3            | 8,5             | 17,4             |
| 2          | 20,0            | 16,7            | 11,1             |
| 3          | 29,0            | 20,7            | 25,1             |
| 4          | 24,9            | 20,4            | 12,1             |



Hieruit blijkt dat er tussen de sproeibuizen onderling een duidelijk verschil is opgetreden, ondanks de gelijke druk en hoogte. Voorts is er een tendens dat de gelijkmatigheid iets groter wordt bij toenemende hoogte en druk. De verschillen tussen de buizen onderling bleven echter nog te groot om aan de eisen, die voor waterbalansberekeningen gesteld moeten worden, te beantwoorden.

Naar aanleiding hiervan werd aan het einde van het seizoen nog een meting uitgevoerd met kleinere doppen op afstanden van 37,5 cm. Tabel 2 geeft de resultaten.

Tabel 2. De waterverdeling van een sproeiwagen uitgerust met RA-5 doppen op onderlinge afstanden van 37,5 cm. De hoogte (h) van de sproeidoppen en de druk (p) werd gevarieerd om de invloed op de verdeling te kunnen meten. De cijfers hebben betrekking op de waterverdeling van sproeibuis 1 telkens na 1, 2 respectievelijk 3 trekken

|                | h=50cm,p=2,0bar | h=100cm,p=2,0bar | h=50cm,p=3,0bar |
|----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Aantal trekken | V.C.%           | V.C.'%           | V.C.'''%        |
| 1              | 8,6             | 15,5             | 11,8            |
| 2              | 10,3            | 14,3             | 19,7            |
| 3              | 9,3             | 13,6             | 12,8            |

De waterverdeling blijkt met de kleinere doppen op de halve afstand veel gunstiger te zijn. Verder wordt deze verdeling al bij een betrekkelijk geringe hoogte boven de regemeters behaald, hetgeen de windgevoeligheid vermindert. Drukverhoging leidt hier niet tot een betere verdeling. De kwaliteit van de waterverdeling beantwoordt nu wel aan de proeftechnisch te stellen eisen.

De regenintensiteit van systemen met omlaaggerichte sproeidoppen is in het algemeen hoog. Behalve van de druk is deze ook afhankelijk van de hoogte boven de grond of het gewasdek. Tabel 3 geeft een overzicht daarvan.

Tabel 3. Invloed van hoogte en druk op de natte doorsnede en de regenintensiteit van sproeidoppen (Delavan RA-10)

| Hoogte<br>cm | Druk<br>bar | Natte doorsnede<br>cm | Regenintensiteit<br>mm/h |
|--------------|-------------|-----------------------|--------------------------|
| 50           | 2           | 130                   | 215                      |
| 50           | 3           | 145                   | 238                      |
| 75           | 2           | 180                   | 156                      |
| 75           | 3           | 185                   | 186                      |
| 100          | 2           | 220                   | 127                      |
| 100          | 3           | 230                   | 150                      |
| 135          | 2           | 250                   | 112                      |
| 135          | 3           | 270                   | 128                      |
| 135          | 4           | 280                   | 145                      |

Onder omstandigheden waarbij een zo laag mogelijke regenintensiteit gewenst is, zoals bij zaaibedberekening, dient met een grote hoogte en lage druk gewerkt te worden.

De natte doorsnede wordt mede bepaald door de scheefstelling van de sproeidoppen. Door metingen is een hoek van 30° ten opzichte van de verticaal als gunstig vastgesteld.

Het berekeningssysteem leent zich goed voor verdere automatisering. In samenwerking met de TFDL is een methode ontwikkeld om met behulp van metaaldetectors en spoelen de magneetkleppen van de 4 sproeibuizen te openen en te sluiten. Door middel van tijd klokken in het basisstation en een microprocessor op de sproeiwagens kan een berekeningsprogramma desgewenst 's nachts of tijdens weekeinden uitgevoerd worden. Ingebouwde beveiligingen stoppen de berekening wanneer er iets mis dreigt te gaan als gevolg van weersomstandigheden of technische mankementen. Een printer geeft aan hoe de berekening uitgevoerd is.

Het berekeningssysteem heeft goed gewerkt wat betreft bedrijfszekerheid, drukverliezen, in het spoor blijven van de wagens, elektriciteitsvoorziening en halfautomatische klepbediening met behulp van metaaldetectors. De waterverdeling met RA-10 doppen op 0,75 m

onderlinge afstand liet bij een belangrijk deel van de sproeibomen te wensen over. De bedoeling is om het volgend jaar gebruik te maken van RA-5 doppen op de halve afstand.

### III. KORT OVERZICHT VAN DE RESULTATEN

De proef met aardappelen is goed verlopen, hoewel de berekening door het ontbreken van de automatisering en de niet optimale waterverdeling niet altijd volgens plan kon worden uitgevoerd. Ook werden in het begin te kleine giften toegediend omdat het in handbediening moeilijk was om de verschillende objecten tijdig van water te voorzien. Het aantal giften en de totale hoeveelheid waren als in tabel 4 aangegeven.

Tabel 4. Het aantal giften en de totale gift op de verschillende objecten

| Object         | Aantal | Totale gift (mm) |
|----------------|--------|------------------|
| V <sub>1</sub> | 6      | 90               |
| V <sub>2</sub> | 9      | 110              |
| V <sub>3</sub> | 10     | 127              |

De aardappels werden gepoot op 14 april en geoogst op 17 september. Tussentijds werden 6 periodieke oogsten uitgevoerd.

Wat stikstofbemesting betreft werd in 3 keer 240 kg gegeven, de laatste gift van 40 kg in de tweede helft van juli. De gewashoogte werd regelmatig gemeten. Eind juni werd de grootste hoogte bereikt. Het beregende gewas stak toen gemiddeld 10 cm boven het onberegende uit. Na sterke regenval op 29 en 30 juni trad een omkering op door het in elkaar zakken van het gewasdek. Eind juli kwamen de beregende veldjes weer boven de onberegende uit door een vroege afsterving van het gewas op deze veldjes.

De bedekkingsgraad vertoonde slechts geringe verschillen tussen de objecten, pas na begin augustus staken de beregende objecten gunstig af door de vroegere afsterving van het loof op de onberegende. Vanaf begin juli werd de bedekkingsgraad geschat met behulp van de lichtinterceptie.

De leaf area index (LAI) is driemaal bepaald in relatie met de grondbedekking.

De opbrengst van de laatste periodieke oogst op 2 september en de eindoogst op 16 september waren als in tabel 5 aangegeven.

Tabel 5. Opbrengstgegevens van de laatste periodieke oogst en van de eindoogst

| Object         | Knolopbrengst, vers<br>kg/are |          | Aantal knollen<br>per plant op 2 sept.<br>totaal < 35 mm |     | Droge stof<br>kg/are<br>2 sept. |
|----------------|-------------------------------|----------|----------------------------------------------------------|-----|---------------------------------|
|                | 2 sept.                       | 16 sept. |                                                          |     |                                 |
| V <sub>0</sub> | 450                           | 420      | 20,4                                                     | 8,9 | 99,5                            |
| V <sub>1</sub> | 552                           | 564      | 20,3                                                     | 6,6 | 122,0                           |
| V <sub>2</sub> | 538                           | 536      | 18,2                                                     | 5,2 | 121,9                           |
| V <sub>3</sub> | 554                           | 535      | 18,4                                                     | 4,6 | 122,0                           |

Er zijn duidelijke beregeningseffecten opgetreden, de verschillen tussen de beregende objecten waren klein. Door de sterkere loofopbrengst op de intensief beregende is er zelfs een tendens merkbaar van een wat lagere knolopbrengst dan op de matig beregende. Wel is de sortering op de eerste iets gunstiger. Het opbrengstniveau is voor zandgronden hoog, ten opzichte van de top-opbrengsten op goede klei- en zavelgronden blijft het wat achter als gevolg van een te vroege afsterving van het loof, zonder dat er sprake was van duidelijke gebreksverschijnselen of plantenziekten. Misschien is de laatste stikstofgift in een te laat stadium gegeven. Na half augustus is er ondanks beregening vrijwel geen toename van de verse- of drogestofproductie meer geweest.

Het aantal knollen is van belang voor de sortering. Het daalt iets door ruime watervoorziening, bij doorwas neemt het toe.

#### IV. BEREKENING VAN DE VOCHTINHOUD VAN DE BODEM EN DE WEGZIJGING NAAR DE ONDERGROND

##### IV.1. I n l e i d i n g

Het waterverbruik van het gewas aardappelen tijdens het groei-  
seizoen zal uit de waterbalans worden berekend. De overige termen  
in de waterbalans dienen dan bekend te zijn. In dit hoofdstuk zal  
worden ingegaan op de wijze waarop twee van deze termen, namelijk  
de vochtinhoud van de bodem en de wegzijging naar de ondergrond,  
berekend zijn.

##### IV.2. B e p a l i n g v a n d e v o c h t i n h o u d v a n d e b o d e m

Voor het bepalen van het vochtgehalteverloop in de bodem waren  
gamma-, gravimetrische-, tensiometer- en capacitieve bepalingen  
beschikbaar.

Over de bruikbaarheid van deze metingen enige opmerkingen:

###### - Gammametingen

Het geringe aantal van acht, alsmede de korte periode waarover  
gemeten is, maakten het niet mogelijk het verloop van het vocht-  
gehalte via deze methode te reconstrueren. Als ijkking voor andere  
vochtmetingen waren de resultaten slechts beperkt bruikbaar,  
daar het traject van de gemeten vochtgehaltes klein was.

###### - Gravimetrische bepaling

Uitgaande van een over het groeiseizoen konstant droog volumegewicht  
van de grond, waren deze metingen geschikt om het vochtverloop te  
bepalen.

Deze metingen zijn echter slechts tot een diepte van 40 cm -mv.  
verricht, terwijl de berekening van de wegzijging naar de onder-  
grond metingen tot minstens 100 cm diepte vereist (zie IV.3.).  
Het ontlenen van pF-curven en het opstellen van ijkcurves voor  
de capacitieve sectoren met behulp van deze gravimetrische be-  
palingen werd sterk bemoeilijkt doordat de gemeten vochtgehaltes

in een relatief kort traject lagen, soms op andere data of op andere diepte dan de overige waarnemingen verricht waren.

- Tensiometer waarnemingen

Uit parallelaflezingen van twee tensiometers op enkele meters afstand bleek in het algemeen wel een goede trend af te leiden, echter het absolute niveau verschilde regelmatig. Dit niveau is voor het bepalen van veranderingen in vochtgehaltes van belang. Bij vergelijking met andere vochtbepalingen, bleken sommige tensiometers te lage waarden aan te geven. (Dit was een gevolg van luchtlekkage bij hoge onderdrukken).

Het vertalen van drukhoogten naar vochtgehalten kan door het, met behulp van de gravimetrische vochtbepalingen, opstellen van de pF-curve. Bij het opstellen van de pF-curve uit veldwaarnemingen zal het hysteresis-effect een zekere spreiding veroorzaken.

In het drukhoogtetraject van -100 cm tot 0 cm  $H_2O$  bij de zandgrond op de Sinderhoeve, dient een vergaande nauwkeurigheid voor de bepaling van drukhoogten te worden geëist. In dit traject correspondeert een kleine verandering in de drukhoogte namelijk met een grote verandering in het vochtgehalte.

- Capacitieve vochtbepaling

Over de toepasbaarheid van de capacitieve sensors op de grond van de Sinderhoeve bestaat nog onzekerheid.

In fig. 2 en 3 is het verloop van de meting met deze sensors op verschillende diepten in respectievelijk veld 10 en 3 weergegeven.

1. Het vochtgehalte op 90 cm -mv. kan vrijwel konstant verondersteld worden. De aflezingen van de capacitieve sensors op deze diepte waren gedurende het groeiseizoen ook nagenoeg hetzelfde. Ofwel een gelijkblijvend vochtgehalte correspondeerde over het gehele groeiseizoen met een gelijke aflezing.
2. Kwalitatief waren de reacties van de capacitieve sensors op neerslag en in mindere mate op beregening in het algemeen duidelijk te onderkennen.

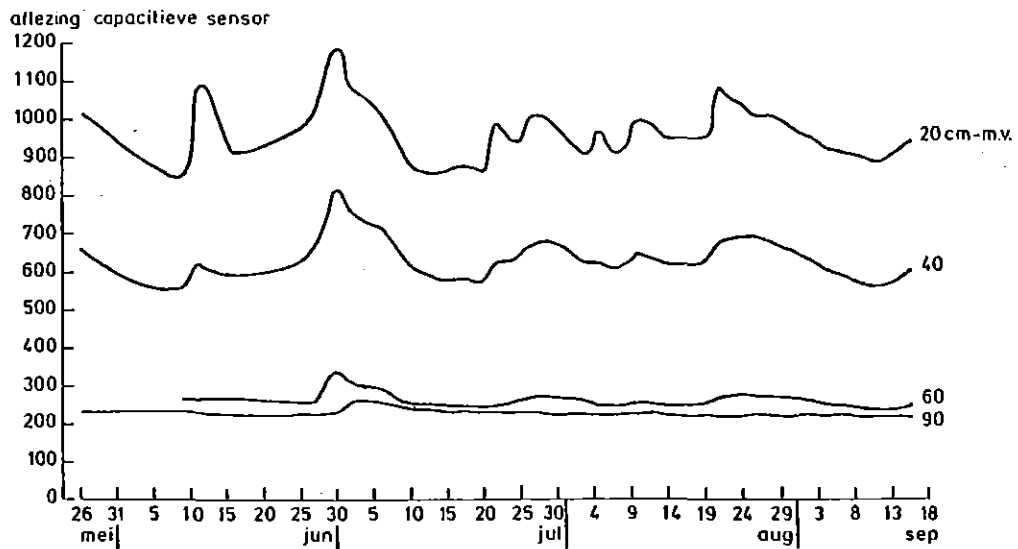


Fig. 2. Het verloop van de aflezingen van de capacitieve sensors op 20, 40, 60 en 90 cm diepte in veld 10 (objekt: V3) van de Sinderhoeve tijdens het groeiseizoen 1981

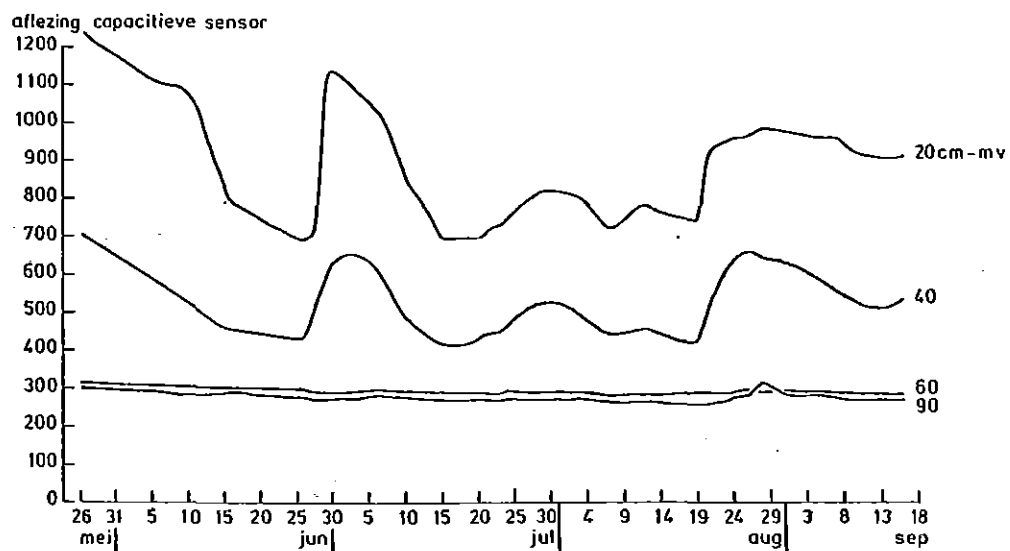


Fig. 3. Als in fig. 2, maar nu voor veld 3 (objekt: V1)



Dit gold voor veld 3 tijdens enige beregeningsgiften niet. De reacties waren relatief te zwak. De verklaring moet gezocht worden in de wijze van plaatsing en de hoge regenintensiteit van het gebruikte sproeisysteem. De pennen van de sensoren staken door plastic folie dat evenwijdig met de ruggen tot een diepte van 1 m tegen de profielwand was aangedrukt. De bovenkant van de folie sloot ongeveer aan bij de voet van de aardappelrug. Tijdens beregening liep een belangrijk deel van het water langs de rug in de geul. Herverdeling van het water werd door de folie belemmerd zodat de grond tussen de pennen van de sensoren na beregening te droog bleef. De tensiometers die op dezelfde diepte aangebracht waren zonder plastic folie reageerden wel op beregeningsgiften van 10 mm of meer.

3. De onderlinge reactie van de sensoren op neerslag en beregening was goed: de sensors in diepere lagen reageerden gedempt ten opzichte van degenen die dicht bij het maaiveld geplaatst waren.

Het ontlenen van vochtgehalten uit de aflezingen van de sensors vraagt om ijkcurves. Enige problemen die zich bij het opstellen en gebruik van deze curves voordoen, zijn:

1. In hoeverre ijkcurves, die in het laboratorium bepaald zijn, te gebruiken zijn voor het verwerken van veldgegevens.
2. In hoeverre de relatie tussen vochtgehalte en aflezing van de sensor beïnvloed wordt door dichtheid en/of humusgehalte van de grond.
3. De vochtgehalte-waarnemingen dienen een vrij groot traject te beschrijven.
4. Afhankelijk van de heterogeniteit van de bodem in horizontale richting, ontstaat een zekere spreiding bij het uitzetten van de sensoraflezing tegen de met een andere methode bepaald vochtgehalte.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat het min of meer rechtlijnige verband tussen capacitieve sensoraflezing en het vochtgehalte juist bij waterbalans studies welkom is. Bij een waterbalans is namelijk de

de verandering van het vochtgehalte van belang, zodat het absolute niveau van de sensoraflezing, als gevolg van de lineariteit, ondergeschikt is.

Per veld zijn alle vochtmetingen van één bepaalde diepte grafisch met elkaar in verband gebracht. Fig. 4 geeft het principe weer.

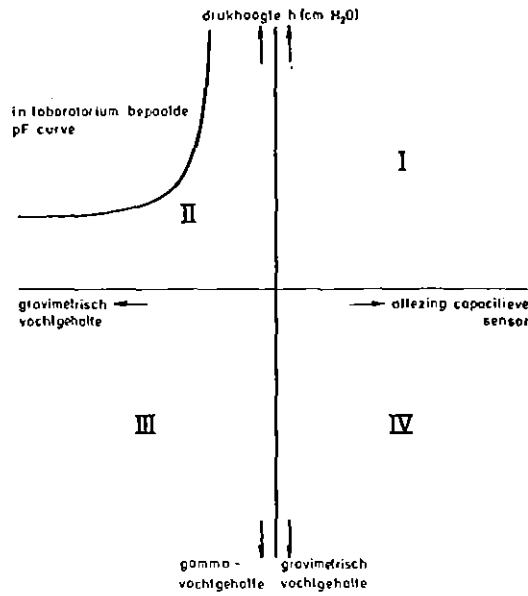


Fig. 4. Schematische weergave van de wijze waarop de vochtmetingen tegen elkaar zijn uitgezet

De kwadranten hebben de volgende betekenis:

1. Kwadrant I : De drukhoogte met tensiometers gemeten, is tegen de aflezing van de capacatieve sensor uitgezet. Beide metingen waren veelvuldig en op dezelfde diepten verricht. Hier werd in veel gevallen een redelijk verband gevonden.
2. Kwadrant II : De drukhoogte is tegen het gravimetrisch bepaalde volumevochtgehalte uitgezet. Als gevolg van het geringe aantal punten alsmede de slechte vergelijkbaarheid van beide metingen, was het vaak niet mogelijk een pF-curve te construeren.

Er waren echter pF-curves uit 1959 en 1979 van deze gronden voorhanden. De pF-curve, die goed door de gemeten punten liep, werd eveneens in dit kwadrant uitgezet.

3. Kwadrant III : De volume vochtgehaltenes, die met de gravimetrische en gamma methode tot stand kwamen, zijn hierin vergeleken.

4. Kwadrant IV : Het gravimetrisch bepaalde vochtgehalte is tegen de aflezing van de capacitieve sensor uitgezet. Vrij grote spreiding trad op doordat de diepte en de meetdata veelal niet overeenkwamen. Op basis van slechts deze weinige punten was het niet mogelijk een verantwoorde ijkcurve te construeren.

Blijken er echter goede verbanden tussen de capacitieve sensor aflezingen en de drukhoogten (kwadrant 1) enerzijds en het volume vochtgehalte en de drukhoogte anderszijds (kwadrant 2) op te treden, dan kan op grond van deze twee relaties toch een ijkcurve voor de capacitieve sensor bepaald worden. Bovendien ontstaan enige controle-mogelijkheden.

Met een voorbeeld zal de gevolgde werkwijze geïllustreerd worden. In fig. 5 zijn de vochtbepalingen op ongeveer 20 cm diepte in veld 10 volgens bovengenoemd voorschrift, uitgezet.

In het eerste kwadrant is het mogelijk een curve door de punten te trekken.

In het tweede kwadrant lijkt de geldigheid van de in het laboratorium bepaalde pF-curve voor 10-15 cm -mv. door de veldwaarnemingen onderschreven te worden.

De waarnemingspunten in het vierde kwadrant, waarin de sensoraflezing tegen het volume vochtgehalte uitgezet is, vertonen grote spreiding.

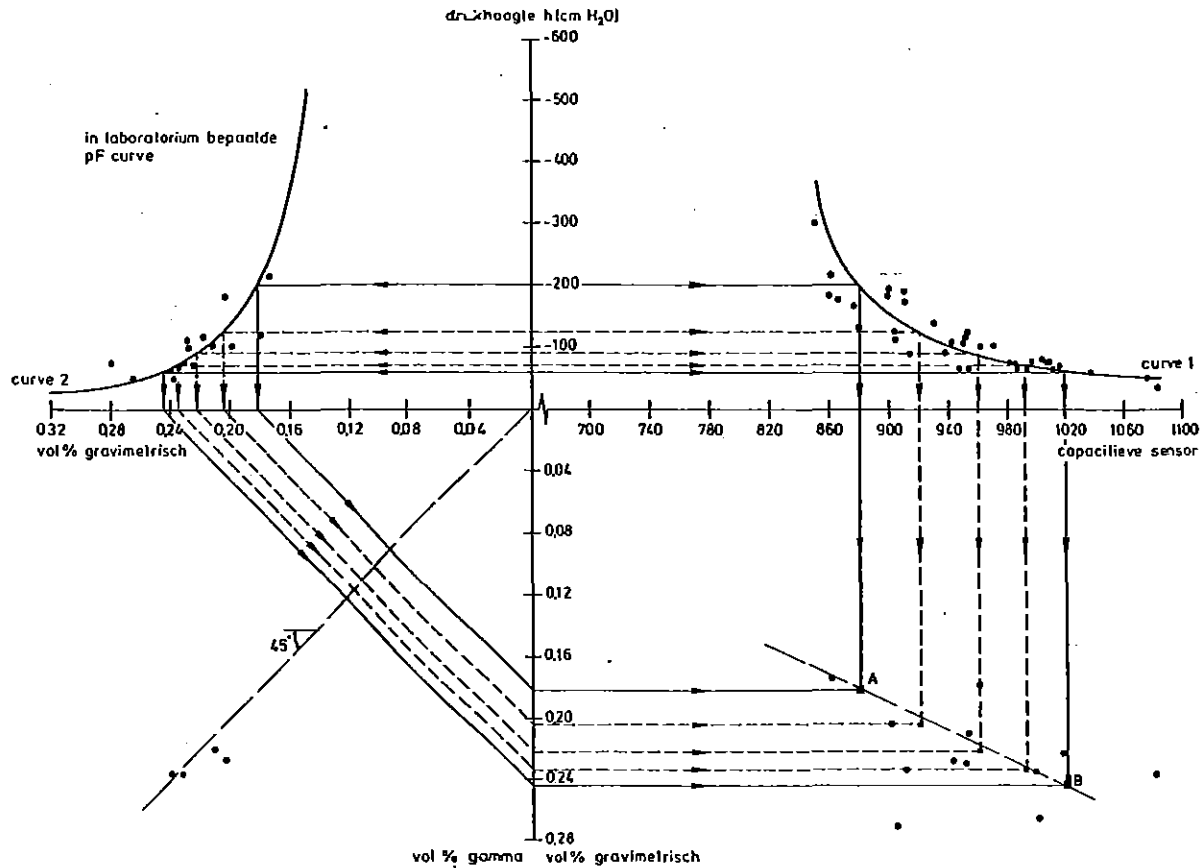


Fig. 5. Relatie tussen drukhoogten, gravimetrische-, capacitieve- en gammavochtbepalingen op 20 cm diepte in veld 10

Een ijkcurve wordt nu geconstrueerd door twee drukhoogten te kiezen die aan de randen van het gemeten traject liggen, bijvoorbeeld  $h \approx -200$  cm en  $h = -60$  cm. Bij deze waarden worden nu de corresponderende sensoraflezing en het volume vochtgehalte via respectievelijk curve 1 en 2, bepaald. Deze twee sensoraflezingen met de overeenkomstige volume vochtgehalten zijn in het vierde kwadrant uitgezet: punt A en B. Uitgaande van een linear verband tussen sensoraflezing en volume vochtgehalte ontstaat de ijklijn door het verbinden van A en B met een rechte lijn.

Er ontstaan enige controlemogelijkheden:

1. De ligging van de ijkcurve voor de capacitieve sensor kan met behulp van de gemeten waarden gecontroleerd worden.
2. Door dezelfde procedure als bij de bepaling van de punten A en B toe te passen, met andere drukhoogten in het traject van -200 en tot -60 cm, kan bekeken worden in hoeverre deze punten op de 3 curves uit het 1e, 2e en 4e kwadrant afgelezen, aaneensluiten bij eerder bepaalde. De verkregen punten zijn als aangeduid in fig. 5.
3. In het 3e kwadrant kunnen de volume vochtgehalten die met de gravimetrische bepaling tot stand kwamen, vergeleken worden met de gammabepalingen. Helaas was de spreiding in de vochtgehalten te gering om een duidelijk verband te kunnen vaststellen.

Voor veld 10 verliep deze werkwijze gunstig. Daarentegen was het voor veld 3 niet altijd mogelijk een ijkcurve in het 4e kwadrant te reconstrueren omdat hier de relatie tussen drukhoogte en sensoraflezing (1e kwadrant) ook veel spreiding vertoonde. Voor veld 3 op 20 en 40 cm diepte zijn voor de verwerking van de aflezingen van de capacitieve sensors de ijkcurves van veld 10 op de overeenkomstige diepten gebruikt.

In fig. 6, 7 en 8 is tenslotte het verloop van het vochtgehalte, zoals bepaald via de diverse methoden, voor enige diepten uitgezet tegen de tijd.

De trend die alle methoden aangeven, blijkt meestal in redelijke mate overeen te komen. Echter op het beregende veld 3 wordt, zoals eerder reeds gesteld, de verhoging van het vochtgehalte als gevolg van berekening, volgens de capacitieve methode aanzienlijk onderschat ten opzichte van de overige methoden.

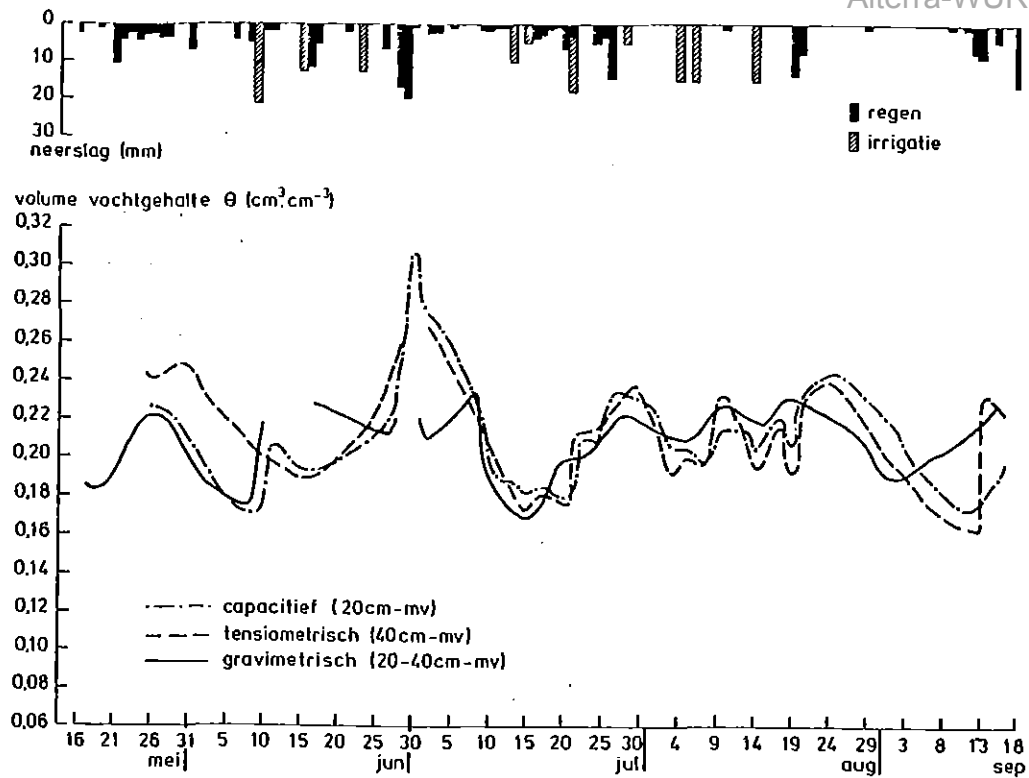


Fig. 6. Het verloop van het vochtgehalte volgens de gravimetrische-, tensiometrische- en capaciteieve methoden op respectievelijk 20-40 cm, 40 cm en 40 cm diepte in veld 10 (objekt V3). Bovendien is de dagelijkse neerslag tijdens het groeiseizoen weergegeven

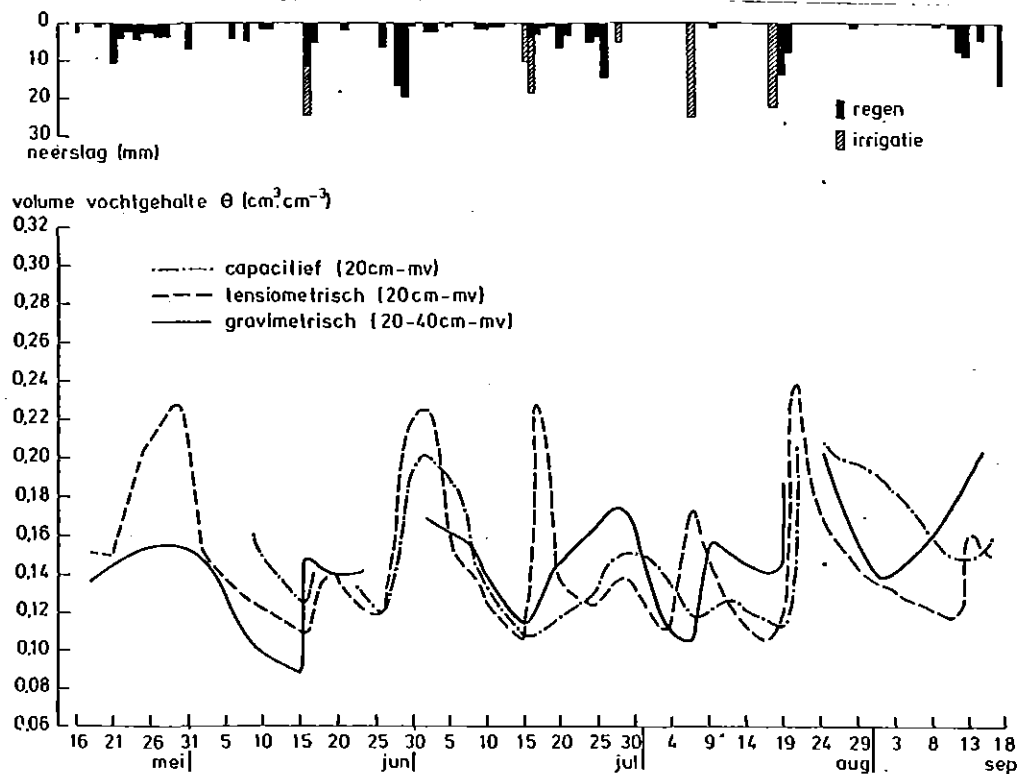


Fig. 7. Als fig. 6, maar nu in veld 3 (objekt V1)

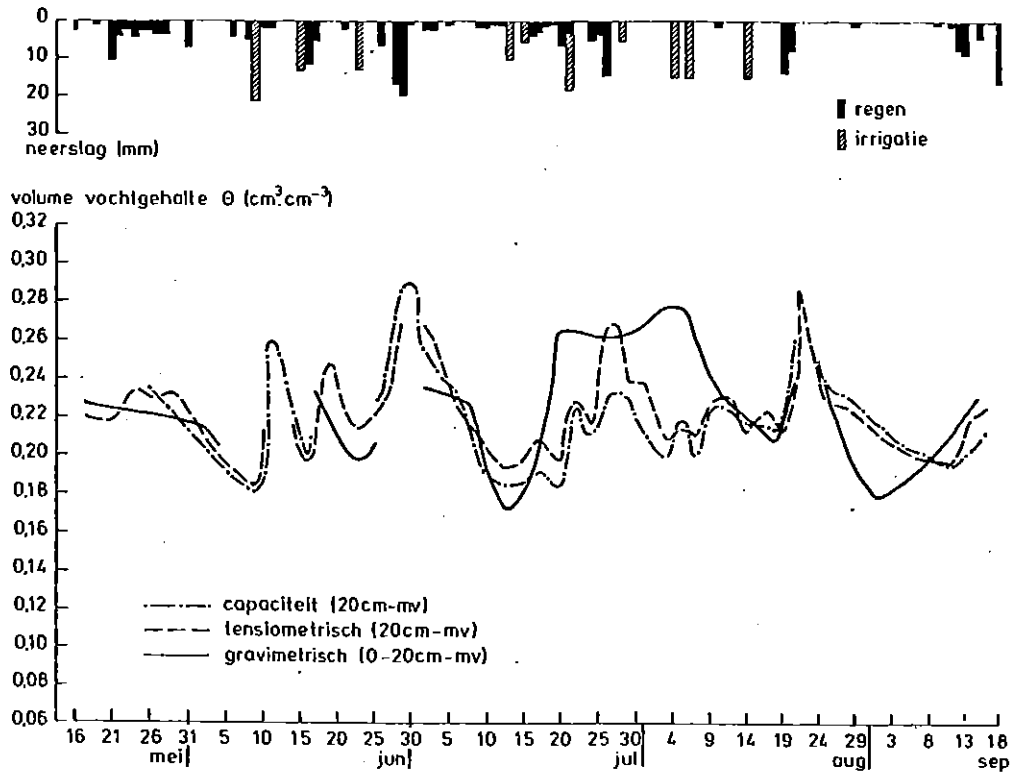


Fig. 8. Als fig. 6, maar nu op respectievelijk 0-20 cm, 20 cm en 20 cm diepte

#### IV.3. Berekening van de wegzijging naar de ondergrond

De zeer grove zandondergrond en de diepe grondwaterstand zijn er de oorzaken van dat geen nalevering van vocht plaatsvindt naar de wortelzone. Daarentegen zal, afhankelijk van de drukhoogteverdeling, wel wegzijging naar de ondergrond optreden.

De wegzijging (D) naar de ondergrond kan berekend worden met de wet van Darcy:

$$D = -K(h) \cdot \frac{\partial H}{\partial z} \quad (\text{cm.d}^{-1}) \quad (1)$$

waarin:

$K(h)$  = capillair geleidingsvermogen ( $\text{cm.d}^{-1}$ )

$\frac{\partial H}{\partial z}$  = gradiënt van de stijghoogte in de z-richting

Voor de stijghoogte (H) geldt:

$$H = h + z \quad (\text{cm}) \quad (2)$$

waarin:

h = drukhoogte (cm)

z = plaatshoogte (cm)

Kiezen we het z = 0-vlak aan het oppervlak en positief naar boven, dan ontstaat door combinatie van (1) en (2)

$$D = -K(h) \left[ \frac{dH}{dz} + 1 \right] \quad (\text{cm.d}^{-1}) \quad (3)$$

In verg. 3 correspondeert het optreden van wegzijging naar de ondergrond met een negatieve D!

De drukhoogten zijn meestal éénmaal per 3 dagen opgenomen. Om verg. 3 toe te passen, is het noodzakelijk dat de drukhoogte in de tussenliggende dagen geen grote variatie vertoont. Onderin de wortelzone ( $\pm 40$  cm) werd aan deze eis niet voldaan, zodat getracht is de wegzijging door het vlak van 75 cm -mv. ( $D_{75}$ ) te berekenen. Hiertoe werden de drukhoogten op 60 cm en 90 cm -mv. gebruikt. Vervolgens wordt aangenomen dat geldt:

$$\left[ \frac{dh}{dz} \right]_{z=-75\text{cm}} \cong \frac{h_{z=-90} - h_{z=-60}}{(-90) - (-60)} \quad (4)$$

Deze benadering is nog exact indien de drukhoogteverdeling tussen z = -60 cm en z = -90 cm met een 2e of lagere orde veelterm te beschrijven is.

Verg. 3 kan nu herschreven worden voor dit geval door:

$$D_{75} = -K_{z=-75}(h) \left[ \frac{h_{z=-90} - h_{z=-60}}{-30} + 1 \right] \quad (\text{cm.d}^{-1}) \quad (5)$$

Het capillair geleidingsvermogen (K) als functie van de drukhoogte (h) werd volgens BLOEMEN (1980a) berekend uit de korrelgrootteverdeling. In tabel 6 staan de korrelgrootteverdeling en de berekende K(h) functies vermeld.



Tabel 6. Granulaire analyses (1982) van de Sinderhoeve op veldje 3 en 10 en de berekening van de K(h)relatie volgens BLOEMEN (1980a)

|             |             | Gewichtsprocenten |                    |             |             |             |              |               |               | Berekening $K(h) = K_e \left(\frac{h_w}{h}\right)^{n_s}$ |       |                 |               |        |       |                 |               |
|-------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|----------------------------------------------------------|-------|-----------------|---------------|--------|-------|-----------------|---------------|
| Veld-<br>nr | Diep-<br>te | <50               | <105<br>50-<br>105 | 105-<br>210 | 210-<br>300 | 300-<br>850 | 850-<br>1000 | 1000-<br>1410 | 1410-<br>2000 | f                                                        | $n_d$ | $K_s$<br>(cm/d) | $h_a$<br>(cm) | $h_o$  | $n_s$ | $K_e$<br>(cm/d) | $h_w$<br>(cm) |
| 3           | 40-70       | 0,8               | 2,0                | 17,2        | 33,6        | 35,4        | 1,3          | 2,0           | 7,6           | 1.656                                                    | 4.825 | 779             | 18,8          | $10^4$ | 3.794 | 390             | 4,1           |
| 3           | 70-110      |                   | 1,3*               | 16,0        | 25,7        | 48,8        | 1,1          | 1,4           | 5,6           | 1.641                                                    | 4.784 | 1.321           | 14,38         | $10^4$ | 3.804 | 660             | 3,2           |
| 10          | 40-70       |                   | 1,4*               | 3,7         | 16,8        | 65,1        | 3,4          | 3,9           | 5,7           | 1.663                                                    | 4,844 | 2.531           | 10,47         | $10^4$ | 3.885 | 1.265           | 2,3           |
| 10          | 70-110      | 0,7               | 0,2                | 6,7         | 17,5        | 53,3        | 3,4          | 4,6           | 13,6          | 1.473                                                    | 4,340 | 2.972           | 9,18          | $10^4$ | 3.482 | 1,486           | 2,0           |

Een probleem in verg. 5 is dat het capillair geleidingsvermogen op 75 cm -mv bekend moet zijn. De drukhoogten zijn immers op 60 cm en 90 cm -mv bekend en niet op 75 cm -mv. Het capillair geleidingsvermogen op 75 cm -mv ( $K_{z=-75}$ ) kan echter door middeling van het geleidingsvermogen op 60 cm -mv. ( $K_{z=-60}$ ) en 90 cm -mv. ( $K_{z=-90}$ ) worden benaderd. Hiervoor kan het 'harmonisch' gemiddelde worden gebruikt:

$$K_{z=-75} = 2 * \frac{K_{z=-60} * K_{z=-90}}{K_{z=-60} + K_{z=-90}} \quad (6)$$

Formule 6 kan onder andere worden afgeleid door de waterstroming in analogie met de stroming van elektriciteit te bezien:

We beschouwen daartoe enkele punten A tot en met D met onderlinge afstand  $\Delta z$ . Over deze punten staan serie geschakelde weerstanden  $R_A$  tot en met  $R_D$  (zie fig. 9), elk ook met lengte  $\Delta z$ .

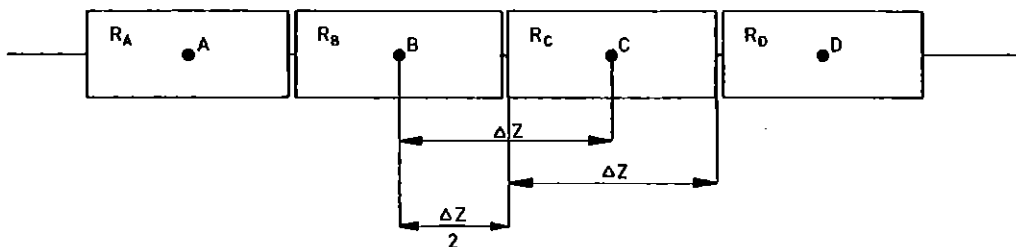


Fig. 9. Punten A, B, C en D met weerstanden  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  en  $R_D$

Willen we nu de flux tussen bijvoorbeeld B en C berekenen, dan moeten we de twee weerstanden door één weerstand ( $R_{\text{verv}}$ ) vervangen.

Wegens de serieschakeling geldt:

$$R_{\text{verv}} = \frac{R_B}{2} + \frac{R_C}{2} \quad (7)$$

of

$$2R_{\text{verv}} = R_B + R_C$$

maar het geleidingsvermogen (K) is omgekeerd evenredig met de weerstand (R) :

$$R \cong \frac{1}{K}$$

ingevuld in verg. 7 levert het volgende:

$$\frac{2}{K_{\text{verv}}} = \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_C}$$

of

$$\frac{2}{K_{\text{verv}}} = \frac{K_C}{K_B K_C} + \frac{K_B}{K_B K_C}$$

of

$$\frac{1}{K_{\text{verv}}} = \frac{1}{2} * \frac{K_C + K_B}{K_B K_C}$$

of

$$K_{\text{verv}} = 2 * \frac{K_B K_C}{K_B + K_C}$$

hetgeen overeenkomt met verg. 6.

Achterliggende aanname bij gebruik van verg. 6 is dus dat de waarde van het capillair geleidingsvermogen tot de helft van de afstand tussen 2 punten konstant is.

Naast onnauwkeurigheden in de berekende K(h) functies, is het zeer steile verloop van de K(h) functie nadelig. Bij het optreden van enige wegzijging van belang, was de drukhoogte op 90 cm -mv. in de orde van 40 cm H<sub>2</sub>O. Een kleine onnauwkeurigheid in de tensiometeraflezing betekent een relatief grote fout in het capillair geleidingsvermogen en aldus van de berekende wegzijging.

De potentiaal gradiënt in het groeiseizoen 1981 impliceerde echter meestal een opwaartse stroming, hetgeen de nauwkeurigheid van de waterbalans door het wegvallen van deze wegzijgingsterm, vergrootte. In werkelijkheid trad geen opwaartse stroming van betekenis op, doordat het capillair geleidingsvermogen dat correspondeerde bij de verlaagde drukhoogte, zeer klein was. Dit werd door gebruik van formule 5 bevestigd.

## V. VERDAMPING VAN HET GEWAS

### V.1. P o t e n t i ë l e v e r d a m p i n g

#### Veldresultaten

De aardappelen van object  $V_3$  werden berekend indien de drukhoogte op 25 cm -mv. lager werd dan  $-200 \text{ cm H}_2\text{O}$ . Dit beregeningsvoorschrift waarborgt een optimale watervoorziening voor het gewas. Ofwel onder de heersende omstandigheden zal het gewas potentieel verdampen ( $E_{\text{pot}}$ ).

In de laatste kolom van tabel 2 is de verdamping ( $E_{\text{pot},V_3}$ ), die als restterm van de waterbalans berekend werd, weergegeven. De aanvangsdatum van de waterbalans 18/5, correspondeert met de opkomst van de aardappelen; de sluitdatum 16/9 met de rooidatum.

De verdamping voor het gehele groeiseizoen van 1981 van dit optimaal van water voorziene object bedroeg 318 mm. Ofwel om een maximale opbrengst van aardappelen te garanderen was een, voor de plant gemakkelijk beschikbare hoeveelheid vocht nodig van 318 mm. Dit stemt overeen met de resultaten van FEDDES (1971), die een verdamping voor aardappelen van 310 mm berekende om tot een maximale opbrengst te komen. Op de Sinderhoeve is bovendien de openwaterverdamping gemeten met behulp van evaporimeters. In de eerste kolom van tabel 7 staan deze verdampingshoeveelheden vermeld als  $E_o^{\text{evap}}$ .

Tussen  $E_{\text{pot}}$  en  $E_o$  wordt in het algemeen de volgende correlatie gehanteerd:

$$E_{\text{pot}} = f \cdot E_o$$

waarin:

$E_o$  = de volgens Penman berekende open-water-verdamping

$f$  = gewasfactor.

De gemeten open water-verdamping benadert de  $E_o$  berekend met Penman indien van etmaalgemiddelden gebruik wordt gemaakt (zie VAN BOHEEMEN, 1977).

De  $f$ -waarden, die voor de Sinderhoeve zijn berekend, hebben betrekking op de  $E_o^{\text{evap}}$ .

Tabel 7. Met evaporimeter gemeten open-waterverdamping  $E_o^{evap}$ , berekende potentiële evapotranspiratie  $E_{pot}$  volgens PRIESTLEY-TAYLOR ( $\alpha = 1,5$ ), MONTEITH-RIJTEMA ( $r_s = 30 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ) en MAKKINK ( $c_1 = 1, c_2 = -8$ ) en uit de waterbalans bepaalde evapotranspiratie van het optimaal beregende veldje 10  $E_{pot,10}$ , gedurende de balansperioden in het groeiseizoen 1981

| Periode   | $E_o^{evap}$ | $E_{pot}$            |                      |         | $E_{pot,V3}$ |
|-----------|--------------|----------------------|----------------------|---------|--------------|
|           |              | Priestley/<br>Taylor | Monteith/<br>Rijtema | Makkink |              |
| 18/5-29/5 | 42,4         | 40,3                 | 40,4                 | 46,7    | 27,9         |
| 29/5- 9/6 | 52,6         | 42,5                 | 49,5                 | 49,7    | 48,8         |
| 9/6-26/6  | 55,2         | 48,2                 | 59,7                 | 55,2    | 50,7         |
| 26/6- 6/7 | 24,9         | 21,7                 | 29,7                 | 24,3    | 27,2         |
| 6/7-13/7  | 22,3         | 21,1                 | 27,3                 | 24,5    | 32,9         |
| 13/7-22/7 | 26,3         | 23,6                 | 33,7                 | 26,1    | 23,0         |
| 22/7-29/7 | 22,2         | 18,2                 | 23,8                 | 21,0    | 13,5         |
| 29/7- 5/8 | 25,6         | 24,7                 | 24,3                 | 27,5    | 28,4         |
| 5/8-12/8  | 19,4         | 18,9                 | 20,5                 | 21,6    | 9,5          |
| 12/8-24/8 | 43,3         | 32,4                 | 38,8                 | 37,0    | 24,9         |
| 24/8- 7/9 | 49,4         | 41,4                 | 43,2                 | 47,3    | 27,8         |
| 7/9-16/9  | 21,3         | 17,2                 | 21,2                 | 19,1    | 3,5          |
| 18/5-16/9 | 404,9        | 350,2                | 390,9                | 400,0   | 318,1        |

De met evaporimeters gemeten open waterverdamping en de berekende referentieverdamping van het KNMI vertoonden een sterke overeenkomst gedurende de meetperiode.

De gewasfactor ( $f$ ) is mede afhankelijk van het ontwikkelingsstadium waarin het gewas verkeert.

In fig. 10 is het verloop van de bedekkingsgraad tegen de tijd uitgezet. Op grond van deze figuur kan het groeiseizoen in 3 perioden worden ingedeeld.

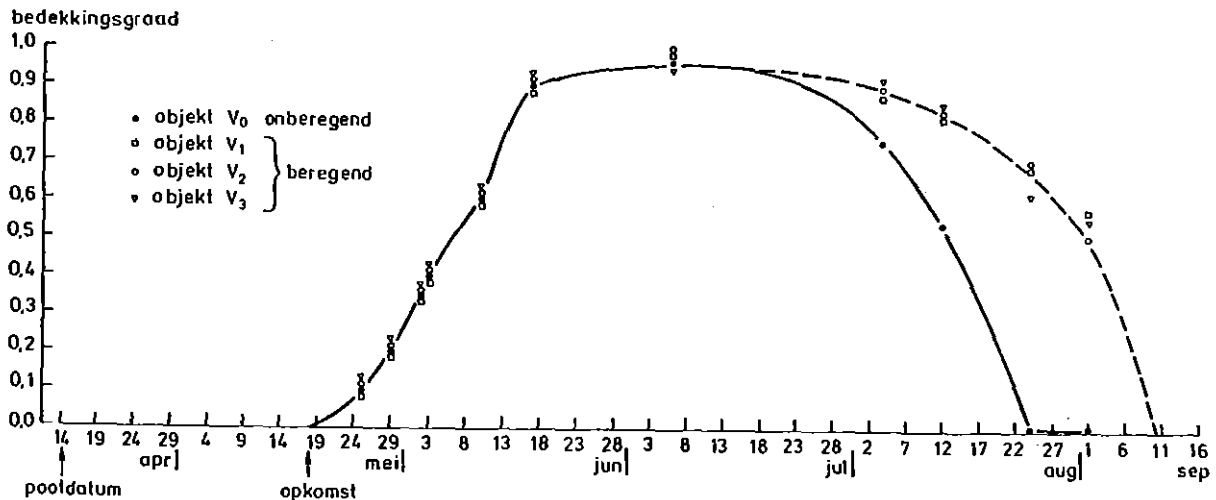


Fig. 10. Het verloop van de bedekkingsgraad tijdens het groeiseizoen van 1981.

Tabel 8 geeft de begrenzing van deze perioden en de bijbehorende f-waarden. Bovendien zijn f-waarden vermeld die uit andere onderzoeken resulteerden.

Tabel 8. Vergelijking tussen gewasfactoren (f) voor aardappelen tijdens de groeistadia, afkomstig uit verschillende onderzoeken

| afkomstig van               | Groeistadia                                        |                          |            |                     |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|------------|---------------------|
|                             | vanaf opkomst tot vrijwel volledige bodembedekking | volledige bodembedekking | afsterving | gehele groeiseizoen |
| Feddes (1971)               |                                                    |                          |            | 0,75                |
| Hellings (1980)             | 0,5-0,7                                            | 0,9                      | 0,7        |                     |
| Nieuwenhuis + Palland(1982) |                                                    | 0,83-0,92                |            |                     |
| Sinderhoeve                 | 0,81                                               | 1,0                      | 0,5        | 0,79                |

Belangrijke gevolgtrekkingen op grond van deze tabel zijn:

1. tijdens vrijwel volledige bodembedekking:  $f \cong 1. \rightarrow E_{\text{pot}} \cong E_{\text{o}}^{\text{evap}}$
2. over geheel het groeiseizoen:  $f \cong 0,79 \rightarrow E_{\text{pot}} \cong 0,79 E_{\text{o}}^{\text{evap}}$

### Vergelijking veldresultaten met verdampingsformules

De volgende verdampingsformules zijn doorerekend:

#### 1. Priestley/Taylor:

$$E_{\text{pot}} = \alpha \frac{\Delta}{(\Delta + \gamma)\lambda} \cdot R_N \quad (\text{cm.d}^{-1}) \quad (7)$$

waarin:

$\alpha$  = empirische constante

$\Delta$  = helling van de verzadigde dampspanningscurve ( $\text{mbar.k}^{-1}$ )

$\gamma$  = psychrometerconstante ( $\text{mbar.K}^{-1}$ )

$R_N$  = netto straling ( $\text{W.m}^{-2}$ )

$\lambda$  = verdampingsenergie van water ( $\text{J.kg}^{-1}$ )

#### 2. Monteith/Rijtema:

$$E_{\text{pot}} = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta + \gamma(1 + \frac{r_c}{r_a})} * (E_{\text{blad}} - E_i) + E_i \quad (\text{cm.d}^{-1}) \quad (8)$$

waarin:

$r_c$  = gewasweerstand ( $\text{s.m}^{-1}$ )

$r_a$  = aerodynamische diffusieweerstand ( $\text{s.m}^{-1}$ )

$E_{\text{blad}}$  = potentiële verdamping van een nat bladoppervlak ( $\text{cm.d}^{-1}$ )

$E_i$  = interceptie verdamping

$E_{\text{blad}}$  wordt berekend uit:

$$E_{\text{blad}} = \frac{\Delta R_N + \frac{c_p p_a (e_a - e_d)}{r_a}}{(\Delta + \gamma)\lambda} \quad (\text{cm.d}^{-1}) \quad (9)$$

waarin:

$c_p$  = specifieke warmte van lucht bij constante druk ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{k}^{-1}$ )

$p_a$  = atmosferische druk (mbar)

$(e_a - e_d)$  = verschil tussen verzadigde en optredende  
 waterdampspanning (mbar)

De interceptie ( $E_i$ ) is als volgt berekend

$$E_i = SC * 0,169 * P^{(0,52 - 0,1787 (P-0,06))} \quad \text{indien } P < 2 \text{ cm/d}$$

en  $E_i = SC * 0,19 \quad \text{indien } P \geq 2 \text{ cm/d}$

waarin:

$P$  = neerslag in cm/d

$SC$  = bodembedekking

3. Makkink:

$$E_{\text{pot}} = C_1 \frac{\Delta}{(\Delta + \gamma)\lambda} R_S + C_2 \quad (\text{cm.d}^{-1}) \quad (10)$$

waarin:

$C_1, C_2$  = empirische constanten ( $C_1=1, C_2=-8$ )

$R_S$  = globale straling ( $\text{W.m}^{-2}$ )

De formule van Makkink met de bovengenoemde waarden voor  $C_1$  en  $C_2$  is in feite afgeleid om de potentiële verdamping van nat gras te kunnen berekenen.

Op de Sinderhoeve werd de globale straling ( $R_S$ ) gemeten, terwijl voor het gebruik van de formules van Priestley/Taylor en Monteith/Rijtema de netto straling ( $R_N$ ) van belang is. Lineaire regressie tussen deze twee stralingstermen is echter mogelijk. Voor aardappelen geldt bij benadering de volgende relatie (zie NIEUWENHUIS en PALLAND, 1982):

$$R_N = 0,54 R_S - 0,8 \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (11)$$

In tabel 7 zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.

De volgende conclusies kunnen worden getrokken;

1. Tussen de berekende potentiële verdamping volgens Monteith/Rijtema (met  $r_c = 30 \text{s.m}^{-1}$ ) en de gemeten  $E_o^{\text{evap}}$  blijkt voor zowel het gehele groeiseizoen als de afzonderlijke balansperioden een redelijke overeenkomst te bestaan.



2. Hoewel de formule van Makkink met de gebruikte constanten afgeleid is voor nat gras, blijkt de totaal berekende evapotranspiratie van  $\pm 400$  mm overeen te komen met de formule van Monteith/Rijtema en de  $E_o^{evap}$ .
3. De potentiële verdamping volgens Priestley/Taylor met een  $\alpha = 1,5$ , hetgeen al een hogere waarde is dan die in het algemeen gebruikt wordt, komt voor het groeiseizoen op de duidelijk lagere waarde van 350 mm uit. Relatief lagere waarden ten opzichte van overige methoden, komen vooral in de maand juni en in de tweede helft van augustus tot stand.

Vervolgens wordt het uit de waterbalans afgeleide waterverbruik van object V3 ( $E_{pot,V3}$ ) vergeleken met de op diverse methoden berekende potentiële evapotranspiratie ( $E_{pot}$ ). Hierbij moet gerealiseerd worden dat gedurende enkele perioden de evapotranspiratie van object V3, ondanks de optimale watervoorziening, kleiner zal zijn dan de berekende evapotranspiratie. Dit treedt allereerst in het beginstadium van de groei op, wanneer het gewas de bodem nog niet volledig bedekt heeft. Wederom in de periode dat het gewas aan het afsterven is. In beide perioden zal de verdamping van het gewas achterblijven bij de berekende potentiële evapotranspiratie. En de mogelijk iets toegenomen evaporatie zal dit verschil niet kunnen dekken. Het beregeningsprogramma was er immers op gericht de plant potentieel te laten verdampen en niet om bovendien een potentiële bodemverdamping, door het vochtig houden van het bodemoppervlak, te bewerkstelligen.

Er moet gelden:

$$0 < SC < 1 \rightarrow E_{pot,V3} < E_{pot}$$

$$\text{en } SC \cong 1 \rightarrow E_{pot,V3} \cong E_{pot}$$

waarin:

$$SC = \text{bodembedekkingsgraad}$$

Het is dus raadzaam ook in dit geval de drie belangrijke groeistadia, die volgen uit fig. 10 te onderscheiden. De evapotranspiratiehoeveelheden tijdens de drie groeiperioden staan vermeld in tabel 9.

Tabel 9. Met evaporimeter gemeten open-waterverdamping  $E_o^{evap}$ , berekende potentiële evapotranspiratie  $E_{pot}$ , volgens Priestley/Taylor ( $\alpha = 1,5$ ), Monteith/Rijtema ( $r_s = 30 \text{ s}^{-1} \text{ n}^{-1}$ ) en Makkink ( $C_1 = 1$ ,  $C_2 = -8$ ) en uit de waterbalans bepaalde evapotranspiratie van het optimaal beregende veldje 10,  $E_{pot,10}$ , gedurende de drie groeistadia van de aardappelen

| Groeistadium                                           | Periode   | $E_o^{evap}$ | $E_{pot}$          |                   |         | $E_{pot,10}$ |
|--------------------------------------------------------|-----------|--------------|--------------------|-------------------|---------|--------------|
|                                                        |           |              | Priest./<br>Taylor | Mont./<br>Rijtema | Makkink |              |
| Vanaf opkomst<br>vrijwel vol-<br>ledige be-<br>dekking | 18/5- 9/6 | 95,0         | 82,8               | 89,8              | 96,4    | 76,7         |
| Vrijwel vol-<br>ledige<br>bedekking                    | 9/6- 5/8  | 176,5        | 157,5              | 177,3             | 178,6   | 175,7        |
| Afsterving                                             | 5/8-16/9  | 133,4        | 107,9              | 123,7             | 125,0   | 65,7         |

Bij een vrijwel volledige bodembedekking ligt voor de diverse methoden, uitgezonderd Priestley/Taylor, de evapotranspiratie tussen de 175 en 180 mm.

De gemeten evapotranspiratie van object V3 van  $\pm 177$  mm impliceert duidelijk het optreden van potentiële evapotranspiratie tijdens de periode van vrijwel volledige bodembedekking. Zoals eerder gesteld, geldt ook dat de gemeten open waterverdamping in deze periode gelijk is aan  $E_{pot,V3}$ . Ofwel:

$$SC \cong 1 : E_{pot,V3} \cong E_{pot} \cong E_o^{evap}$$

Bedacht moet worden dat het niet zo voor de hand ligt, dat de verdamping op het optimaal beregende object gelijk is aan die van de evaporimeter.

Bij een onvolledige bodembedekking ontstaat tussen  $E_{pot,V3}$  en  $E_{pot}$  een verschil van  $\pm 16$  mm en 56 mm in respectievelijk de perioden

18/5 - 9/6 en 5/8 - 16/9. Deze 16 mm en 56 mm moeten geïnterpreteerd worden als de reductie in de bodemverdamping, zijnde het verschil tussen potentiële en actuele bodemverdamping.

## V.2. Actuele verdamping

### Waterbalans

Voor ieder object, bestaande uit 3 veldjes, is de waterbalans opgesteld, waarmee de verdamping (E) als restterm is berekend.

De waterbalans heeft de volgende vorm:

$$E = P + I - \Delta W + D \quad (12)$$

waarin:

P = neerslag

I = bruto beregeningsgift

$\Delta W$  = verandering vochtinhoud (positief bij toename)

D = wegzijging (negatief bij wegzijging)

De waterbalanstermen voor de verschillende objecten staan vermeld in tabel 10.

De wegzijging op het onberegende object  $V_0$  is nul verondersteld. Gezien de geringe wegzijging op het licht-beregende object  $V_1$  is dit geoorloofd.

De wegzijging bij object  $V_2$  was niet te berekenen, doordat hier eveneens geen drukhoogten gemeten waren. Bovendien moest worden aangenomen, dat de wegzijging op dit object niet verwaarloosbaar was, zodat geen betrouwbare waterbalans kon worden opgesteld.

De lengte van de balansperioden van object  $V_0$  en  $V_2$  is veelal groter dan van de overige objecten, doordat de frequentie waarmee vochtmetingen op deze objecten zijn verricht, geringer was.

Tabel 10. Waterbalans in mm van de 4 objecten  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  en  $V_3$ .  $V_1$ ,  $V_2$  en  $V_3$  zijn in toenemende mate berekend;  
 $V_0$  is onberekend.

| Balans-<br>periode | $V_0$ |            |   |       | $V_1$      |      |    |       | $V_2$             |     |       |        | $V_3$      |     |       |      |
|--------------------|-------|------------|---|-------|------------|------|----|-------|-------------------|-----|-------|--------|------------|-----|-------|------|
|                    | P     | $\Delta W$ | D | E     | $\Delta W$ | D    | I  | E     | $\Delta W$        | D   | I     | E      | $\Delta W$ | D   | I     | E    |
| 18/5-29/5          | 34,6  |            |   |       | + 6,7      | 0,7  |    | 27,2  |                   |     |       |        | + 2,9      | 3,8 |       | 27,9 |
|                    |       | -22,7      | 0 | 73,8  |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 29/5- 9/6          | 16,5  |            |   |       | -28,1      | -1,0 |    | 43,6  |                   |     |       |        | -32,3      | 0   |       | 48,8 |
|                    |       |            |   |       |            |      |    |       | - 6,6             | ?   | 54    | 165,8* |            |     |       |      |
| 9/6-26/6           | 25,9  |            |   |       | - 1,6      | 0    | 13 | 40,5  |                   |     |       |        | +19,3      | 2,9 | 47    | 50,7 |
|                    |       | + 8,6      | 0 | 58,7  |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 26/6- 6/7          | 41,4  |            |   |       | +14,6      | 0    |    | 26,8  |                   |     |       |        | +10,0      | 4,2 |       | 27,2 |
|                    |       |            |   |       |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 6/7-13/7           | 5,4   | -20,5      | 0 | 25,9  | -18,6      | 0    |    | 24,0  | -18,9             | ?   | 10    | 34,3*  | -30,3      | 2,8 |       | 32,9 |
|                    |       |            |   |       |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 13/7-22/7          | 16,3  |            |   |       | +16,7      | 0    | 25 | 24,6  |                   |     |       |        | +23,3      | 0   | 30    | 23,0 |
|                    |       |            |   |       |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 22/7-29/7          | 22,1  | - 4,9      | 0 | 43,3  | +12,4      | 0    | 5  | 14,7  | +20,2             | ?   | 30    | 48,2*  | +11,9      | 1,7 | 5     | 13,5 |
|                    |       |            |   |       |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 29/7- 5/8          | 0,0   |            |   |       | -37,6      | 0    |    | 37,6  |                   |     |       |        | -13,4      | 0   | 15    | 28,4 |
|                    |       |            |   |       |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 5/8-12/8           | 1,6   | + 0,7      | 0 | 0,9   | +20,7      | 0    | 25 | 5,9   | - 9,1             | ?   | 5     | 15,7*  | + 7,1      | 0   | 15    | 9,5  |
|                    |       |            |   |       |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 12/8-24/8          | 21,6  | + 1,9      | 0 | 4,7   | +16,6      | -0,8 | 22 | 26,2  | +20,4             | ?   | 20    | 21,2*  | +11,7      | 0   | 15    | 24,9 |
|                    |       |            |   |       |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 24/8- 7/9          | 1,2   | -10,4      | 0 | 11,6  | -27,8      | 0    |    | 29,0  | -14,1             | ?   |       | 15,3*  | -29,0      | 2,4 |       | 27,8 |
|                    |       |            |   |       |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 7/9-16/9           | 22,1  | +18,6      | 0 | 3,5   | +20,1      | 0    |    | 2,0   | +10,0             | ?   |       | 12,1*  | +18,6      | 0   |       | 3,5  |
|                    |       |            |   |       |            |      |    |       |                   |     |       |        |            |     |       |      |
| 18/5-16/9          | 208,7 | -13,7      | 0 | 224,4 | - 5,9      | 2,5  | 90 | 302,1 | + 1,9 ( $\pm 9$ ) | 119 | 315** | - 0,2  | 17,8       | 127 | 318,1 |      |

P = neerslag

D = wegzijging

\* wegzijging nul verondersteld

$\Delta W$  = verandering vochtinhoud

I = berekening

\*\* wegzijging  $V_2 = \frac{1}{2} * (\text{wegzijging } V_1 + \text{wegzijging } V_3)$

E = verdamping

Vergelijking tussen de beregende objecten  $V_1$  en  $V_3$

Opmerkelijk is dat zich tussen het bij  $pF = 2,3$  beregende object  $V_3$  en het bij  $pF = 2,7$  beregende object  $V_1$ , binnen de nauwkeurigheid waarmee de waterbalans is opgesteld, geen verschillen in evapotranspiratie voordoen. Het verschil van 16 mm (= 318-302) over het gehele groeiseizoen, mag immers niet significant genoemd worden.

Een bevestiging voor dit geringe verschil wordt ook door het verloop van de bodembedekkingsgraad gegeven (zie fig. 10). Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de afsterving van de aardappelen op beide objecten analoog is verlopen.

Tevens is dit het geval met de opbrengsten, die voor de objecten  $V_1$  en  $V_3$  vrijwel gelijk zijn.

Dit zou in de richting wijzen, dat de drukhoogte, waaronder de verdamping van het gewas gaat reduceren, lager ligt dan - 200 cm ( $pF=2,3$ ).

In dit verband moet wel bedacht worden dat de totale irrigatiegiften van 90 en 127 mm voor respectievelijk object  $V_1$  en  $V_3$  elkaar weinig ontlopen. Gezien het bovengenoemde beregeningsprogramma en de  $h(\theta)$  relatie is dit enigszins verklaarbaar. Het gewas hoeft slechts weinig vocht (circa 17 mm) aan de zandige bodem te onttrekken om een verhoging van  $pF=2,3$  tot  $pF=2,7$  te veroorzaken.

Vergelijking tussen het onberegende object en de beregende objecten

Tussen het optimaal beregende object  $V_3$  en het niet-beregende object  $V_0$  bestaat het aanmerkelijke verschil in verdamping van  $\pm 96$  mm. Voor object  $V_3$  betekent dit dat de 127 mm beregeningswater een verhoging van de verdamping gaf van 96 mm, hetgeen overeenkomt met een rendement van  $\pm 76\%$ . Voor dit berekende rendement is uitgegaan van de bruto beregeningsgift. De resterende hoeveelheid beregeningswater van  $\pm 31$  mm is verdeeld over de wegzijging, een (niet gebruikte) bergingsverandering en de interceptie.

Aan fig. 10 is af te lezen, dat het effect van de berekening in 1981 op de Sinderhoeve vooral gelegen heeft in het uitstellen van het tijdstip waarop de afsterving van het gewas begon. In de eerste

helpt van het groeiseizoen waren de bodemvoorraad en de neerslag voldoende om een goede groei te waarborgen.

Uit fig. 10 blijkt verder dat de afsterving bij object  $V_0$  eind juli/begin augustus begon. Dit stemt goed overeen met de verdampingscijfers van tabel 10, waaruit volgt dat in de periode 5/8-12/8 de verdamping van object  $V_0$  drastisch achterbleef bij object  $V_3$ .

De verdampingsreductie bij object  $V_0$  laat zich ook vertalen naar opbrengsten. De verse knolopbrengst van object  $V_0$  betekende een opbrengstreductie van circa 27% ten opzichte van de beregende objecten.

#### De $\alpha(h)$ functie

De actuele transpiratie ( $T_{act}$ ) en de potentiële transpiratie ( $T_{pot}$ ) kunnen in verband gebracht worden door de  $\alpha(h)$ -functie (zie FEDDES, 1978). Deze  $\alpha(h)$  kan als volgt worden bepaald:

$$\alpha(h) = \frac{T_{act}}{T_{pot}} \quad (13)$$

In de periode waarin volledige bodembedekking voorkomt, zal verg. (13) goed benaderd worden door:

$$\alpha(h) = \frac{E_{act}}{E_{pot}} \quad (14)$$

waarin:

$E_{act}$  = optredende evapotranspiratie

$E_{pot}$  = potentiële evapotranspiratie

De  $\alpha(h)$ -functie heeft schematisch het verloop als in fig. 11 is aangegeven.

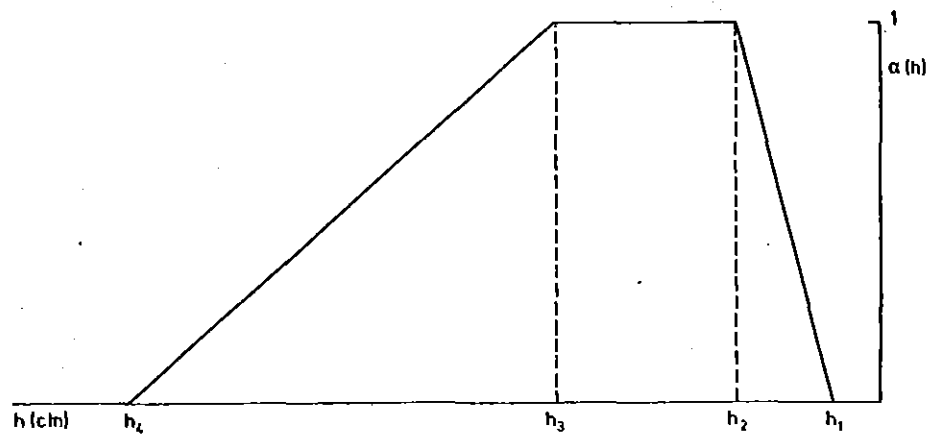


Fig. 11. Het schematische verloop van de reductiefactor  $\alpha$  als functie van de drukhoogte ( $h$ )

De  $h_3$ -waarde is die drukhoogte waaronder de verdamping van de plant gaat reduceren ( $\alpha < 1$ ). Het verwelkingspunt ( $h = -16\ 000\text{ cm H}_2\text{O}$ ) komt overeen met de  $h_4$ -waarde. Hiertussen wordt een lineair verband aangenomen.

Door nu het quotient van de verdamping op de objecten  $V_0$  en  $V_3$  tijdens de balansperioden uit te zetten tegen de gemiddelde drukhoogten op 30 cm -mv, kan nadere informatie over de  $\alpha(h)$ -functie worden verkregen. In fig. 12 zijn deze punten uitgezet.

Over de ligging van de  $h_3$ -waarde kan alleen worden opgemerkt dat deze waarde in ieder geval boven de  $-500\text{ cm H}_2\text{O}$  ( $pF = +2,7$ ) ligt. De gebruikelijke aanname van een lineair verloop van  $\alpha = 1$  tot  $\alpha = 0$  tussen de  $h_3$  en  $h_4$  waarden, wordt door deze metingen weersproken. Van de  $h_3$  tot de  $h_4$  waarde blijkt de reductie in de verdamping van de aardappelen groter dan op grond van deze lineaire aanname verwacht mag worden. Een afname van  $\alpha$  met de pF of een lineaire afname van  $\alpha$

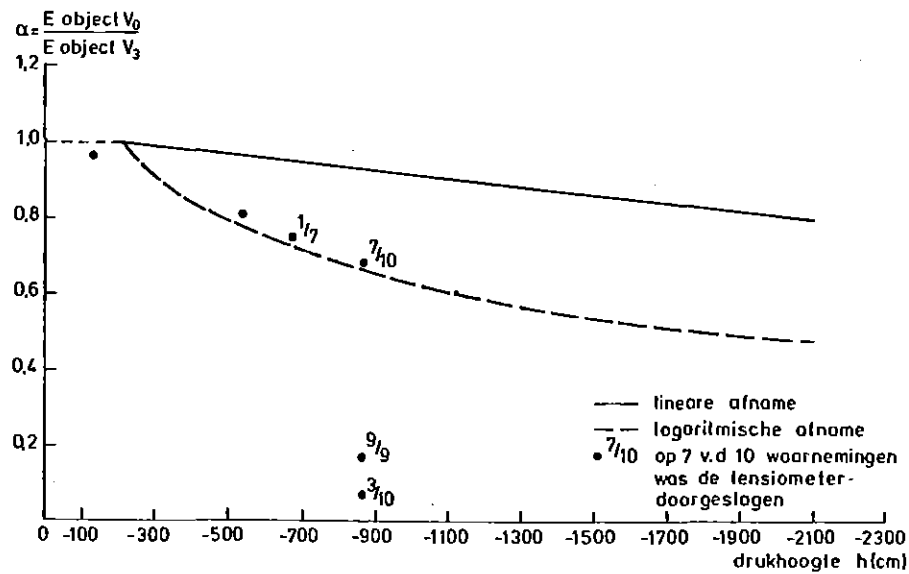


Fig. 12. Berekende  $\alpha(h)$  punten en twee mogelijke  $\alpha(h)$  functies

met een steiler verloop komt meer in overeenstemming met de metingen. Deze laatste suggestie betekent dan wel een vergroting van de  $h_4$ -waarde.



## VI. GEWASONTWIKKELING EN GEWASPRODUKTIE

Tenslotte wordt in dit hoofdstuk de ontwikkeling en de produktie van de aardappelen in relatie tot onder andere de vochtvoorziening bekeken.

Bij het bestuderen van bovengenoemde relatie dient men zich te realiseren dat de vochtvoorziening slechts één van de vele groeibepalende factoren is. Ofwel de produktie op het optimaal van vocht voorziene object  $V_3$ , wordt mede bepaald door andere factoren dan de watervoorziening zoals bijvoorbeeld de bodemvruchtbaarheid (pH, N-gehalte) en de bodemtemperatuur. De verse knolopbrengst van  $V_3$  bedroeg 53,5 t/ha.

De verse knolopbrengsten van de objecten  $V_1$  en  $V_2$  bedroegen respectievelijk 56,4 t/ha en 53,6 t/ha. Deze verse knolopbrengsten liggen alle in dezelfde orde van grootte, hetgeen een bevestiging levert voor de bij benadering gelijke evapotranspiratie op de objecten  $V_1$ ,  $V_2$  en  $V_3$ .

De verse knolopbrengst op het object  $V_0$  bedroeg 42 t/ha, hetgeen een reductie ten opzichte van het gemiddelde van  $V_1$ ,  $V_2$  en  $V_3$  betekent van 23%. Ofwel een reductie in de evapotranspiratie van 30% komt overeen met een opbrengstdepressie van 23%.

Voor een algemenere beschrijving van de ontwikkeling van een gewas, is het raadzaam gebruik te maken van de zogenaamde 'Development stage' (D.V.S.) (FEDDES en WESSELING, 1982).

D.V.S. is gedefinieerd als volgt:

$$DVS = \frac{T - T_c}{T_e - T_c} \quad (15)$$

waarin:

$T$  = tijd, waarop de DVS berekend wordt (d)

$T_c$  = tijd van opkomst van het gewas (d)

$T_e$  = tijd, waarop het gewas geoogst wordt (d)

In fig. 13 is de bodembedekkingsgraad tegen de DVS uitgezet. Bovendien is een curve, die FEDDES en WESSELING (1982) uit vele waarnemingen vonden en waarvan verwacht wordt dat deze voor aardappelen eenduidig is, in de grafiek uitgezet.

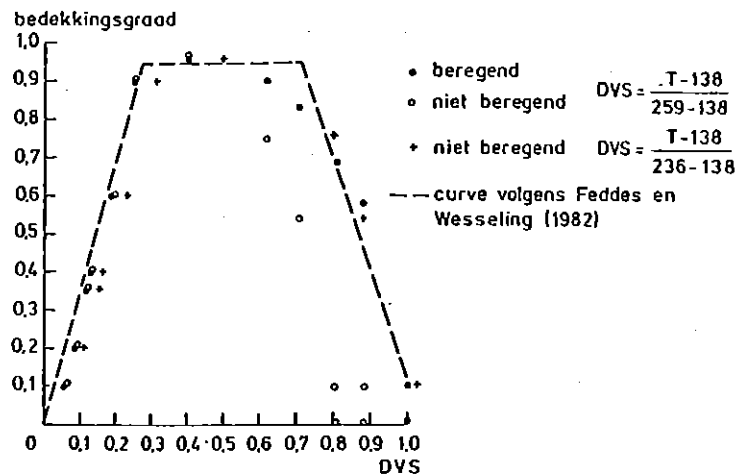


Fig. 13. Relatie tussen de bedekkingsgraad en het ontwikkelingsstadium van de aardappelen voor de beregende en onberegende objecten

Uitgezonderd voor de punten afkomstig van het onberegende object  $V_0$  met een  $DVS > 0,5$ , blijken de punten de ligging van deze lijn te bevestigen.

Dat de neerwaartse tak van de curve zich rechts bevindt van de op het object  $V_0$  gemeten punten, hangt nauw samen met de keuze van  $T_e$  op de oogstdatum. De aardappelen op object  $V_0$  stierven beduidend eerder af (zie fig. 9) dan op de overige objecten. De oogstdatum was echter voor alle objecten gelijk en werd bepaald door de afsterving op de objecten  $V_1$ ,  $V_2$  en  $V_3$ . Ofwel het gewas van object  $V_0$  was al geruime tijd afgestorven alvorens er geoogst werd. Bij een eerdere oogst zou  $T_e$  kleiner zijn geweest, waardoor met name de punten met een  $DVS > 0,5$  naar rechts verschuiven. Beter lijkt het om in plaats van de rooidatum, de datum te nemen waarop het gewas is afgestorven. Kiest men  $T_e$  op de dag waarop het gewas geheel is afgestorven, dan ontstaan de punten die als een ster (\*) in fig. 13 zijn aangegeven.

In plaats van de verse opbrengst wordt meestal gebruik gemaakt van de droge stof produktie. In tabel 11 is de opbouw van de droge stof produkties in de knol ( $Q_{knol}$ ), in de resterende plantendelen ( $Q_{rest}$ ) en in de plant als geheel ( $Q_{tot}$ ) vermeld.

Uit deze tabel is af te leiden dat de gemeten toename van de droge stof van de knol na 8 juli groter was dan van de plant als geheel, ofwel er treedt een afname in droge stof produktie op van de wortels, stengels en bladeren ( $Q_{rest}$ ) tezamen. Dit zou erop wijzen dat er transport van droge stof vanuit bladeren, stengels en wortels naar de knol is opgetreden. Waarschijnlijker lijkt het echter dat de gemeten afname van  $Q_{rest}$  voornamelijk het gevolg is van meetfouten die optreden door onder andere het afvallen van afgestorven bladeren en het achterblijven van wortels.

De frakties droge stof welke naar de knol ( $F_{knol}$ ) en naar de resterende plantdelen ( $F_{rest}$ ) gaan gedurende het tijdsinterval van  $t_1$  tot  $t_2$ , kunnen gedefinieerd worden als:

$$F_{knol, t_1 \rightarrow t_2} = \frac{Q_{knol, t_2} - Q_{knol, t_1}}{Q_{tot, t_2} - Q_{tot, t_1}} \quad \text{en} \quad F_{rest, t_1 \rightarrow t_2} = \frac{Q_{rest, t_2} - Q_{rest, t_1}}{Q_{tot, t_2} - Q_{tot, t_1}} \quad (16)$$

Enige conclusies op grond van tabel 11 zijn dan:

1.  $DVS \cong 0,42 \rightarrow F_k = 0,4 \text{ à } 0,5$  en  $F_{rest} = 0,5 \text{ à } 0,6$ , waarbij

$$F_{knol} = \frac{Q_{knol, DVS=0,42}}{Q_{tot, DVS=0,42}} \quad \text{en} \quad F_{rest} = \frac{Q_{rest, DVS=0,42}}{Q_{tot, DVS=0,42}}$$

2.  $DVS > 0,42 \rightarrow \frac{dQ_{knol}}{dQ_{tot}} \cong 1$  en  $dQ_{rest} = 0$  of

$$F_{knol} = 1 \quad \text{en} \quad F_{rest} = 0$$



Belangrijkere informatie zijn  $F_{knol}$  - en  $F_{rest}$  -waarden in het begin van het groeiseizoen. Als gevolg van het late tijdstip, waarop in 1981 gestart werd met de periodieke oogsten, konden deze F-waarden niet berekend worden.

In fig. 14 is de opbouw van de droge stof productie van de 4 proef- objecten weergegeven.

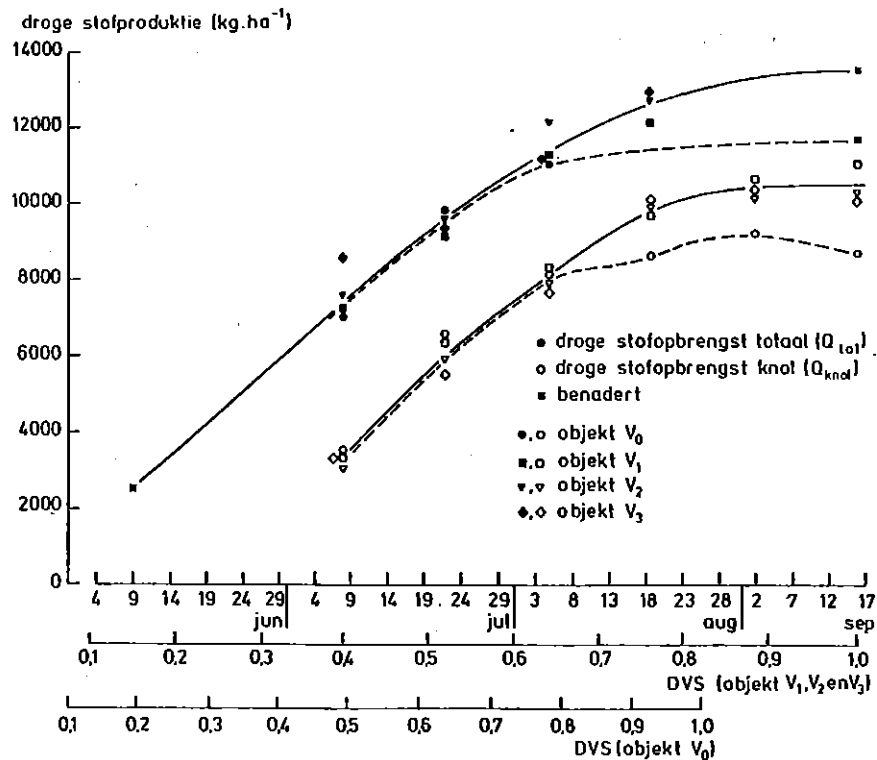


Fig. 14. De gemeten droge stof-producties in  $\text{kg/ha}^{-1}$  op de 4 proef- objecten van de knol ( $Q_{knol}$ ) en van de gehele aardappelplant ( $Q_{totaal}$ ) als functie van de tijd en de DVS

Over de ligging van de groeicurves van fig. 13 kan het volgende worden opgemerkt:

1. De verschillen in droge stof opbrengsten tussen de beregende objecten  $V_1$ ,  $V_2$  en  $V_3$  zijn dusdanig gering dat voor één groei-curve voor deze objecten is gekozen. Dit stemt ook overeen met de geringe verschillen in de berekende evapotranspiratie van deze 3 objecten.

2. De totale droge stof-opbrengst aan het einde van het groeiseizoen, is niet bepaald. Er vanuit gaande dat in de periode, waarin het gewas afstervende is, de droge stof produktie geheel ten goede komt aan de knol, kan deze echter eenvoudig berekend worden. De afsterving begint ongeveer na 5/8 (zie fig. 10) en er geldt:

voor  $V_1, V_2, V_3$ :  $Q_{\text{tot}} = 11\ 000$  t/ha, op 5/8,  
tussen 5/8 en 16/9 is  $Q_{\text{knol}} = 2\ 500$  t/ha,

dus  $Q_{\text{tot}} = 11\ 000 + 2\ 500 = 13\ 500$  t/ha op 16/9

voor  $V_0$ :  $Q_{\text{tot}} = 11\ 000$  t/ha, op 5/8,

tussen 5/8 en 16/9  $Q_{\text{knol}} = 700$  t/ha,

dus  $Q_{\text{tot}} = 11\ 000 + 700 = 11\ 700$  t/ha op 16/9.

Voor de berekening van de coëfficiënt, die een maat is voor de efficiency van het waterverbruik door de plant, was het gewenst de totale droge-stof opbrengst op circa 9/6 te kennen. Uitgaande van een linear verband tussen de opbrengst en de tijd in het tijdvak van 9/6 tot 14/7, komt men uit op  $\pm 2500$  t/ha.

De bovengenoemde berekende punten zijn als sterren (\*) in fig. 13 aangegeven.

3. Opmerkelijk is dat in de periode tot 5/8, waarin aan de objecten  $V_1, V_2$  en  $V_3$  al aanzienlijke beregeningsgiften zijn toegediend, de droge-stof opbrengst op het onberegende object  $V_0$  niet achterbleef bij de opbrengsten van  $V_1, V_2$  en  $V_3$ . Kennelijk produceren de aardappelplanten op object  $V_0$ , op een meer efficiënte wijze. Na 5 augustus sterft het gewas op  $V_0$  zeer snel af en werd de produktie vrijwel stilgelegd. Dit wordt ook bevestigd door de lage evapotranspiratie in deze periode (zie tabel 10). De opbrengstreduktie van de totale droge stof van object  $V_0$  ten opzichte van het gemiddelde van de beregende objecten, bedroeg circa 13%.

Een karakteristieke coëfficiënt in de relatie tussen waterverbruik en gewasproduktie is de 'water use coëfficiënt' (A). Deze coëfficiënt A wordt gebruikt bij de berekening van de produktie (q)

met de volgende formule:

$$q = A \frac{T}{(e_a - e_d)} \quad (\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}) \quad (17)$$

waarin:

$$\begin{aligned} T &= \text{verdamping van de plant (mm} \cdot \text{d}^{-1}) \\ \frac{T}{e_a - e_d} &= \text{gemiddeld verschil tussen verzadigde en optredende} \\ &\quad \text{waterdampspanning (m} \cdot \text{bar)} \\ A &= \text{'water use coefficient' (kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{m bar)} \end{aligned}$$

Het gemiddeld vochtdeficit  $(\overline{e_a - e_d})$  is ingebracht om de met verg. (17) berekende A-waarden voor verschillende klimaatsgebieden te laten gelden.

De moeilijkheid bij gebruik van verg. (17) is dat men het begrip transpiratie gebruikt, terwijl uit de beschikbare gegevens de verdeling tussen evaporatie en transpiratie niet direkt is af te leiden. De evaporatie is daarom berekend en wel met het computer model SWATRE (zie BELMANS, et al., 1981).

Deze berekeningswijze van de bodemverdamping (evaporatie)  $ES_{act}$  gaat in principe als volgt:

- Met de formule van Monteith/Rijtema ( $r_c = 30 \text{ sm}^{-1}$ ) wordt de potentiële evapotranspiratie ( $E_{pot}$ ) berekend.
- De potentiële bodemverdamping ( $ES_{pot}$ ) wordt berekend met:

$$ES_{pot} = 0,9e^{-0,6*(LAI)} * E_{pot}$$

- Vervolgens wordt de actuele bodemverdamping ( $ES_{act}^*$ ) bepaald volgens Black et al:

$$ES_{act}^* = \lambda\sqrt{t+1} - \lambda\sqrt{t}$$

waarin:

$\lambda$  = bodemparameter

$t$  = aantal dagen dat een droge periode voortduurt

Een droge periode eindigt met een neerslag groter dan

10 mm per dag

- Als bovengrens van de actuele bodemverdamping ( $ES_{act}^*$ ) wordt de potentiële bodemverdamping ( $ES_{pot}$ ) aangehouden.
- Tenslotte wordt gekeken naar de maximaal mogelijke flux ( $q_s^*$ ) door de toplaag. Deze wordt met de wet van Darcy berekend. Voor de werkelijke bodemverdamping ( $ES_{act}$ ) wordt nu het minimum van  $ES_{act}^*$  en  $q_s^*$  genomen.

In tabel 12 zijn de A-waarden van het onberegende  $V_0$  en het beregende object  $V_3$  berekend.

Tabel 12. Berekening van de 'water use coefficient' (A) van aardappelen (Bintje) op het onberegende en het beregende object, respectievelijk  $A_{onberegend}$  en  $A_{beregend}$ .

| Periode   | Onberegend |    |       |                        | Beregend |    |       |                        | $\frac{e_a - e_d}{a}$ | $A_{onberegend}$ | $A_{beregend}$ |
|-----------|------------|----|-------|------------------------|----------|----|-------|------------------------|-----------------------|------------------|----------------|
|           | E          | ES | T     | Q                      | E        | ES | T     | Q                      |                       |                  |                |
|           | mm         | mm | mm    | kg <sub>-1</sub><br>ha | mm       | mm | mm    | kg <sub>-1</sub><br>ha |                       |                  |                |
| 18/5- 9/6 | 73,8       | 17 | 56,8  | 2 500                  | 76,7     | 18 | 58,7  | 2 500                  | 4,92                  | 217              | 210            |
| 9/6-13/7  | 84,6       | 7  | 77,6  | 5 800                  | 110,8    | 7  | 103,8 | 5 800                  | 4,04                  | 302              | 226            |
| 13/7- 5/8 | 43,3       | 5  | 38,3  | 2 700                  | 64,9     | 5  | 59,9  | 2 750                  | 3,94                  | 278 305          | 178            |
| 5/8-16/9  | 20,7       | 12 | 8,7   | 700                    | 65,7     | 16 | 49,7  | 2 500                  | 4,33                  | 348              | 218            |
| 18/5-16/9 | 222,4      | 41 | 181,4 | 11 700                 | 318,1    | 46 | 272,1 | 13 500                 | 4,29                  | 277              | 209            |

De resultaten van tabel 12 zullen in samenhang met de opbouw van de produktie (zie fig. 14) en de gemiddelde drukhoogten in de wortelzone worden besproken. De drukhoogten op 30 cm -mv in de objecten  $V_0$  en  $V_3$  zijn in fig. 15 weergegeven.



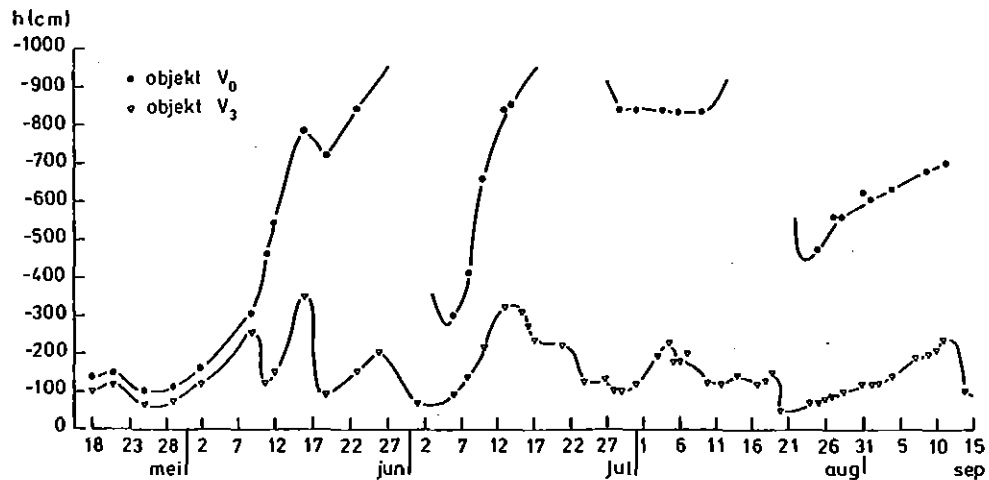


Fig. 15. Het verloop van de drukhoogte (h) in de wortelzone tijdens het groeiseizoen 1981 op het onberegende object  $V_0$  en het beregende object  $V_3$

Het volgende blijkt nu:

1. In de periode van 18/5 tot 9/6 waren de drukhoogten van de objecten  $V_0$  en  $V_3$  vrijwel hetzelfde en stonden bovendien garant voor een optimale vochtvoorziening. Met gevolg dat ook de evapotranspiratie voor beide objecten vrijwel gelijk was. De gelijke opbrengsten betekenen dan ook eenzelfde A-waarde van 210 à 217  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{bar}$ .
2. In de periode van 9/6 tot 5/8 zijn de drukhoogten van object  $V_0$  dusdanig laag dat deze een belemmering vormen voor een optimale wateropname. Dit in tegenstelling tot het object  $V_3$ . De lagere evapotranspiratie van object  $V_0$  ten opzichte van object  $V_3$  is een bevestiging hiervan.  
 Echter uit fig. 13 is af te leiden dat de produktie van  $V_0$  niet achterbleef bij  $V_3$ . Blijkbaar gebruikten de aardappelplanten van object  $V_0$  het opgenomen water voor de droge stof produktie

op een meer efficiënte wijze, hetgeen weerspiegeld wordt door de hogere A-waarde van object  $V_0$  van circa  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$  ten opzichte van de A-waarden van object  $V_3$  van circa  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$ .

3. In de periode van 5/8 - 16/9 sterven de aardappelplanten van object  $V_0$  versneld af als gevolg van de voortdurende, zeer lage drukhoogten waaraan zij blootgesteld waren. De transpiratie en de produktie zijn beide zeer gering. De A-waarde voor object  $V_0$  wordt dan berekend op  $348 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$ . Hierbij moet men bedenken dat een kleine absolute fout in de transpiratie tot een grote fout in de A-waarde leidt. Verder is de A-waarde voor deze periode van object  $V_3$  van  $\pm 218 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$  in dezelfde orde van grootte als de A-waarden die voor voorafgaande perioden waren berekend.

Samenvattend kunnen over de 'water use efficiency' (A) de volgende conclusies worden getrokken:

- optimaal berekend object  $V_3$ :

$$A \cong 209 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}, \text{ gedurende het gehele groeiseizoen}$$

- niet-berekend object  $V_0$ :

$$A \cong 217 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}, \text{ gedurende de periode waarin zich een optimale watervoorziening voordeed.}$$

$$A \cong 305 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}, \text{ gedurende de periode waarin de wateropname sterk beperkt werd.}$$

Deze A-waarden liggen hoger dan de waarde van  $151 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$ , die RIJTEMA en ENDRÖDI (1970) vonden. Ze stemmen meer overeen met de A-waarden van circa  $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{mbar}$  welke door NIEUWENHUIS en PALLAND (1982) werden berekend.

LITERATUUR

- BELMANS, C., J.G. WESSELING, R.A. FEDDES, 1981. Simulation model of the water balance of a cropped soil providing different types of boundary conditions (SWATRE). Nota ICW 1257
- FEDDES, R.A., 1971. Water, heat and crop growth. Thesis Comm. Agric. Univ. Wageningen 71-12
- \_\_\_\_ P.J. KOWALIK, H. ZARADNY, 1978. Simulation of field water use and crop yield. Simulation monographs. Pudoc, Wageningen
- \_\_\_\_ , J.G. WESSELING, 1982. Integrated model for simulation of transpiration and crop yield: SWACRO (in preparation)
- HELLINGS, A.J., 1980. Berekeningseffecten bij enkele akkerbouwgewassen. Bedrijfsontwikkeling 11, 11: 1063-1068
- NIEUWENHUIS, G.J.A., C.L. PALLAND, 1982. Verdamping van een aardappelgewas en de meting daarvan via remote sensing. ICW rapport 2
- RIJTEMA, P.E., G. ENDRÓDI, 1970. Calculation of production of potatoes. Neth. J. Agric. Sci. 18: 26-36