BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

NN31545.1434 1434

juni 1983

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

BEREKENING VAN DE EFFECTEN VAN INFILTRATIE OP DE GEWASVERDAMPING IN HET HERINRICHTINGSGEBIED, MET EEN AANGEPASTE VERSIE VAN HET MODEL SWATRE

ir. P.E.V. van Walsum
ir. P.J.T. van Bakel

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publicaties.
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

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0240 1251

25 NOV. 1983

ISN 195353

VOORWOORD

Deze nota bevat extra materiaal ter ondersteuning van het eindrapport van de werkgroep 'Wateraanvoer naar de Herinrichting'.

Duplicatie van tekst uit het eindrapport is voor geïnteresseerden in de ontwikkelde methodiek voor het evalueren van het effect van oppervlaktewaterbeheer op de gewastranspiratie, en het verwerken van de verkregen gegevens in een kosten-baten analyse. De berekening van de economische haalbaarheid van infiltratie in het Drentse deel van het Herinrichtingsgebied is als voorbeeld genomen.

Tot slot dient met nadruk vermeld te worden dat bij het ontwikkelen van de in dit rapport beschreven aanpak veel steun is ondervonden van de stimulerende discussies met leden van bovengenoemde werkgroep.

I N H O U D

blz.

1. GRONDSLAGEN VOOR HET BEPALEN VAN DE WATERAANVOER-BEHOEFTE VOOR DE LANDBOUW 1

1.1. Inleiding 1

1.2. Keuze van de rekenwijze 3

1.2.1. Algemeen 3

1.2.2. Rekenmodel voor stroming in de bodem en vochtopname door een gewas 3

1.2.3. Berekening van de grondwaterstroming 5

1.2.4. Berekening van het peil in de ontwateringsmiddelen (sloten of wijken) 6

1.2.5. Invloed op de landbouwkundige omstandigheden in het voor- en najaar 7

1.2.6. Meteorologische gegevens: wijze van gebruik 8

1.3. Rekenwijze voor het beheer bij infiltratie 9

1.3.1. Algemeen 9

1.3.2. Uitgangspunten voor het beheer 10

1.3.3. Vereiste gegevens over de vochttoestand van het land 11

1.3.4. Simulatie van het beheer 12

2. TOEPASSING VAN HET REKENMODEL 13

2.1. Algemeen 13

2.2. Bodemkundig-hydrologische eenheden 14

2.3. Meteorologische data 23

2.4. Gewasinvoergegevens 24

blz.

2.5. Invoergegevens voor het beheer bij infiltratie en beregening 25
2.6. Resultaten van berekeningen 25
2.6.1. Resultaten voor 'representatieve' maaiveldsligging 25
2.6.2. Reductie voor ongelijke maaiveldsligging 39

3. OMREKENING VAN VERHOGING GEWASVERDAMPING NAAR GELDELIJKE OPBRENGST 42

3.1. Baten landbouw bij infiltratie 42
3.1.1. Potentiële opbrengsten 43
3.1.2. Opbrengstdervingen 44
3.1.3. Prijzen 44
3.1.4. Aanvullende gegevens ten behoeve van granen en suikerbieten 45
3.1.5. Overige factoren 46

4. KOSTEN-BATEN ANALYSE EN BEPALING AANVOERHOEVEELHEDEN VOOR DE LANDBOUW IN HET DRENTSE DEEL VAN DE HERINRICHTING 47

4.1. Batenberekening voor de verschillende aanvoergebieden 48
4.2. Berekening van het investeringseffect en de aanvoercapaciteit 51
4.3. Autonome ontwikkeling 56

LITERATUUR 57

BIJLAGEN A t/m D 58

BIJLAGEN

A. HET WATERBEHEER

A.1. Infiltratie

A.1.1. Simulatie van het beheer

A.1.2. Invoergegevens van het algoritme voor het beheer

A.2. Beregening

B. AANPASSING EN UITBREIDING VAN HET MODEL SWATRE

B.1. Algoritme voor het berekenen van het oppervlaktewaterpeil

B.2. Algoritme voor het beheer

B.3. Algoritme voor het verrekenen van de omstandigheden in het voor- en najaar

B.4. Berekening van de grondwatertrap

B.5. Berekening van de potentiële gewastranspiratie (T*) en de potentiële bodemverdamping (E*)

B.6. Gevoeligheidsgrenzen voor verdampingsreductie bij watertekort en bij wateroverlast

B.7. Aangepast hoofdprogramma ('MAIN') en databewerkingssubroutine ('RDATA')

B.8. Berekening van de maatgevende afvoer

C. RESULTATEN

C.1. Tabellen

C.2. Figuren

C.3. Berekende Gt's

D. DE INTERNE RENTEVOET BIJ STOCHASTISCHE BATEN

1. GRONDSLAGEN VOOR HET BEPALEN VAN DE WATERAANVOERBEHOEFTE VOOR DE LANDBOUW

1.1. Inleiding

Het aanbrengen van voorzieningen die wateraanvoer mogelijk maken dient voorafgegaan te worden door maatregelen die de wateraanvoerbehoefte zoveel mogelijk beperken.
Het 'conserveren' van water betreft o.a.

- het toepassen van teeltmaatregelen die onnodig verlies van bodemvocht beperken (b.v. onkruidbestrijding);
- het verbeteren van het vochthoudend vermogen van de bovengrond door middel van bodemtechnische ingrepen (i.c. mengwoelen);
- het aanbrengen en benutten van voorzieningen die het mogelijk maken op een verantwoorde wijze de afvoer van water tijdens het voorjaar te beperken.

Met dat laatste wordt gedoeld op het installeren van landbouwkundige stuwen. Dit zijn stuwen die 'automatisch' een ingesteld peil handhaven: een mechanisme zorgt ervoor dat de stuwkruin omlaag of omhoog bewogen wordt wanneer respectievelijk de afvoer toe- of afneemt.
Deze methode van waterconservering is betrekkelijk nieuw: het waterschap 'de Veenmarken' heeft er enkele jaren ervaring mee opgedaan. Overigens is men reeds in de jaren '50 begonnen met het tijdens het voorjaar opzetten van het peil; men had toen echter nog niet de beschikking over automatisch werkende landbouwkundige stuwen.

Aanvullende vochtvoorziening van landbouwgronden kan men op verschillende wijzen trachten te realiseren. Gekozen kan worden uit de alternatieven

- infiltratie vanuit de ontwateringsmiddelen;
- beregening.

Beregening gaat gepaard met hoge kosten, met name op bedrijfsniveau. Hierdoor is deze methode pas economisch aantrekkelijk wanneer ook de te verwachten landbouwkundige baten hoog zijn: slechts gronden met een gering vochtleverend vermogen komen ervoor in aanmerking.

Infiltratie is een naar verhouding zeer goedkope wijze van irrigeren: alleen het 'primaire' systeem (aanvoerwegen, gemalen) en het 'secundaire' systeem (kanalen, peilvakken) brengen kosten met zich mee; op het bedrijfsniveau zijn de kosten nihil.
Door het minder directe karakter is evenwel het effect van infiltratie op de gewasverdamping veel geringer dan dat van beregening: fig. 1.1 laat zien dat er bij infiltratie meer 'kranen' zijn die een belemmering kunnen vormen voor de aanvullende watervoorziening.

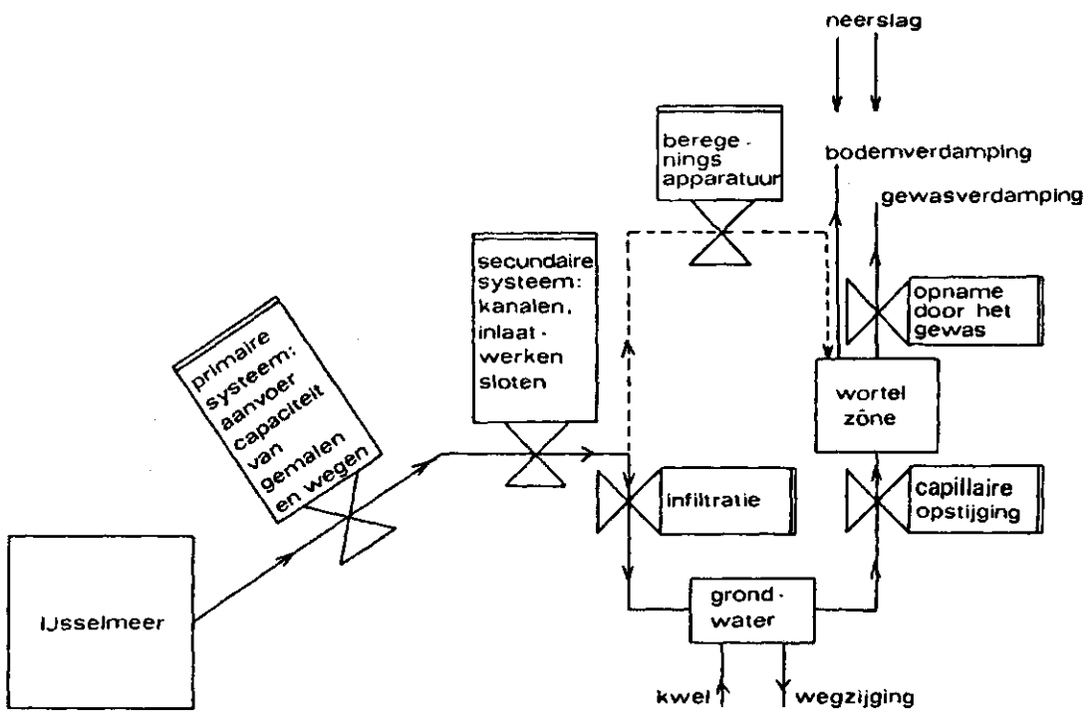


Fig. 1.1. Kranen die een belemmering kunnen vormen bij alternatieve wijzen van aanvullende vochtvoorziening

Het zo optimaal mogelijk laten verlopen van aanvullende vochtvoorziening vereist een d o e l m a t i g w a t e r b e h e e r. Dit beheer dient steeds de volgende stappen te doorlopen:

- het vaststellen van de 'vraag' aan de hand van de geconstateerde uitdroging van de wortelzone;
- het nagaan of er een 'kraan' is die een belemmering vormt voor het voldoen van de 'vraag';
- het nemen van beslissingen en het effectueren van maatregelen opdat het watertransport afgestemd is op de beperkende factor in het wateraanvoersysteem.

In deze studie wordt de beperking in het primaire systeem als een randvoorwaarde beschouwd: bij een gegeven aanvoercapaciteit wordt nagegaan wat de te verwachten landbouwkundige baten zijn. Daarbij wordt aangenomen dat er voldoende voorzieningen getroffen zullen zijn opdat de transportcapaciteit van het secundaire systeem niet beperkend is.

1.2. K e u z e v a n d e r e k e n w i j z e

1.2.1. Algemeen

Bij het opstellen van een rekenwijze voor het schatten van de landbouwkundige baten van aanvullende vochtvoorziening kan men op heel veel verschillende manieren te werk gaan. Deze verschillen zijn terug te voeren op andersoortige schematisaties ten aanzien van

- de oneindig complexe werkelijkheid van het agrohydrologische systeem;
- de oneindige variatie in meteorologische omstandigheden die de toekomst kan brengen.

1.2.2. Rekenmodel voor stroming in de bodem en vochtopname door een gewas

De gekozen schematisering van de veldsituatie is weergegeven in fig. 1.2. Voor het simuleren van de hydrologische processen in een bodemprofiel is gekozen voor het rekenen met SWATRE (BELMANS et al., 1981): een numeriek model voor niet-stationaire stroming van bodemvocht.

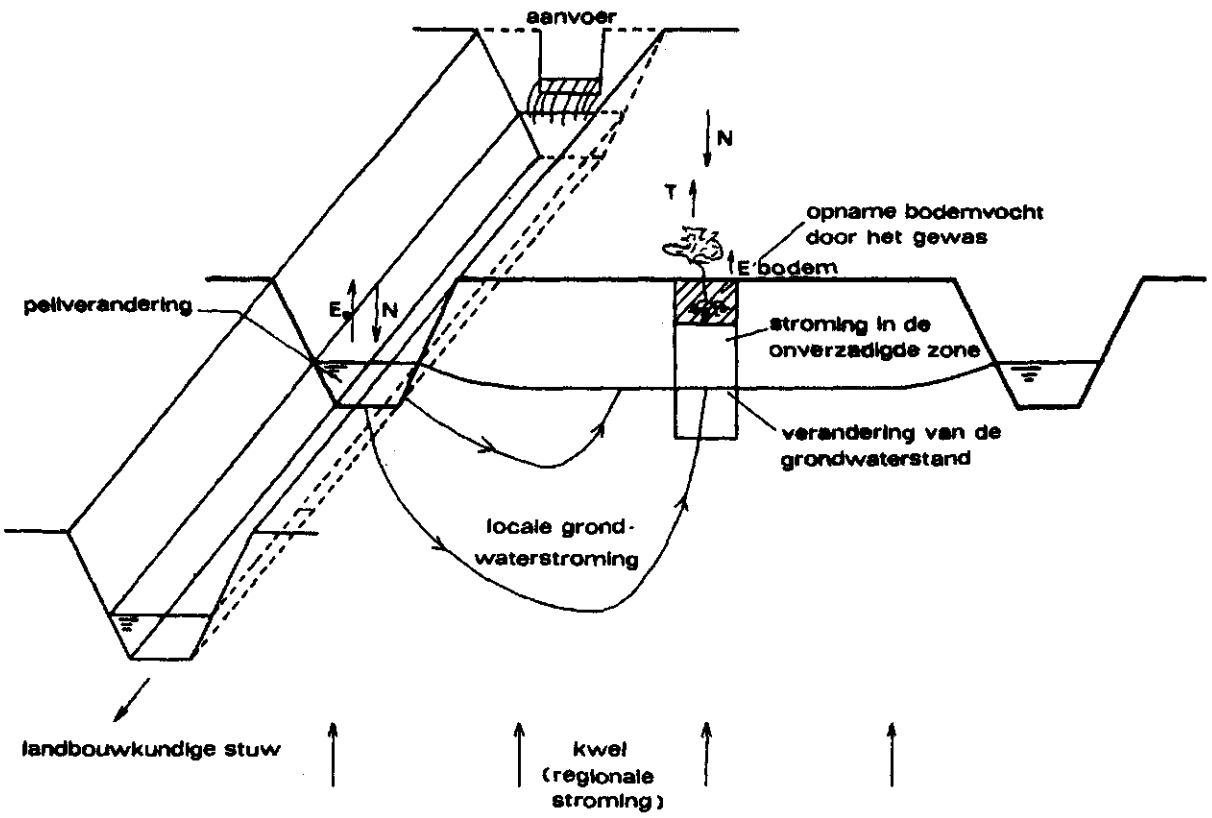


Fig. 1.2. Weergave van de schematische situatie waarop de berekeningen betrekking hebben. In de figuur vindt infiltratie plaats; bij drainage is de grondwaterstand uiteraard hoger dan het wijkpeil.
Het model SWATRE simuleert de hydrologische processen in een bodemprofiel dat gesitueerd is midden tussen de ontwateringsmiddelen.

Elementaire waterbalansberekeningen worden verricht aan een in discrete compartimenten opgedeeld profiel dat uit meerdere bodemhorizonten kan bestaan. Voor iedere horizont moet een pF-curve en een

K(h)-relatie aangegeven worden. De grondwaterstand wordt aangepast wanneer de stroming in de verzadigde zone niet in evenwicht is met de vlak boven de grondwaterspiegel optredende flux van bodemvocht. (Het algoritme maakt gebruik van een waterbalansberekening; zodoende kunnen ook discretisatie fouten en dergelijke 'vereffend' worden.)

Om de gewasverdamping te kunnen berekenen dienen bovendien de volgende gegevens beschikbaar te zijn:

- de bewortelingsdiepte;
- gevoeligheidsgrenzen voor verdampingsreductie bij watertekort èn wateroverlast;
- een representatieve reeks dagwaarden voor de bodembedekkingsgraad en de gewashoogte;
- een gewasweerstand voor het berekenen van de potentiële gewasverdamping met de methode van Monteith-Rijtema.

Het mineralentransport blijft geheel buiten beschouwing: de berekeningen vooronderstellen dat het betreffende gewas optimaal van voedingsstoffen is voorzien.

1.2.3. Berekening van de grondwaterstroming

De grondwaterstroming heeft twee componenten:

- l o c a l e stroming: drainage van grondwater naar het ontwateringsmiddel; infiltratie wanneer water wordt aangevoerd tijdens de zomer;
- r e g i o n a l e stroming: lager gelegen gronden worden veelal gevoed door kwel vanuit de ondergrond; hoger gelegen gronden zijn meestal onderhevig aan wegzijging.

De locale grondwaterstroming wordt berekend met de formule van Ernst:

$$i = (h_w - h_g)/T$$

waarin:

i = infiltratie (<0 bij drainage) (mm/d)
h_w = peil in het ontwateringsmiddel (mm)
h_g = grondwaterstand midden tussen de ontwateringsmiddelen (mm)
T = drainage/infiltratieweerstand (d)

De kwel of wegzijging wordt eenvoudigweg bij de locale stroming opgeteld.

1.2.4. Berekening van het peil in de ontwateringsmiddelen (sloten of wijken)

Wegens de geringe stroomsnelheden die het transport in ontwateringsmiddelen kenmerkt, wordt de opstuwing in sloten of wijken verwaarloosd: alleen het effect van b e r g i n g wordt in het model gesimuleerd. Er wordt dus uitgegaan van opgeschoonde sloten en wijken.
Het effect van berging wordt gesimuleerd door per tijdstip van het model voor stroming in de bodem tevens een waterbalans op te stellen voor het open water:

$$h_w(t+\Delta t) = h_w(t) + \Delta t \,.\{(a-i)/f_{ow} + n-e_o\}$$

waarin:

$h_w(t)$ = wijk- of slootpeil op tijdstip t (mm)
Δt = tijdstap (d)
a = aanvoer (mm/d)
i = infiltratie (<0 bij drainage) (mm/d)
f_{ow} = oppervlaktefractie die door open water wordt ingenomen, als functie van h_w (bij niet loodrechte taluds neemt f_{ow} toe met h_w) (-)
n = neerslag (mm/d)
e_o = verdamping van open water (mm/d)

Het ingesteld stuwpeil h_s is een bovengrens van het wijk- of slootpeil: het wijk- of slootpeil wordt gelijkgesteld aan het stuwpeil indien de berekende $h_w(t+\Delta t)$ hoger mocht blijken te zijn dan h_s. De modelberekeningen vooronderstellen dus dat er geen belemmeringen zijn voor de a f v o e r van water.

Voor 'conservering' (dat wil zeggen het vasthouden van water met behulp van landbouwkundige stuwen) heeft berging in het openwater de volgende gevolgen:

- de grondwaterafvoer reageert met vertraging op het verhogen van het stuwpeil (een peilstijging moet door de afvoer zelf bewerkstelligd worden) ;
- tijdens de zomer kan de inhoud van de sloten of wijken (minus het verdampingsoverschot) infiltreren.

Voor 'aanvoer' zijn de gevolgen dat

- de infiltratie lager is dan de aanvoer bij peilstijging;
- de infiltratie hoger is dan de aanvoer bij peildaling.

1.2.5. Invloed op de landbouwkundige omstandigheden in het voor- en najaar

De omstandigheden in het voorjaar ('vroegheid' van de grond; bewerkbaarheid tijdens de zaai/poot periode) worden verrekend met behulp van een methode die ontleend is aan de H.E.L.P. (Herziening Evaluatie van Landinrichtings Plannen).
Deze methode stelt, dat er tussen 20 maart en 10 april minstens tien dagen met een grondwaterstand van dieper dan 70 cm -mv moeten zijn. Voor iedere dag minder dan de vereiste tien wordt 1 mm reductie op de seizoensverdamping in rekening gebracht. Deze reductie lijkt wat weinig; men moet echter bedenken dat de genoemde tien dagen betrekking hebben op de tijd die een boer nodig heeft voor het inzaaien/poten van zijn gehele areaal èn het tegelijkertijd draaiende houden van zijn bedrijf:

- dertig procent van de voor zaaien/poten beschikbare tijd wordt geacht 'verloren' te gaan aan het handhaven van de bedrijfscontinuiteit;
- per netto dag minder beschikbare tijd wordt 1/7 van het areaal geacht een dag later dan gewenst ingezaaid te worden.

Veldproeven hebben uitgewezen dat één dag later inzaaien ruwweg 6 mm reductie van de seizoensverdamping ten gevolge heeft. Aangezien het per dag 'minder dan de vereiste tien' circa 1/7 van het areaal betreft geeft dit een reductie van:

$6 * 1/7 \approx 1$ mm

De berijdbaarheid en bewerkbaarheid van de grond tijdens de oogst in het najaar wordt verrekend met behulp van een methode die afgeleid is uit gegevens van WIND (pers. mededeling) en van BEUVING (1982): Fabrieksaardappelen bijvoorbeeld, worden geoogst tussen 15 september en 1 november. Het aantal 'niet-werkbare' dagen in die periode wordt berekend aan de hand van de grondwaterstand:

- bij een grondwaterstand van dieper dan 100 cm -mv wordt de grond zowel berijdbaar als bewerkbaar geacht. (De berijdbaarheid heeft betrekking op het gevaar van compactie van de bodemlaag vlak onder de bouwvoor);
- bij een grondwaterstand van minder diep dan 60 cm -mv is de grond niet berijd- en bewerkbaar: een 'volledig niet-werkbare' dag wordt in rekening gebracht;
- bij een grondwaterstand van 100 tot 60 cm -mv wordt een 'gedeeltelijk niet-werkbare' dag in rekening gebracht:

$$f_{nwd} = (100 - h_g)/40$$

waarin:

f_{nwd} = 'niet-werkbare' fractie van een dag (d)
h_g = grondwaterstand (cm -mv)

Stel dat bij 'conservering' het langjarig gemiddelde van het aantal niet-werkbare dagen in het najaar 4,0 bedraagt, terwijl bij 'aanvoer' een gemiddelde van 6,0 berekend wordt. In de praktijk zou dit tot gevolg hebben dat men op de lange duur twee dagen eerder met de oogst gaat beginnen om bijvoorbeeld het risico van vorstschade niet groter te laten worden dan wat men gewend is.
De in rekening gebrachte verdampingsreductie komt overeen met de door het model berekende transpiratie tijdens de laatste twee dagen van het groeiseizoen.

1.2.6. Meteorologische gegevens: wijze van gebruik

Het 'doorrekenen' van een reeks meteorologische gegevens die zowel natte als droge jaren bevat verdient de voorkeur boven het doorrekenen van bijvoorbeeld 'een 10% droog jaar'. In de praktijk van het waterbeheer heeft men namelijk steeds te maken met de onzekerheid omtrent de weersomstandigheden tijdens de rest van het seizoen: het nemen van een gecalculeerd risico is inherent aan het nemen van maatregelen die gericht zijn op het voorkomen van droogteschade. Dit risico betreft het eventueel achteraf overbodig blijken te zijn van wateraanvoer en - in het ergste geval - het eventueel veroorzaken van wateroverlast tijdens de nazomer en tijdens de oogstperiode.

Het rekenen met bijvoorbeeld 'een 10% droog jaar' elimineert dit risico-element en kan daardoor resulteren in grove overschatting van het effect van aanvullende vochtvoorziening.

Bij het rekenen met een historische reeks zal men zich uiteraard moeten beperken ten aanzien van de reekslengte.
Beschikbaarheid van zowel gegevens als rekentechnische hulpmiddelen kunnen beperkend zijn. Bij voorkeur zal een reekslengte gekozen worden die representatief is voor het desbetreffende klimaat en lang genoeg is in verhouding tot de variantie van de grootheid waar het hier om te doen is: het verschil in gewasverdamping bij het doelmatig benutten van verschillende niveau's van vorzieningen ten behoeve van het waterbeheer.

1.3. Rekenwijze voor het beheer bij infiltratie

1.3.1. Algemeen

Bij het simuleren van het beheer dat zou kunnen worden toegepast indien men ook de beschikking zou hebben over een zekere aanvoercapaciteit, wordt zoveel mogelijk aansluiting gezocht bij het conserveringspraktijk zoals die nu is. Er zijn twee redenen om deze aansluiting te zoeken:

- het conserveren is de 'nul' situatie die als referentieniveau dient bij het berekenen van het effect van wateraanvoer;
- het resulteert in een type model dat tevens als hulpmiddel kan dienen bij het in de praktijk ontwikkelen van een doelmatig beheer.

In fig.1.3is weergegeven hoe de rekenwijze voor het beheer deel uitmaakt van het rekenmodel. Overeenkomstig de praktijk van het conserveren, krijgt de module voor het beheer één keer per week de kans om in te grijpen in het simulatieproces. In geval van 'nood' zal men in de praktijk eventueel tussentijds aktie kunnen ondernemen. Gezien de algehele traagheid van het (omvangrijke!) systeem zal evenwel de betekenis hiervan voor de vochttoestand van het land gering zijn.

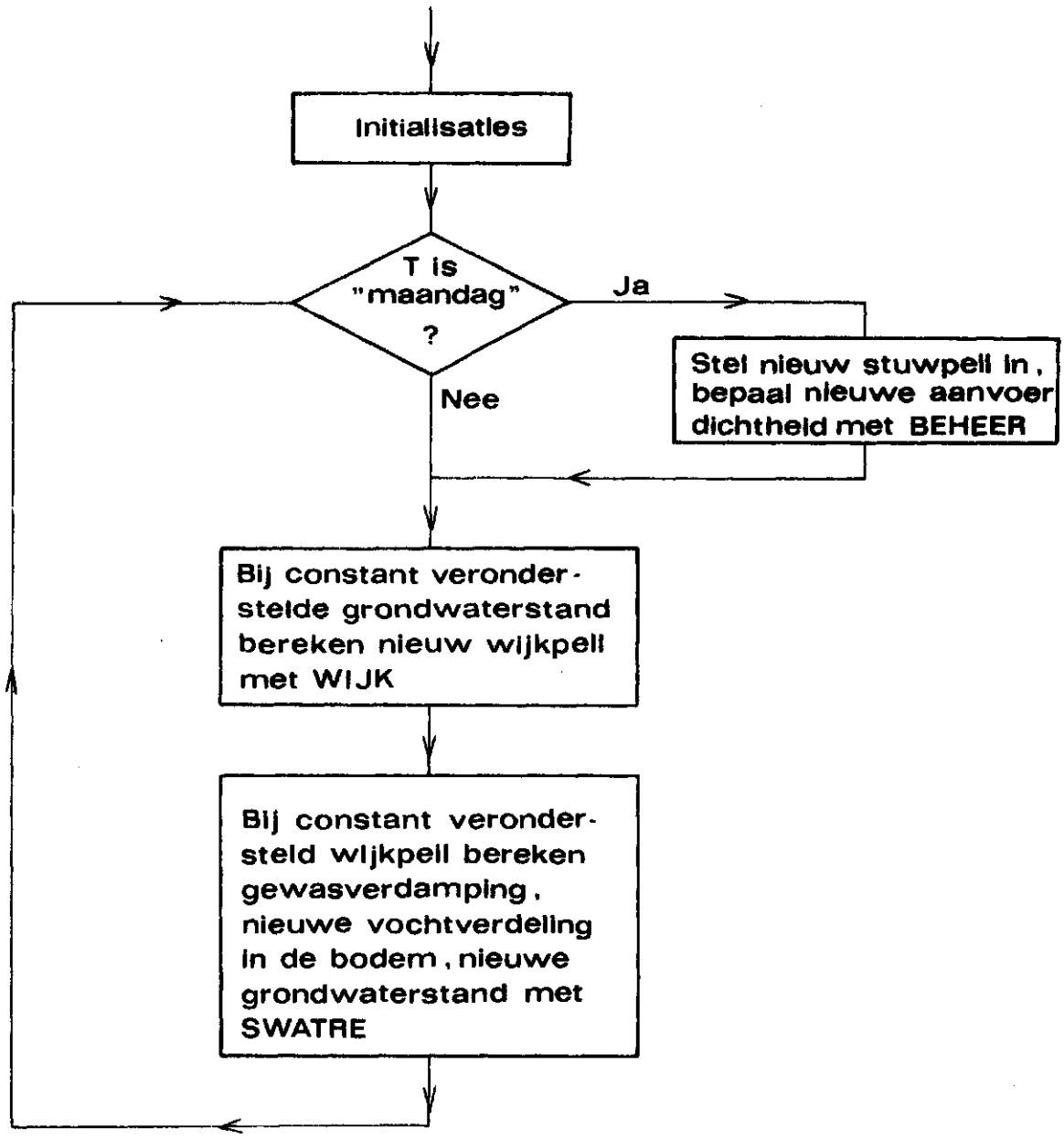


Fig. 1.3. Stroomdiagram van het rekenmodel. Eenmaal per week krijgt de 'module' BEHEER de kans om het stuwpeil en de aanvoer-dichtheid te wijzigen

1.3.2. Uitgangspunten voor het beheer

In de praktijk worden doorgaans op de decimeter afgeronde waarden voor het in te stellen stuwpeil gehanteerd. Bij een winterpeil van 140 cm -mv en een zomerpeil van 90 cm -mv onderscheidt men dan de volgende 'fasen':

fase	stuwpeil (cm -mv)
0	140
1	130
2	120
3	110
4	100
5	90

In een 'droog' jaar mag het peil eventueel 20 cm extra opgezet worden.

6	80
7	70

Plotselinge peildaling van meer dan 10 cm kan de stabiliteit van taluds in gevaar brengen. Om deze reden mag slechts in noodgevallen het peil met 20 cm per week afgebouwd worden.

Het beheer dient niet met horten en stoten te gaan. Indien men de ene week het peil constant gehouden heeft zal men de volgende week niet ineens een verhoging van 20 cm kunnen wensen: men zou er dan te laat achter gekomen zijn dat de vorige week het peil eigenlijk met 10 cm verhoogd had moeten worden. Om deze reden wordt bij het vaststellen van het nieuwe stuwpeil slechts een stijging van 10 cm toegestaan. Eenzelfde redenering is van toepassing op de aanvoerbehoefte: bij plotselinge regenval mag de aanvoer wel abrupt gestopt worden, maar het opvoeren van het debiet moet geleidelijk geschieden.

Aanvoer van water kan de omstandigheden tijdens het oogstseizoen nadelig beïnvloeden. Dit risico wordt beperkt door:

- de aanvoer één maand voor het einde van het groeiseizoen stop te zetten;
- ervoor te zorgen dat aan het einde van het groeiseizoen het peil afgebouwd is naar winterniveau.

1.3.3. Vereiste gegevens over de vochttoestand van het land

Het wekelijks opnemen van grondwaterstanden is reeds in 'de' praktijk gerealiseerd. Dit verzamelen van veldgegevens is arbeidsintensief: de gegevens zijn circa een halve week 'oud' tegen de tijd dat ze gebruikt worden bij het nemen van een beslissing met betrekking tot het beheer.

Het in de toekomst eventueel kunnen beschikken over een (kostbare) aanvoercapaciteit zal hogere eisen stellen aan de gegevens over de hydrologische toestand van het land. Men zal behalve grondwaterstandsgegevens tevens een goed gekwantificeerde indruk moeten hebben van de vochtvoorraad in de wortelzone: zonder deze informatie is het totaalbeeld zeer incompleet; er is nu eenmaal niet een eenduidig verband tussen de grondwaterstand en de hoeveelheid vocht in de wortelzone.
Bij het schatten van deze vochtvoorraad kan men denken aan het bijhouden van een waterbalans met behulp van meteorologische gegevens van het KNMI, eventueel gecompleteerd met zeer eenvoudige relaties om de capillaire opstijging te benaderen.
Ook kunnen veldopnames uitkomst bieden.

1.3.4. Simulatie van het beheer

De wijze waarop bovenbeschreven uitgangspunten zijn verwerkt in een 'module' wordt beschreven in bijlage A.1.

2. TOEPASSING VAN HET REKENMODEL

2.1. A l g e m e e n

Een onderzoek naar de landbouwkundige baten van wateraanvoer dient opgezet te zijn op een wijze die aansluit bij de economische berekening die men vervolgens wenst te maken. Dit houdt in dat het gewenst is de baten te evalueren bij verschillende waarden van de aanvoer c a p a c i t e i t: deze capaciteit bepaalt immers de hoogte van de i n v e s t e r i n g die men al dan niet zou willen plegen. Om de n e t t o b a t e n te kunnen berekenen zal steeds bekend moeten zijn hoeveel water aangevoerd is om een bepaalde verhoging van de gewasverdamping te bereiken: de totaal aangevoerde hoeveelheid water bepaalt immers de hoogte van de v a r i a b e l e k o s t e n die gemaakt moeten worden om bepaalde b r u t o b a t e n te verkrijgen.

De in het herinrichtingsgebied voorkomende bodemkundige-hydrologische eenheden zijn doorgerekend voor de volgende alternatieven:

1. een constant stuwpeil; dit alternatief komt overeen met de situatie van vóór het eventueel geïnstalleerd hebben van landbouwkundige stuwen;
2. conservering met behulp van landbouwkundige stuwen;
3. aanvoer ten behoeve van infiltratie, bij een capaciteit van
   a) 0,75 mm/d
   b) 1,50 mm/d
   c) 2,50 mm/d

Indien de baten van infiltratie vrijwel nihil bleken te zijn, werd in plaats van 3c) het alternatief 'beregening' doorgerekend. Het alternatief 2) diende steeds als referentieniveau bij het berekenen van het 'aanvoereffect' op de gewasverdamping.

2.2. Bodemkundig-hydrologische eenheden

Op basis van de bodemkaart schaal 1 : 50 000 (reconstructie Oost-Groningen en de Gronings-Drentse Veenkoloniën, 1975; zie ook Fig. 2.1) zijn in het herinrichtingsgebied de volgende vijf bodemkundige hoofdeenheden onderscheiden:

- iWp : gemengwoelde veenkoloniale grond;
- Hn23 : deze grond kan men zien als een 'versleten' iWp-grond, die destijds te laat of niet is gemengwoeld waardoor het veen beneden de wortelzone is verdwenen;
- iWp/Hn21 : een wat hoger liggende grond die tussen de iWp voorkomt, met een goede bovengrond maar een ondergrond bestaande uit leemarm materiaal (dat slechte capillaire eigenschappen heeft);
- Hn21 : een zandgrond die voorkomt op de ruggen in het veenkoloniale gebied en in Westerwolde, met een 'matige' bovengrond en een ondergrond bestaande uit leemarm materiaal;
- zVz : een veengrond aan de voet van de hogere ruggen, of een jonge veenkoloniale grond met een dik veenpakket;
- klei : zware zeeklei.

Er zijn geen berekeningen verricht aan de niet-gemengwoelde iWp-grond: omdat aanvoer van water een kostbare zaak is mag aangenomen worden dat eerst alle mogelijkheden van waterconservering benut zullen zijn.
De bodemfysische karakteriseringen van de in fig. 2.2a schematisch weergegeven bodemkundige eenheden zijn ontleend aan VEERMAN (1982) en BLOEMEN (1982). Fig. 2.2b geeft de pF-curven van de samenstellende bodemlagen. De gebruikte K(h) relaties hebben de vorm (zie o.a. BLOEMEN, 1982):

$$k = 0{,}5\ k_s\left(\frac{h_a}{h.r}\right)^{n_s}, \quad h \leq h_a/r; \quad k = 0{,}5\ k_s, \quad 0 \geq h > h_a/r$$

waarin:

k	= doorlatendheid	(cm/d)
k_s	= verzadigde doorlatendheid	(cm/d)
h	= drukhoogte	(cm)
h_a	= luchtintreewaarde	(cm)
r	= empirische constante	
n_s	= maat voor de snelheid waarmee k vanaf 0,5 k_s afneemt als h vanaf h_a afneemt	

De factor 0,5 dient om, op een benaderende wijze, het hysterese effect in rekening te brengen. Uit tabel 2.1b blijkt, dat de bij een bepaald type bodemlaag horende parameters van de K(h)-formule niet dezelfde waarden behoeven te hebben wanneer dit type op verschillende hoogte voorkomt binnen één profiel (i.c. zwak lemig zand in profiel 7; vgl. ook de parameters horend bij pF-curve 11 in andere profielen). Dit komt voort uit kleine verschillen in granulaire samenstelling die volgens de methode van BLOEMEN een andere doorlatendheid tot gevolg hebben.

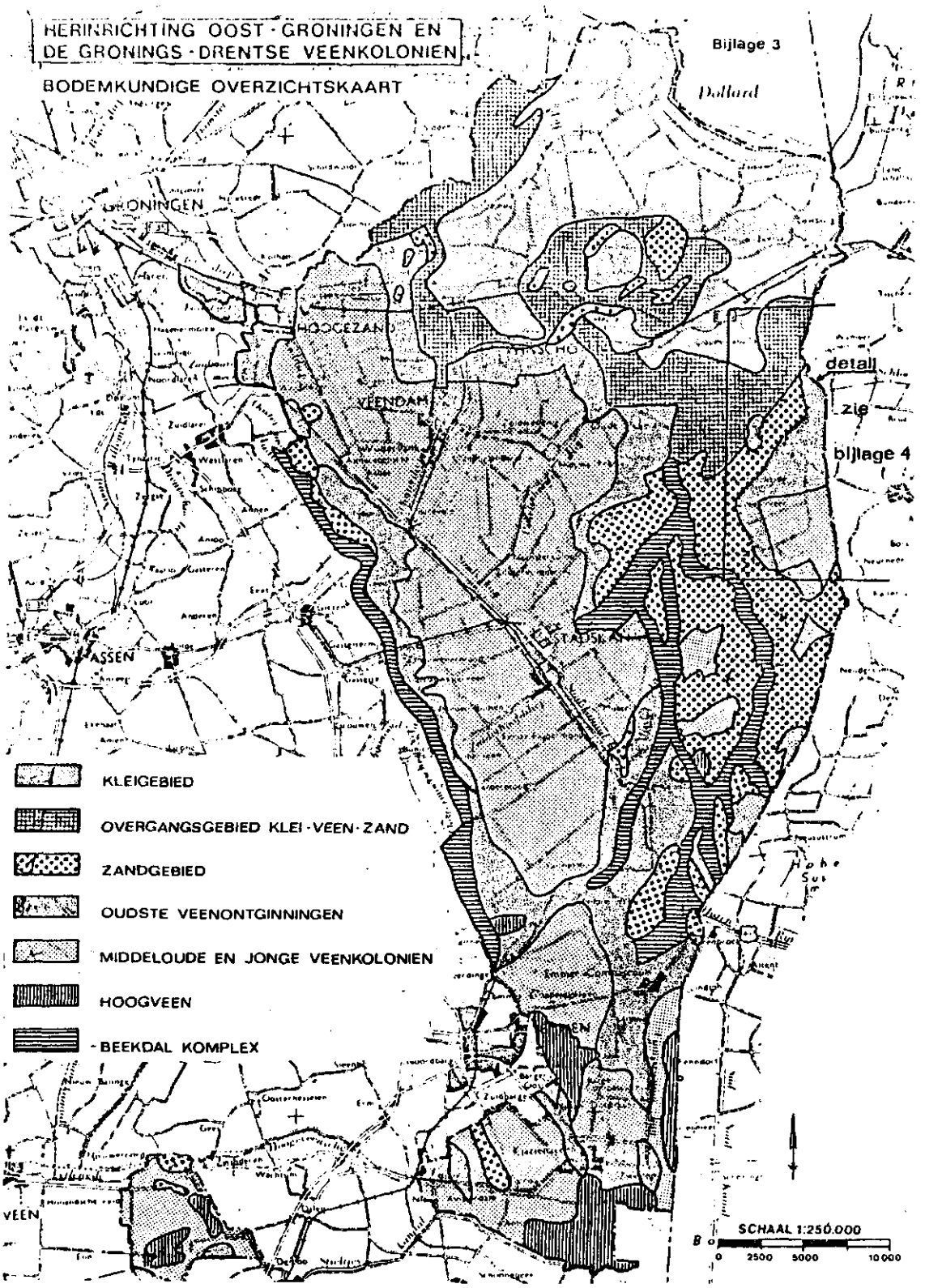


Fig. 2.1. Bodemkaart van Oost-Groningen en de Gronings-Drentse Veenkoloniën. Schaal 1:50 000

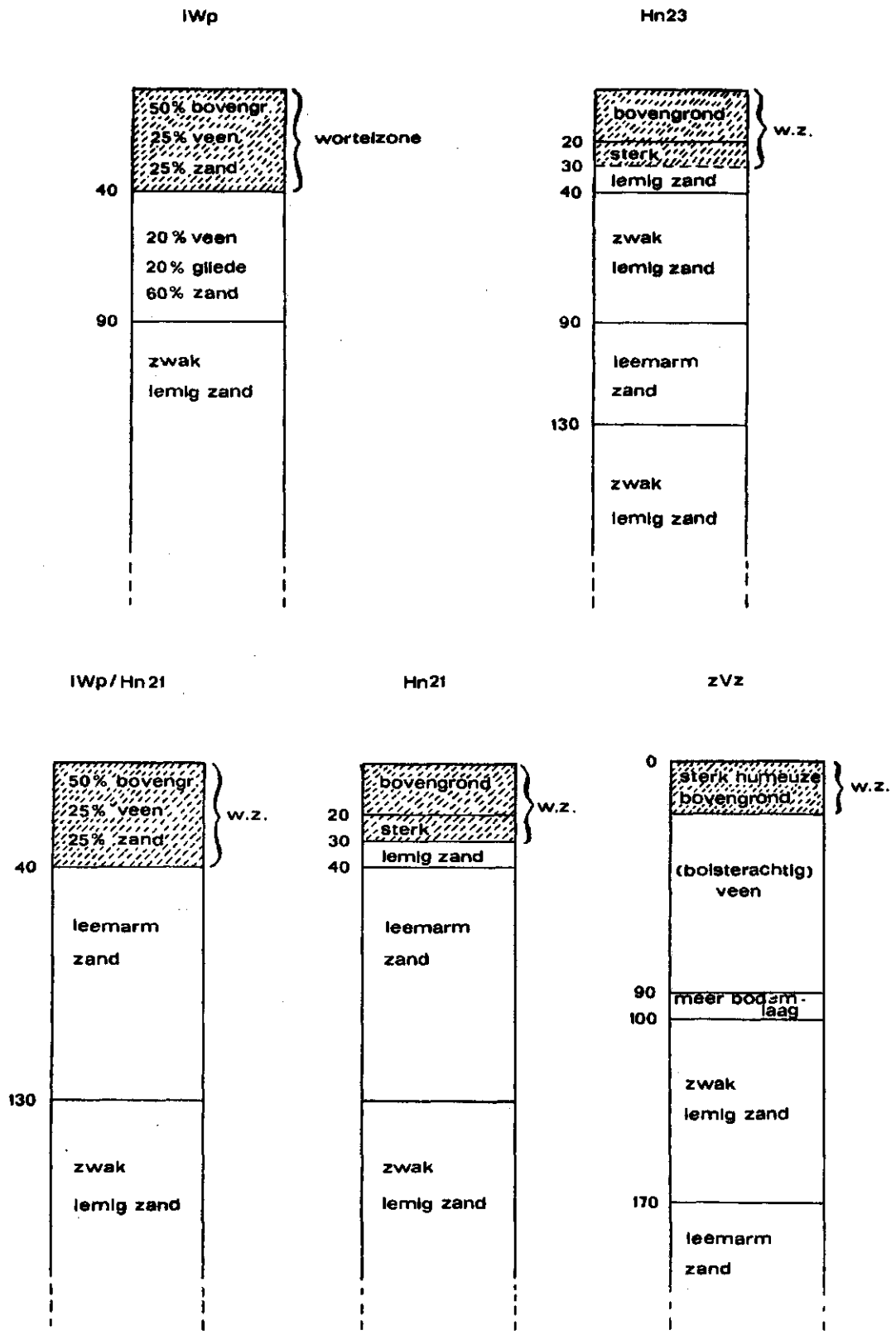


Fig. 2.2a. Schematische weergave van bodemkundige eenheden

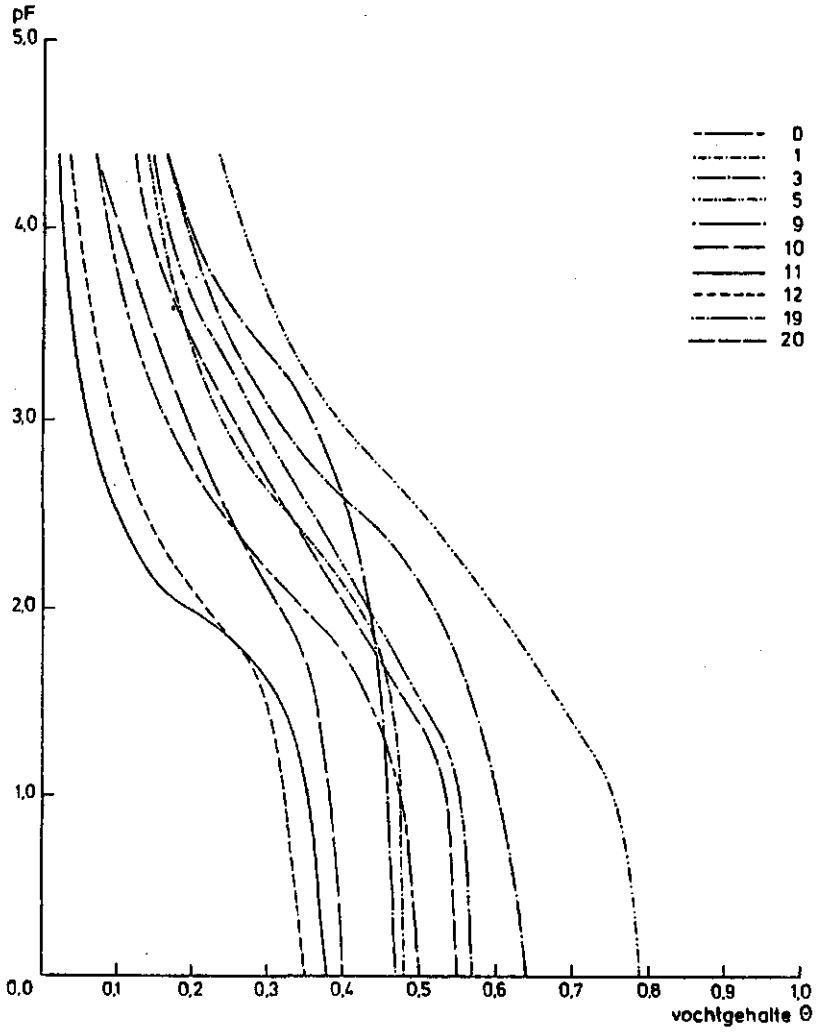


Fig. 2.2b. pF-curven van bodemlagen:

0: bovengrond Hn21
1: bovengrond Hn23
3: sterk humeuze bovengrond
5: (bolsterachtig) veen
9: meerbodemlaag
10: sterk lemig zand
11: zwak lemig zand
12: leemarm zand
19: 50% bovengrond, 25% veen, 25% zand
20: 20% veen, 20% gliede, 60% zand

Tabel 2.1. Parameters betreffende de in fig. 2.2a schematisch weergegeven bodemkundige eenheden. De nummers van de pF-curven verwijzen naar fig. 2.2b. De Hn-grond van BLOEMEN (1982) blijkt een Hn23 te zijn. In het gebied komen echter meer Hn21- dan Hn23-gronden voor. De karakterisering van dit profiel is verkregen door voor de derde laag van het Hn23-profiel dezelfde parameters te nemen als voor de laag tussen 90 en 130 cm -mv.

	$0,5\ k_s$ (cm/d)	$-h_a/r$ (cm)	n_s (-)	pF-curve nr	Diepte grenzen (cm -mv)	Volumetrisch vochtgehalte $\Theta_{pF=4,2}$ (%)	$\Theta_{pF=2}$ (%)	Θ_{verz} (%)
	59	7	1,48	19	0- 40	15	43	57
iWp	39	7	2,22	20	40- 90	13	40	55
	80	8	3,67	11	90-200	4	21	38
	86	7,5	1,46	1	0- 20	14	41	48
	57	8	1,81	10	20- 40	8	31	40
Hn23	77	7	2,62	11	40- 90	4	21	38
	90	7,5	3,46	12	90-130	3	19	35
	80	8	3,67	11	130-200	4	21	38
	59	7	1,48	19	0- 40	15	43	57
iWp/ Hn21	90	7,5	3,46	12	40-130	3	19	35
	80	8	3,67	11	130-200	4	21	38
	86	7,5	1,46	0	0- 20	8	35	50
Hn21	57	8	1,81	10	20- 40	8	31	40
	90	7,5	3,46	12	40-130	3	19	35
	80	8	3,67	11	130-200	4	21	38
	86	7,5	1,46	3	0- 20	18	51	64
	0,185*	35	1,57	5	20- 90	24	59	79
zVz	2,83	27	1,41	9	90-100	15	43	47
	77	7	2,62	11	100-170	4	21	38
	77	7	2,62	12	170-200	3	19	35

*Voor $-h < 35$ cm drukhoogte zijn hogere k-waarden gebruikt, om het berekenen van een schijngrondwaterspiegel te vermijden. In het 'veld' heeft men namelijk op de plaatsen waar schijngrondwaterspiegels pleegden voor te komen reeds lang de situatie verbeterd met behulp van bodemtechnische ingrepen.
Overigens is het model SWATRE vooralsnog niet toegerust effecten samenhangend met een schijngrondwaterspiegel te simuleren.

De voor een bodemkundig-hydrologische eenheid aangehouden drainageweerstand wordt geacht betrekking te hebben op de situatie bij 'winterpeil'. Veldproeven hebben uitgewezen (BARTELDS e.a., 1982) dat de stromingsweerstand bij drainage niet betekenend verschilt van die bij infiltratie. Wel werd in het wijkengebied geconstateerd dat bij maximale opstuwing de infiltratieweerstand met circa 10% afneemt door de toename van de natte omtrek en het in werking treden van permeablele stroken die vrij zijn van slib.

Door het voorkomen van ruggen en dalen in het landschap ontstaan verschillen in de stroming naar de zandondergrond. Op basis van onder andere hoogteligging, afvoergegevens en grondwatertrapclassificering zijn schattingen verkregen van de in combinatie met een bodemkundige eenheid voorkomende kwel of wegzijging (zie tabel 2.2). Het voorkomen van kwel of wegzijging kan men zien als een 'subregionale' vereffening van grondwaterstandsverschillen. De mate waarin vereffening optreedt hangt af van de grondwaterstand: bij een diepe grondwaterstand zal de wegzijging minder zijn dan bij een ondiepe. In het model is dit nagebootst door de wegzijging nul te stellen bij een grondwaterstand van 195 cm -mv. Eenvoudigheidshalve wordt in een kwelsituatie de kwelintensiteit (mm/d) constant gehouden, hoewel er hydrologische argumenten zijn om ook de kwel te laten afnemen met het dieper worden van de grondwaterstand.

De peilvakken in het veenkoloniale gebied zijn zo ontworpen dat het zomerpeil circa 105 cm lager is dan de gemiddelde maaiveldsligging. Binnen een peilvak komen forse verschillen in maaiveldsligging voor. Ten dele komen deze verschillen door de regionale trend van de maaiveldsligging: binnen een peilvak is deze daling circa 50 cm.

De overige variaties hangen voornamelijk samen met variaties in de zandondergrond (dekzandkoppen en -ruggetjes, niet te verwarren met ruggen als bijvoorbeeld de Hondsrug): binnen

een peilvak kan de totale variatie zelfs 1 m bedragen. Het betreft hier dan wel de 2σ-grenzen van een 'normaal' verdeelde maaiveldsligging: de standaard afwijking bedraagt circa 25 cm (zie ook fig. 2.3). Wel dient bedacht te worden dat aan de zijde waar de gemiddelde ligging het hoogst is er enige kwel is vanuit het

Tabel 2.2. Lijst van bodemkundig hydrologische eenheden

Profiel nummer	Bodem-kundige eenheid	Drainage weer-stand (d)	Kwel (mm/d)	*zp/wp/cp (cm-mv)	+w/s	Dikte wortelzone (cm)
1	iWp	100	0	90/140/120	w	40
2	iWp	200	-0,5	90/140/120	w	40
3	iWp	200	0	90/140/120	w	40
4	iWp	200	+0,5	90/140/120	w	40
5	iWp	400	-0,5	90/140/120	w	40
6	iWp	400	0	90/140/120	w	40
7	Hn23	200	0	90/140/120	w	30
8	iWp/Hn21	200	-0,25	90/140/150	w	40
9	Hn21	400	-0,5	70/120/120	s	30
10	Hn21	400	0	70/120/120	s	30
11	Hn21	800	+0,5	70/120/120	s	30
12	zVz	200	0	90/140/120	w	20
13	zVz	200	+1,0	100/150/150	w	20

*zp = zomerpeil; wp = winterpeil; cp = constant peil
(de situatie van voor het installeren van landbouwkundige stuwen en opschonen wijken)

+w = wijkensysteem; profiel diepte 2 m; bodembreedte 4 m; taluds 1:2

s = slotensysteem; profiel diepte 1,4 m; bodembreedte 0,6 m; taluds 1 : 1½

(hogerliggende) volgende peilvak. Evenzo is er aan de zijde waar de gemiddelde ligging het laagst is enige wegzijging. Dit verschijnsel 'verzacht' enigszins het effect van de ongelijke maaiveldsligging.

Uit tabel 2.2 blijkt, dat een verschil van 50 cm tussen zomer- en winterpeil is aangehouden. In werkelijkheid is er bij de beweegbare stuwen een grotere peilvariatie mogelijk (afgezien van het 20 cm extra opzetten dat genoemd is in hoofdstuk 1). Daar staat evenwel tegenover, dat enige opstuwing in de leidingen (kanaal, wijken of sloten) de effectieve variatie in de wijken of sloten iets minder maakt.

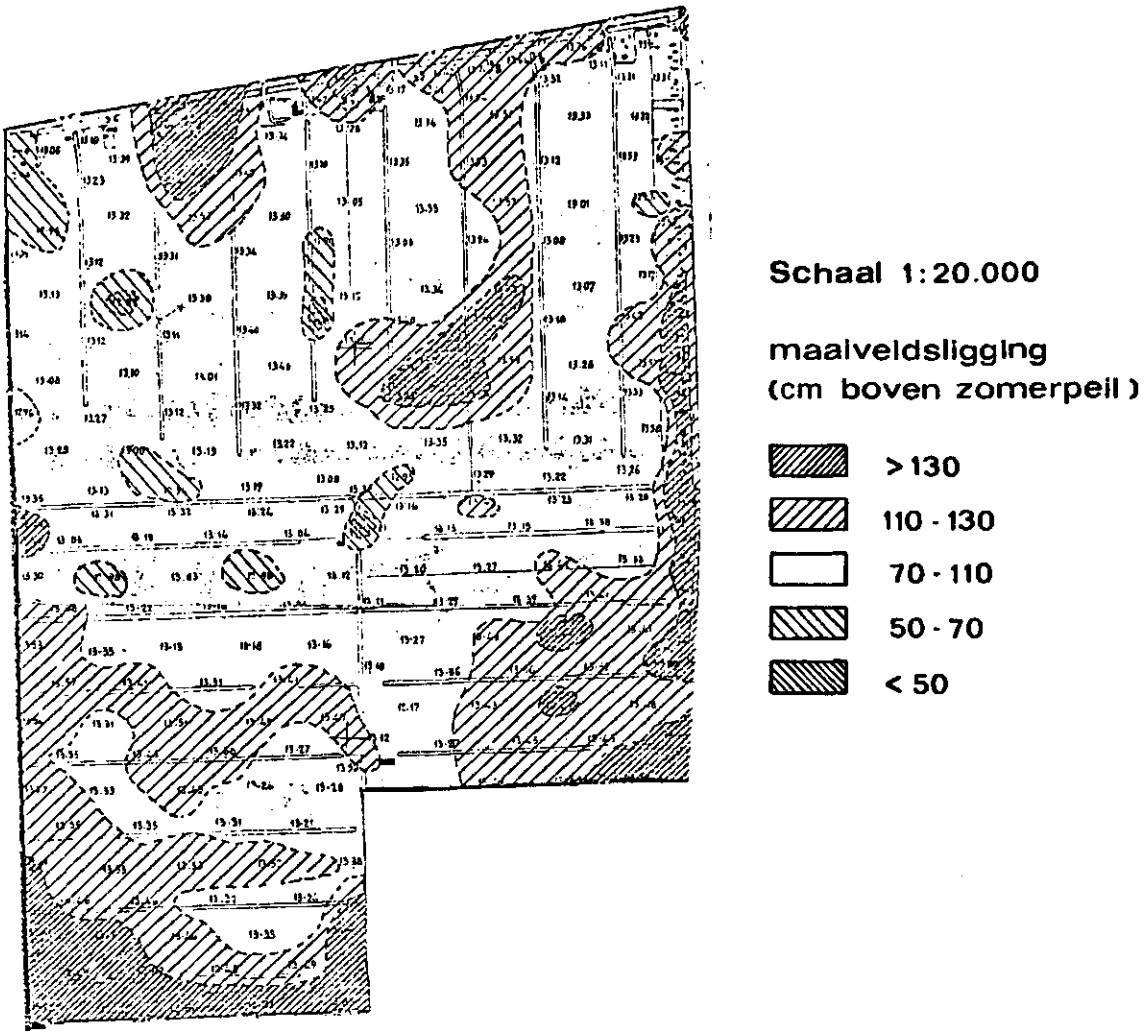


Fig. 2.3. Voorbeeld van een peilvak in het veenkoloniale gebied

Nu is het zo dat verdampingsreducties als gevolg van wateroverlast veel groter zijn dan die als gevolg van watertekort. Het peilbeheer dient daarom afgestemd te zijn op de lagere gedeeltes. Om deze reden zijn de modelberekeningen gedaan voor een maaiveldsligging van 90 cm boven zomerpeil. Overigens is hiermee de kous nog niet af wat betreft de ongelijke maaiveldsligging. Hier zal bij de presentatie van de resultaten nader op in worden gegaan.

2.3. Meteorologische data

De gebruikte meteorologische gegevens zijn afkomstig van het KNMI weerstation in Eelde.
Uit praktische overwegingen moest de lengte van de gebruikte datareeks beperkt worden tot 12 jaar (1971 t/m 1982). De vuistregel is, dat een reeks met een lengte van 30 jaar niet statistisch getoetst hoeft te worden wat betreft de representativiteit voor een klimaat. Daarmee is echter niet gezegd dat een reeks van 12 jaar per definitie niet voldoende representatief is:
Wateraanvoer heeft zowel effecten op de grootte van de vochttekorten in de verschillende jaren als op de omvang van de periodiek optredende wateroverlast. Daarom moet op beide aspecten gelet worden bij het toetsen van de reeks 1971-1982.

Wat de 'droge' kant betreft het volgende:

- om een indicatieve berekening te kunnen maken kan men de wortelzone opvatten als een reservoir van waaruit potentiële verdamping plaatsvindt. De neerslag die valt vermindert het ontstane vochttekort, maar ook niet meer dan dat: het surplus stroomt af wanneer het reservoir 'vol' is. Het maximale vochttekort in een bepaald jaar is een goede maat voor de droogheid.
  Door WIEBING (pers.med.) zijn op deze wijze de jaren 1945 tot en met 1979 onderzocht, gebruikmakend van de weersgegevens van Eelde. Deze reeks is aangevuld met de jaren 1980 tot en met 1982. De maximale tekorten zijn gemiddeld 150 mm over de periode 1945 tot en met 1982 en gemiddeld 167 mm over de periode 1970 tot en met 1982. De laatstgenoemde periode is dus circa 11% droger
- door WESTPHAL (pers. med.) is een 'gestyleerd verband' afgeleid tussen de door SWATRE en HYDRO (WERKGROEP ICW, 1981) berekende aanvoereffecten in de jaren 1971 t/m 1982. Met dit verband is voor een bepaald geval (iWp) de reeks door SWATRE berekende effecten uitgebreid tot de periode 1911 tot en met 1982. Hieruit kwam naar voren, dat voor de periode 1952 tot en met 1982 het berekende aanvoereffect circa 25% kleiner is dan voor de periode 1971 tot en met 1982; vergelijkt men echter het effect voor 1911 tot en met 1982 met dat van 1971 tot en met 1982 dan vindt

men voor de laatstgenoemde periode een slechts 7% kleiner effect

- door VAN BOHEEMEN (1982) wordt gesteld dat voor Schouwen-Duiveland de gemiddelde waarden van de potentiële verdamping en het maximale vochttekort in de periode 1971-1980 ongeveer gelijk zijn aan de gemiddelden van periode 1933-1980.

De zomer van 1980 was extreem nat. Om schade door wateroverlast in deze zomer te vermijden is noodgedwongen de rekenwijze voor het beheer extra voorzichtig gemaakt. Dit heeft natuurlijk consequenties gehad voor de in de overige jaren bereikte aanvoereffecten; deze effecten zouden groter uitgevallen zijn wanneer het jaar 1980 had ontbroken.

Dit laatste voorbeeld onderstreept nog eens dat men gebruik moet maken van een historische reeks, en niet van bijvoorbeeld een geselecteerd '10% droog jaar'. Gedacht wordt dat het iets droger dan gemiddeld zijn van de periode 1971-1982 ongeveer gecompenseerd wordt door het effect van de extreem natte zomer in 1980.

2.4. Gewasinvoergegevens

In het herinrichtingsgebied komt overwegend een veenkoloniaal bouwplan voor. Dit bouwplan omvat 45% fabrieksaardappelen, 30% granen en 25% bieten. Om de vereiste rekeninspanning te beperken is besloten alle hydrologische berekeningen betrekking te laten hebben op fabrieksaardappelen. Naderhand is bij de batencalculatie hier rekening mee gehouden.

Het jaar 1981 was niet uitgesproken droog of nat. Om deze reden werd het aanvaardbaar geacht gewasgegevens van 1981 te gebruiken voor het doorrekenen van alle jaren in de periode 1971-1982. Het betreft gegevens over

- de gewashoogte
- de bodembedekkingsgraad

De reeks gewashoogten en bodembedekkingsgraden werd overgenomen uit HELLINGS e.a. (1982), een verslag van een veldproef met fabrieksaardappelen. Het betreffende groeiseizoen begon op 1 mei en eindigde op 15 september.

2.5. Invoergegevens voor het beheer bij infiltratie

Voor de invoergegevens van de module voor het beheer wordt verwezen naar bijlage A.

2.6. Resultaten van berekeningen

2.6.1. Resultaten voor 'representatieve' maaiveldsligging

In fig. 2.4 is een voorbeeld gegeven van het berekend aanvoer-, stuwpeil-, wijkpeil- en grondwaterstandsverloop voor verscheidene beheersalternatieven (constant stuwpeil van 120 cm -mv, conservering, aanvoer bij een beschikbare capaciteit van respectievelijk 2½, 1½ en $\frac{3}{4}$ mm/d).

Bedacht moet worden, dat de aangegeven effecten op de gewasverdamping betrekking hebben op het met gewas beplante deel van het bodemoppervlak. In het rekenmodel is dit het niet door water ingenomen deel. (Bij de berekening van de landbouwkundige baten zal nog een correctie worden toegepast voor de taluds, de verspreide bebouwing, wegen enz.). In het wijkengebied is het percentage open water circa 4%. Voor een aanvoercapaciteit van 2,5 mm/d is in het onderhavige voorbeeld het voor het percentage open water gecorrigeerde aanvoereffect dus te berekenen met

$$\Delta T^{c}_{2,5} = (1-f_{ow}) \times \Delta T_{2,5} = 0{,}96 \times 10{,}1 = 9{,}7 \text{ mm 'schijf'}$$

De 'effectiviteit' van aanvoer kan men definiëren als

$$e = \frac{\Delta T^{c}}{\Sigma a} \times 100\%$$

In het voorbeeld is de effectiviteit dus 10% (9,7/96 x 100%). De overige 90% van de aanvoer (86 mm) vindt men aan het einde van het seizoen terug als extra berging in de wijken en in de grond. In dit geval is er geen tussentijdse afvoer, en geen extra wegzijging, zodat het meerdere water in het afvoerseizoen in het afvoerstelsel terechtkomt.

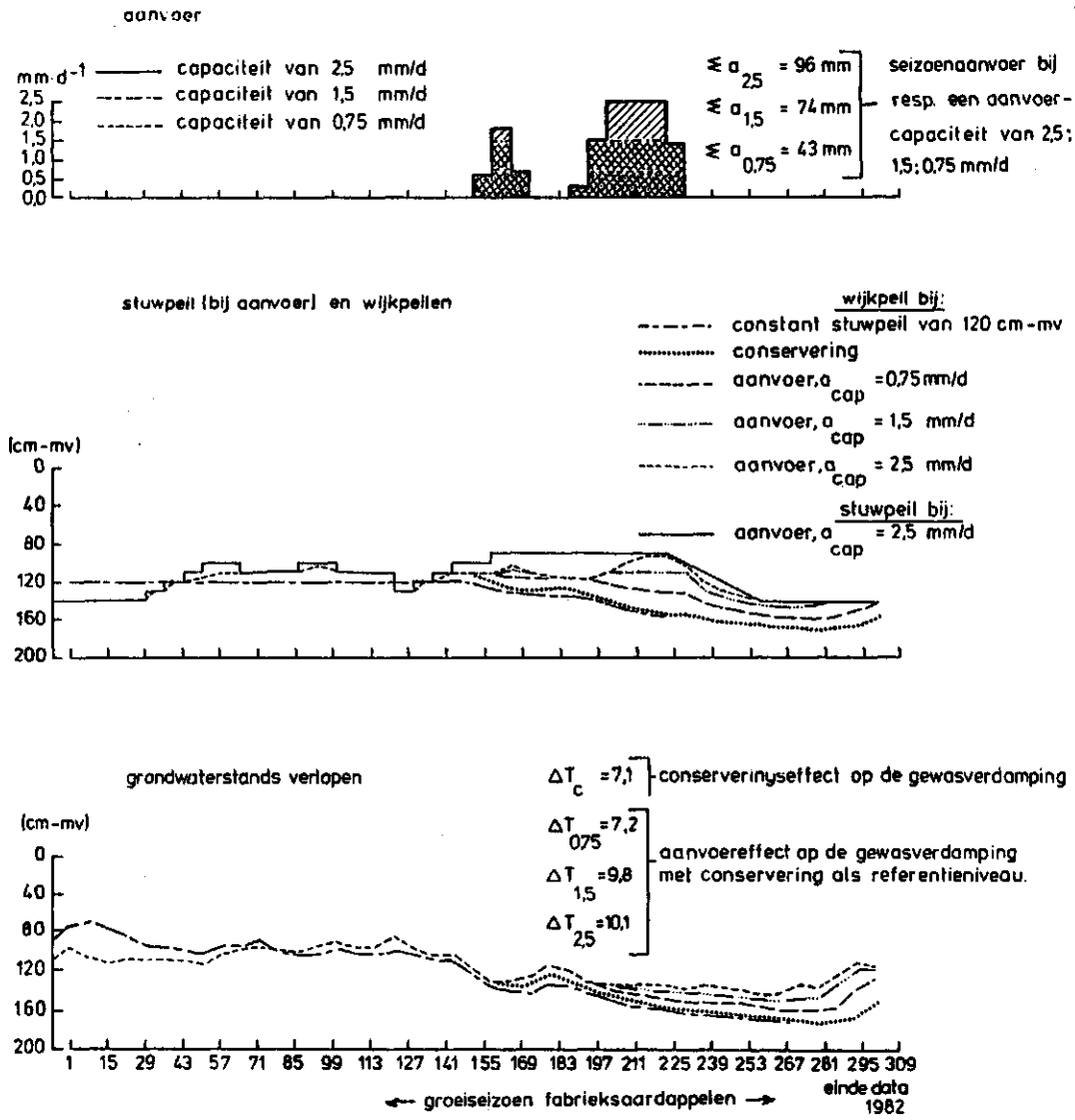


Fig. 2.4. Voorbeeld van berekeningsresultaten voor een iWp-grond met een drainageweerstand van 200 dagen, zonder kwel of wegzijging (nr. 3 van Tabel 2.2)

Het groeiseizoen eindigt op dag nr. 259. De volgende gegevens zijn in fig. 2.4 bij dit dag nr. af te lezen:

	wijkpeil (cm -mv)	grondwaterstand (cm -mv)
'aanvoer'	140	142
'conservering'	165	165
	25 cm	23 cm

Het wijkpeilverschil van 25 cm komt overeen met een berging van $250 \times f_{ow} = 250 \times 0{,}04 = 10$ mm 'schijf'.

Dit betekent, dat van de 86 mm niet-effectieve aanvoer 76 mm aan de grond toegevoegd is die n i e t door het gewas is opgenomen. De bergingscoëfficiënt voor deze hoeveelheid water was onder de heersende omstandigheden (aan het einde van een droge zomer) kennelijk

$$\mu = \frac{\Delta(\text{vochtinhoud})}{\Delta(\text{grondwaterstand}} = \frac{76}{230} = 0{,}33$$

Voor een uitgedroogd profiel en diepe grondwaterstand is dit een realistische waarde.
Het lage effectiviteitspercentage komt voort uit het feit, dat infiltratie een zeer indirecte manier is van watervoorziening met vele 'kranen' op de transportweg. Bij beregening uit oppervlaktewater worden twee kranen geëlimineerd, namelijk de drainageweerstand en de capillaire opstijging. De effectiviteit ligt hierbij dan ook veel hoger. In het ene geval wat is doorgerekend (nr. (11)) is dit 44/(98 * 1,2) = 37% (20% verliezen). Ook hier echter wordt meer dan de helft van het water slechts toegevoerd om het profiel natter te maken. Dit kan men echter pas achteraf constateren, zodat voor Nederlandse klimaatomstandigheden dit als een gegeven moet worden beschouwd.

Zoals verwacht varieert het berekende aanvoereffect van jaar tot jaar zeer sterk. Tabel 2.3 geeft een indruk van deze variatie. Ondervonden werd, dat de bereikte aanvoereffecten zeer gevoelig zijn voor het criterium dat bepaalt wanneer met aanvoer begonnen wordt. Bij een iets minder attent waterbeheer zijn de bereikte aanvoereffecten 15-30% lager dan wanneer de kraan op tijd opengezet wordt.

Tabel 2.3. Aanvoereffecten (mm/seizoen) voor een aantal profielen (zie ook tabel 2.2), bij een aanvoercapaciteit van 1,5 mm/d.
De getallen tussen haakjes hebben betrekking op de in het rechtergedeelte van fig.A.3 (zie bijlage A) met streepjeslijn aangegeven aanvoerfunctie

Prof. nr.	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'Gem.
2	13	-2	3	5	16	25	6	3	0	-2	0	13	6,7
	(9)	(-2)	(5)	(3)	(15)	(22)	(6)	(2)	(0)	(-1)	(0)	(8)	(5,6)
3	11	-1	2	2	21	30	5	1	9	-6	0	10	6,2
	(6)	(0)	(2)	(1)	(16)	(21)	(3)	(-1)	(0)	(-3)	(0)	(6)	(4,3)
+4	6	0	2	0	18	29	4	0	0	3	0	4	5,3
	(4)	(0)	(2)	(0)	(11)	(20)	(2)	(0)	(0)	(2)	(0)	(2)	(3,6)
8	14	0	11	14	17	14	5	12	1	-7	7	10	8,2
+9	16	-11	12	15	15	18	5	12	0	-28	4	8	5,5
10	13	-2	12	14	17	14	4	7	-1	-3	1	8	7,0

+alle bedragen moeten met 0,2 mm verminderd worden

In tabel 2.4 zijn de 'langjarig gemiddelden' van relevante grootheden bijeengebracht.
Het alternatief 'beregening' is slechts doorgerekend voor profiel 11 (in plaats van infiltratie bij een aanvoercapaciteit van 2,5 mm/d).

Tabel 2.4. Samenvatting van langjarige gemiddelden

$\bar{T}_o$ = gemiddelde gewasverdamping bij constant stuwpeil (mm/seizoen)

$\Delta\bar{T}_c$ = gemiddeld effect van conservering op de gewasverdamping (mm/seizoen)

$\Delta\bar{T}_{0,75}$ = gemiddeld aanvoereffect (genomen ten opzichte van conservering) bij een aanvoercapaciteit van 0,75 mm/d (mm/seizoen)

$\Sigma\bar{a}_{0,75}$ = gemiddelde seizoenaanvoerbehoefte bij een aanvoercapaciteit van 0,75 mm/d (mm/seizoen)

$\bar{e}_{0,75}$ = effectiviteit van aanvoer = $(\Delta T \times (1-f_{ow})/\Sigma a) \times 100\%$

Voor het wijkengebied is met een percentage open water van 4% gerekend, voor het slotengebied (nrs. 9 t/m 11) met een percentage van 2%.
Het berekende langjarig gemiddelde van de p o t e n t i ë l e gewasverdamping is 312 mm.

Grond				iWp				Hn23	iWp/Hn21		Hn21		zVz	
Drainageweerstand(d)		(100;0)	(200; -0,5)	(200;0)	(200; +0,5)	(400; -0,5)	(400;0)	(200;0)	(200; -0,25)	(400; -0,5)	(400;0)	(800; -0,5)	(200;0)	(200; +1,0)
kwel (mm/d)														
Profielnr. (zie tabel 2.2)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\bar{T}_o$	(mm/seizoen)	284,7	280,7	286,9	291,7	282,5	275,5	280,3	237,4	250,3	245,3	249,0	259,7	255,8
$\Delta\bar{T}_c$	"	5,2	1,7	3,2	2,7	1,4	9,2[@]	3,2	11,1	1,8	3,8	- 0,3	3,2	19,4
$\bar{T}_c$	"	289,9	282,4	290,1	294,4	283,9	284,7	283,5	248,5	252,1	249,1	248,7	262,9	275,2
$\Delta\bar{T}_{0,75}$	"	3,8	3,7	3,5	2,6	1,9	1,2	3,4	4,7	1,7	5,5	- 7,5	2,6	0,3
$\Delta\bar{T}_{1,5}$	"	7,0*	6,7	6,2	5,3	3,5*	2,2*	5,8*	8,2	5,3	7,1	- 7,5	3,0	-
$\Delta\bar{T}_{2,5}$	"	9,0	9,6	7,6	6,0	5,1	2,8	6,9	9,3	6,8	7,5	44[@]	3,5	-
$\Sigma\bar{a}_{0,75}$	"	37	42	35	28	40	32	34	47	46	36	37	36	5
$\Sigma\bar{a}_{1,5}$	"	60*	70	57	46	62*	48*	54*	64	65	43	40	49	-
$\Sigma\bar{a}_{2,5}$	"	73	88	69	52	72	54	63	71	71	44	98[@]	52	-
$\bar{e}_{0,75}$	(%)	10	8	10	9	5	4	10	10	4	15	-20	7	6
$\bar{e}_{1,5}$	(%)	11*	9	10	11	5*	4*	10*	12	8	16	-18	6	-
$\bar{e}_{2,5}$	(%)	12	10	11	11	7	5	11	13	9	17	44	6	-

@ te danken aan vermindering van de wateroverlast in het voorjaar
* geïnterpoleerde waarde
@ deze cijfers hebben betrekking op beregening

Bespreking van de resultaten van tabel 2.4. zal geschieden aan de hand van de volgende onderdelen:

i. Verdamping bij constant peil ($\bar{T}_o$)

Vergelijking van de $\bar{T}_o$ -waarden met het berekende langjarige gemiddelde van de potentiële gewasverdamping levert globaal de volgende verdampingsreducties:

iWp	: (1-284/312) * 100%	= 9%
Hn23	: (1-280/312) * 100%	= 10%
iWp/Hn21	: (1-237/312) * 100%	= 24%
Hn21	: (1-248/312) * 100%	= 21%
zVz	: (1-258/312) * 100%	= 17%

Zoals te verwachten laat de op het ideale tijdstip gemengwoelde iWp de minste verdampingsreductie zien. Hij combineert een grote vochtvoorraad in de wortelzone met goede capillaire eigenschappen van de ondergrond. Een bijna-ideale grond dus waarvan de vraag is of hij in het veld zoveel voorkomt.

Verrassend is, dat het Hn23-profiel praktisch gesproken overeenkomt met de gemengwoelde iWp. Dit komt door de goede capillaire eigenschappen van de ondergrond, die het gevolg zijn van het relatief hoge leemgehalte in de laag direct onder de wortelzone.

De iWp/Hn21 is op te vatten als een veenkoloniale grond, die zover versleten is dat alleen een veenkoloniaal dek overblijft. Hij komt veel voor in de andere Veenkoloniën en op de overgangen van veenkoloniale grond naar zandgrond. Doordat de laag direkt onder de bouwvoor leemarm is, heeft hij slechte capillaire eigenschappen en is daardoor droogtegevoelig.

Het Hn21-profiel is qua ondergrond gelijk aan het iWp/Hn21-profiel; heeft echter een minder goede wortelzone. Desondanks is de reductie iets lager. Dit wordt veroorzaakt door het feit, dat de hierbij

aangenomen waarde voor een constant peil 30 cm hoger ligt dan voor profiel 8 in tabel 2.2 staat aangegeven (resp. 120 cm -mv en 150 cm -mv). Hieruit valt af te leiden, dat profiel 8 te diep ontwaterd is. Dat Hn21 met lichte wegzijging (profiel 9) een hogere $\overline{T}_o$-waarde heeft dan Hn21 zonder wegzijging (profiel 10) komt doordat eerstgenoemd profiel met name in 1980 minder wateroverlast heeft.
Het zVz-profiel tenslotte komt ook uit op een vrij grote verdampingsreductie, eveneens veroorzaakt door slechte capillaire eigenschappen. De indruk bestaat echter, dat in de praktijk deze grond wat beter is, hetgeen ook af te leiden is uit warmtebeelden van 4 augustus 1982 (VAN POELJE e.a., 1983).

ii. Conserveringseffecten ($\Delta\bar{T}_c$)

Het conserveringseffect van de meeste profieltypen is slechts enkele mm's. Dit is lager dan op grond van eerdere berekeningen verwacht kon worden. De verklaring hiervoor is dat bij de berekening van de verdamping bij conservering, een lager winterpeil wordt aangehouden dan in de situatie van constant peil. Dit heeft een droger profiel in het voorjaar tot resultaat met als consequenties een minder koude grond en een betere bewerkbaarheid enerzijds, anderszijds minder beschikbaar vocht voor het groeiseizoen. Bij de berekening wordt dit laatste effect volledig meegenomen; het eerste effect alleen via het aantal werkbare dagen in het voorjaar. Op grond van dit laatste criterium zou bij een aantal gronden het winterpeil bij conservering niet lager behoeven te zijn dan bij constant peil, alleen bij profieltype 6 zien we het positieve effect van verlaagd winterpeil.

Bij profieltype 8 is het winterpeil bij conservering 10 cm hoger aangenomen dan bij constant peil (zie tabel 2.1). We zien hier wel de verwachte toename in verdamping van 11 mm.

Vergelijking van T_c-waarden voor verschillende combinaties van drainageweerstand en kwel/wegzijging laat zien dat bij de iWp-grond

- er nauwelijks verschil is in de gewasverdamping tussen een weerstand van 100 d of 200 d; pas bij 400 d treedt er enige reductie op (8 mm)
- wegzijging van 0,5 mm/d bij τ = 200 d enige droogteschade tot gevolg heeft, terwijl kwel van 0,5 mm/d bij τ = 200 d, de verdampingsreductie licht doet afnemen (4 mm).

Bij de Hn21-grond ziet men dat wegzijging van 0,5 mm/d bij τ = 400 d zorgt voor een toename van de verdamping met circa 3 mm door vermindering van de wateroverlast. Ook hier geeft een hogere drainageweerstand enige verdampingsreductie.

Bij de zVz-grond geeft een kwel van 1 mm/d bij τ = 200 d een toename van de verdamping met circa 12 mm. Opvallend bij deze bodemkundig-hydrologische eenheid is het grote conserveringseffect van 19,4 mm. Dit is in overeenstemming met de praktijk-

ervaring in 'De Veenmarken': gronden met een behoorlijke kwel reageren goed op peilbeheer, omdat hierbij veel minder het gevaar bestaat dat men te laat het peil in het voorjaar opzet. Ook tijdens de zomer zorgt de kwelstroming voor een snelle reactie van de grondwaterstand op verandering in het open waterpeil.

iii. Aanvoereffecten ($\Delta\bar{T}_{0,75}$, $\Delta\bar{T}_{1,5}$ en $\Delta\bar{T}_{2,5}$)

Zoals reeds eerder gesteld bestaat het effect van wateraanvoer op de gewasverdamping uit het verschil met de gewasverdamping bij conservering. Doordat verder met 3 aanvoercapaciteiten is gerekend is het mogelijk een relatie te bepalen tussen aanvoercapaciteit en aanvoereffect. In fig. 2.5 is dit grafisch weergegeven voor de verschillende eenheden. De lijnen zijn op het oog door de oorsprong en de 3 berekende punten getrokken. Wat duidelijk naar voren komt is de Wet van de afnemende meeropbrengsten: het vergroten van de aanvoercapaciteit met een zekere eenheid geeft een steeds kleiner effect op de gemiddelde gewasverdamping. Het zal duidelijk zijn, dat hiermee de mogelijkheid wordt geopend om een optimale aanvoercapaciteit te kiezen. Dit zal in het volgende hoofdstuk aan de orde komen.

Kijken we naar de invloed van het bodemtype op het aanvoereffect, dan vallen een aantal zaken op:

- Ondanks grote verschillen in bodemfysische eigenschappen zijn de aanvoereffecten ongeveer gelijk (vergl. profieltype (5) met (9) of gemiddelde van (2) en (3) met (8)). Dit is als volgt te verklaren. De capillaire eigenschappen van de ondergrond vormen een belangrijke kraan in de stroming van water uit de wijken en sloten naar het gewas. Zijn deze eigenschappen gunstig dan is in principe met peilbeheer veel te verdienen. Echter de 'beleidsruimte' van zulke gronden is veel minder omdat reeds in de situatie zonder peilbeheer de gewasverdamping dicht in de buurt zit van het potentiële niveau. Er kan namelijk geput worden uit de ondergrond (met als gevolg diepe grondwaterstanden aan het einde van het groeiseizoen). Bij slechte capillaire eigenschappen is

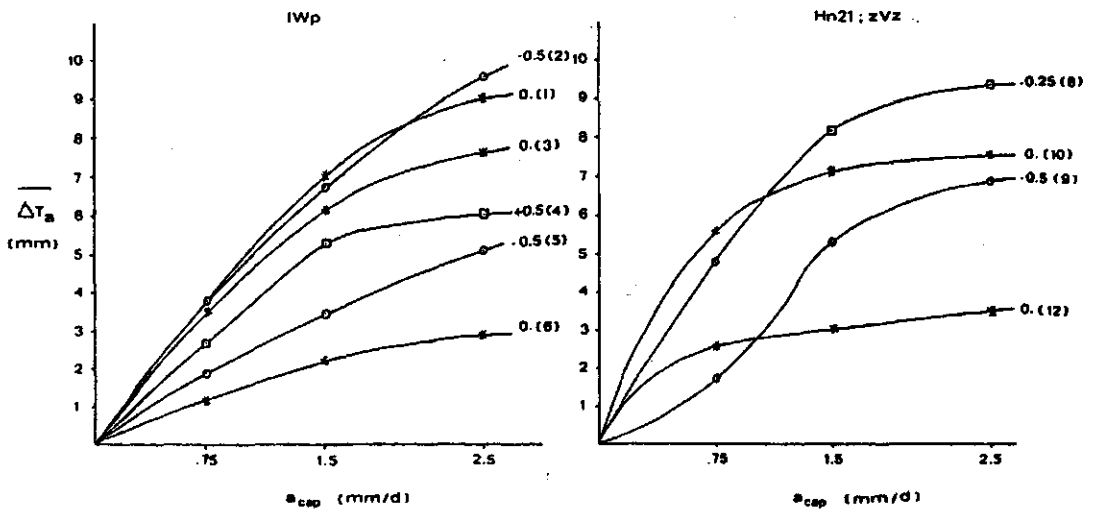


Fig. 2.5a. Het bereikte aanvoereffect als functie van de beschikbare aanvoercapaciteit ten behoeve van infiltratie. De getallen tussen haakjes verwijzen naar de profiel nrs. van tabel 2.2

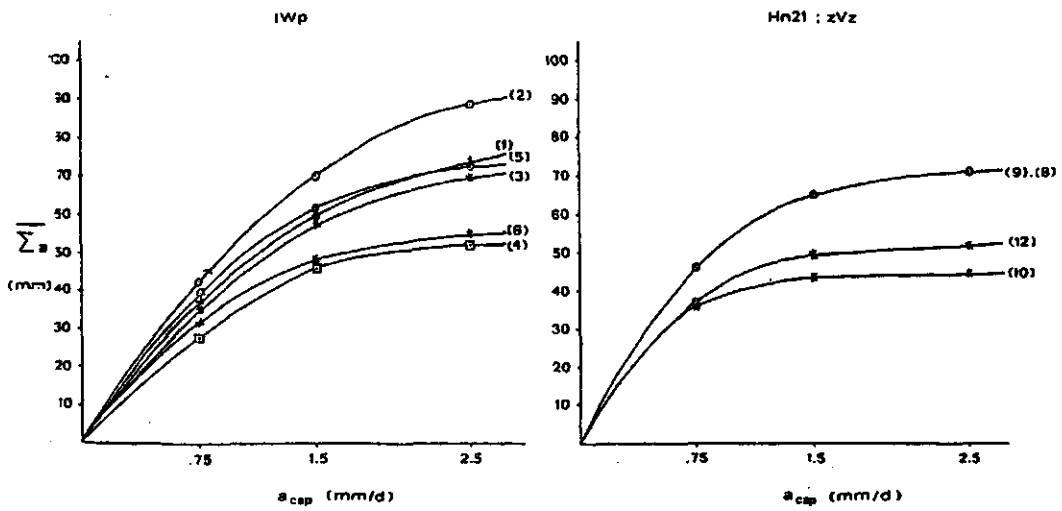


Fig. 2.5b. De gemiddelde seizoenaanvoerbehoefte horend bij de in fig. 2.5a weergegeven aanvoereffecten

de 'beleidsruimte' veel groter; echter nu vormen de capillaire opstijgingsmogelijkheden een belangrijke belemmering. Door voor de laag direct onder de wortelzone o f zwak lemig zand te nemen o f leemarm zand, worden beide 'uitersten' meegenomen, met als gevolg weinig verschil in aanvoereffect. Te verwachten valt echter dat hiertussen zich een, uit het oogpunt van peilbeheer, ideale grond zal bevinden, met te slechte capillaire eigenschappen om zonder aanvulling van het grondwater vanuit de wijken of sloten de capillaire stroming lang genoeg op een acceptabel niveau te handhaven (omdat beneden een kritieke grondwaterstandsdiepte de capillaire opstijging als het ware afknapt), maar waarbij door peilbeheer de grondwaterstand boven dit niveau kan worden gehandhaafd. Deze 'ideale' grond is echter in de 5 onderscheiden bodemtypen niet vertegenwoordigd.
Uit bovenstaande blijkt wel hoe belangrijk het is om de capillaire eigenschappen van de ondergrond te kennen. Het is dan ook van groot belang om de capillaire eigenschappen berekend volgens de methode Bloemen (BLOEMEN, 1982) met metingen in het veld of het laboratorium te onderbouwen. In genoemde publicatie wordt aan dit laatste aspect de nodige aandacht geschonken. Toetsing aan veldgegevens is op indirecte en semi-kwantitatieve wijze geschied met behulp van de al eerder genoemde warmtebeelden. Dit leverde goede overeenkomsten op tussen de op die dag berekende en de uit de warmtebeelden af te leiden gewasverdamping, behalve voor profieltype 12 (zVz met kwel). Bij deze grond zijn echter nauwelijks aanvoereffecten te verwachten, zodat de invloed van foutieve capillaire eigenschappen hierop van weinig invloed zal zijn.

Aangezien het in deze studie primair gaat om de effecten van wateraanvoer,kan samenvattend gesteld worden dat de gevonden waarden van de verschillende bodemkundige eenheden een goede indicatie geven en zeker geen systematische overschatting inhouden

- Het effect van de drainageweerstand is zoals te verwachten valt. Een toename van 100 d naar 200 d geeft bij een iWp-grond

een lichte afname van het aanvoereffect, terwijl bij een drainageweerstand van 400 d het aanvoereffect bij deze grond aanzienlijk kleiner is. Bij het iWp/Hn21 en Hn21-type speelt de drainageweerstand een veel minder belangrijke rol. Hier is niet de infiltratieweerstand maar de capillaire opstijging de beperkende factor

- De invloed van de kwelsituatie is duidelijk af te lezen uit vergelijking van (2) met (4). In fig. 2.5a is te zien dat bij een wegzijging van 0,5 mm/d niet alleen het aanvoereffect groter is, maar ook dat de afnemende meeropbrengst zich pas bij een hogere aanvoercapaciteit manifesteert, dan bij een kwel van 0,5 mm/d. Bij een kwel van 1 mm/d (type (13)) wordt zelfs helemaal geen effect meer gevonden. Bij deze kwelintensiteit kan worden volstaan met alleen conservering.
- Het S-vormig verloop van de curve voor profiel 9 (zie fig. 2.5a) houdt verband met de omstandigheid dat bij geen aanvoer dit profiel in 1980 nog net geen ernstige wateroverlast heeft. De aanvoer van een luttele 20 mm heeft evenwel reeds funeste gevolgen: door de veroorzaakte wateroverlast neemt de transpiratie sterk af, waardoor de wateroverlast extra lang aanhoudt; alleen nog de ontwatering heeft een 'drogende' werking. Men kan niet achteraf zeggen dat het aanvoeren van 20 mm aan het begin van de zomer een onjuiste beslissing zou zijn geweest. De zomer van 1980 zag er aanvankelijk helemaal niet nat uit, en de kans dat het droog zou zijn gebleven was veel groter dan dat het aanhoudend nat zou worden. Men moet nu eenmaal een bepaald risico nemen, omdat het te laat beginnen met aanvoeren anders tengevolge kan hebben dat er een 'mulch' laag gevormd wordt ('het capillair opstijgingsprofiel knapt af'), waardoor de kans op aanvullende vochtvoorziening door middel van infiltratie verkeken is. De schade die in 1980 door het nemen van dit gecalculeerd risico wordt aangericht, is voor profiel 9 van dezelfde orde van grootte bij een aanvoercapaciteit van $\frac{3}{4}$, 1½ en 2½ mm/d: bij a_{cap} = 0,75 mm/d is de schade 26 mm, bij 1,5 mm/d 28 mm, en bij 2½ mm/d 29 mm. Deze schade drukt meer op de gemiddelde ΔT van een lage aanvoercapaciteit, dan van een hoge. Vandaar de S-vormige curve voor profiel 9. Het bovenbeschreven effect van 1980 is niet van toepassing op profiel 10: ook zonder aanvoer heeft dit profiel wateroverlast in dat jaar. Dat de curve voor profiel 10 in zijn geheel boven die voor profiel 9 loopt, is hier ook een gevolg van.

iv. Effectiviteiten ($\bar{e}_{0,75}$, $\bar{e}_{1,5}$ en $\bar{e}_{2,5}$)

Enkele meer specifieke punten, die met betrekking tot de effectiviteit uit de tabel naar voren komen zijn:

- het veel kleinere aanvoereffect bij een drainageweerstand van 400 d gaat niet gepaard met een evenredig lagere gemiddelde seizoensaanvoer (vgl. (3) met (6)). Dit is te verklaren met het effect van de berging in het wijkenstelsel. Om een aanvoer van bijvoorbeeld 1,5 mm/d te laten infiltreren moet het peilverschil tussen het water in de wijken en de grondwaterspiegel midden tussen de ontwateringsmiddelen 30 cm bedragen bij een drainageweerstand van 200 d en 60 cm bij een weerstand van 400 d. Bedenkt men dat in het wijkgebied het percentage open water circa 4% is, dan volgt hieruit dat bij een weerstand van 400 d

  0,04 x(60-30) cm = 12 mm 'schijf'

  extra water aangevoerd moet worden voordat de gewenste infiltratie plaatsvindt. Bij een aanvoercapaciteit van 1,5 mm/d zijn hier acht extra dagen van aanvoeren mee gemoeid
- toename van de aanvoercapaciteit bij eenzelfde eenheid geeft geen noemenswaardige verandering in de effectiviteit, behalve bij (9) en in lichtere mate bij nr. (5). We zien hier toenemende effectiviteit bij toename van de aanvoercapaciteit. De verklaring hiervoor is wederom de berging in het wijkenstelsel: bij hogere aanvoercapaciteiten wordt de verliespost 'water in het wijkenstelsel' relatief minder belangrijk
- het effect van kwel op de effectiviteit komt duidelijk naar voren bij vergelijking van (9) en (10). Bij gronden met wegzijging zal inderdaad meer van het aangevoerde water naar de ondergrond verdwijnen; bijgevolg een lagere effectiviteit.

v. Algemene opmerkingen

Tot slot enkele overwegingen betreffende (mogelijke) toekomstige ontwikkelingen die van invloed kunnen worden op de effecten van wateraanvoer.

- Uit de resultaten is af te leiden wat de invloed is van een lagere infiltratieweerstand op het aanvoereffect bij een iWp-profiel (vergelijk profiel 5 met profiel 3 of profiel 3 met profiel 1). Bij een aanvoercapaciteit van 1,5 mm/d zijn deze effecten respectievelijk 2,2 mm (T = 400 d), 6,2 mm (T = 200 d) en 7,0 mm (T = 100 d). Deze cijfers zijn echter berekend met een peilbeheer dat is afgestemd op een gemiddelde waarde van de infiltratieweerstand. Bij een lagere infiltratieweerstand kan echter 'scherper' worden beheerd, doordat het grondwatersysteem veel sneller reageert op veranderingen in het open water peil. Daardoor kan bijvoorbeeld in het groeiseizoen het open water peil eerder worden opgezet en kan langer worden doorgegaan met het zomerpeil, omdat bij eventueel omslaan van het weer toch het overtollige water kan worden afgevoerd. Dit scherpere beheer zal dus groter aanvoereffecten tot gevolg hebben zonder dat daar extra wateroverlast tegenover staat. Indien nu door middel van het aanleggen van drainage ten behoeve van zowel afvoer als infiltratie de drainageweerstand zou worden verkleind dan zou hiermee in principe een veel groter aanvoereffect te behalen zijn, met name bij versleten veenkoloniale profielen.

  De juistheid van bovengenoemde uitspraak wordt op zeer duidelijke manier geïllustreerd met de warmtebeelden van 4 augustus 1982. Daarop is het perceel te zien dat na ontgronding is geëgaliseerd en gedraineerd. De hoogteligging van dit perceel is circa 70 cm boven zomer stuwpeil en de drains liggen in de zomer onder water. De temperatuur van het erop groeiende gewas was tijdens de opname veel lager dan de temperaturen van de in de nabijheid groeiende gewassen op niet ontgronde en niet gedraineerde percelen. Zoals bekend betekent een lagere temperatuur een hogere verdamping. De deskundigen zijn het er echter op dit moment nog niet over eens of het drainagesysteem bij

gebruik als infiltratiemiddel niet versneld in functie achteruit zal gaan. Veldproeven (o.a. in De Groeve) zullen hierover uitsluitsel moeten geven. Met name is de vraag relevant of door middel van extra onderhoud het goed functioneren gehandhaafd kan blijven.

- Vochtleverend vermogen van de veenkoloniale gronden in de toekomst.

  In par. 2.2 op blz. 14 is aangegeven dat bij de berekening van de wateraanvoerbehoefte wordt uitgegaan van het gegeven dat gewenste grondverbeteringen (veelal mengwoelen of breken van storende lagen) zijn uitgevoerd of in de nabije toekomst worden uitgevoerd. Hiervan uitgaande is het voor gemengwoelde veenkoloniale gronden van belang enig inzicht te verkrijgen in de bodemvocht-leverantie na circa 30 jaar. Verwacht mag namelijk worden dat het organische stofgehalte van deze gronden, en daardoor het vochtleverend vermogen in de loop der jaren zal afnemen.

  Te berekenen valt dat voor de meest voorkomende gemengwoelde bodemtypen het verlies aan organische stof in een periode van ruim 30 jaar uitmondt in een verlies van circa 25 mm beschikbaar vocht. De aanvoerbehoefte zal hierdoor in de toekomst stijgen.

2.6.2. Reductie voor ongelijke maaiveldsligging

Binnen een peilvak zullen de variaties van de grondwaterstand gering zijn,door de goede doorlatendheid van de zandondergrond. Alleen in de nabijheid van de begrenzingen zullen er afwijkingen zijn door de invloed van naastgelegen peilvakken.

Tijdens een droge zomer zullen de lagere gedeeltes beter van water zijn voorzien dan de hogere gedeeltes: de sterkere capillaire opstijging in de lagere gedeeltes veroorzaakt een locale grondwaterstroming binnen het peilvak.

Tijdens een natte zomer als die van 1980 is het onvermijdelijk dat de lagere gedeeltes wateroverlast hebben. Nu kan er een locale grondwaterstroming in omgekeerde richting zijn, van de lagere naar de hogere gedeeltes: in de lagere gedeeltes is er transpiratiereductie door zuurstofgebrek, terwijl de verdamping vrijwel potentiëel is in de hogere gedeeltes.

Het zal duidelijk zijn, dat het buitengewoon moeilijk is de invloed van ongelijke maaiveldsligging te kwantificeren. Om enig idee te krijgen is de volgende procedure gevolgd:
de voor profiel 3 (iWp; T = 200 d; kwel = 0) berekende grondwaterstanden (1971 t/m 1982) zijn gebruikt als randvoorwaarde bij berekeningen voor de lagere en hogere gedeeltes: voor de lagere gedeeltes is er 20 cm bij opgeteld (90 cm boven zomerpeil wordt 70 cm), voor de hogere gedeeltes is er 40 cm van afgetrokken (90 cm wordt 130 cm). Dit is gedaan voor zowel conservering als aanvoer (bij een a_{cap} = 1,5 mm/d). De verkregen resultaten zijn weergegeven in tabel 2.5.

Tabel 2.5. Invloed van ongelijke maaiveldsligging op de gewasverdamping, bij conservering ($\bar{T}_c$) en aanvoer ($\bar{T}_{1,5}$)

	Maaiveldsligging (cm boven zomerpeil)		
	70	90	130
$\bar{T}_{pot}$ (mm)	312	312	312
$\bar{T}_c$ (mm)	297,5	290,2	259,8
$\bar{T}_{1,5}$ (mm)	299,5	296,4	260,5
$\Delta\bar{T}_{1,5}$ (mm)	2,0	6,2	0,7

Doordat de lagere gedeeltes reeds een hoge gemiddelde verdamping hebben bij 'conservering', is het te bereiken effect met aanvoer minder groot.

De reductie van het aanvoereffect op de verdamping in de hogere gedeeltes heeft een andere oorzaak: beneden een bepaalde diepte heeft het verhogen van de grondwaterstand (met circa 25 cm) geen effect doordat de capillaire opstijging de vereiste hoogte nog steeds niet kan overbruggen.

Omdat een iWp-grond relatief gunstige capillaire eigenschappen heeft is het aannemelijk dat het 'optimum' een breedte heeft van 20 cm: het effect bij een ligging van 90 cm boven zomerpeil zal ook gelden voor het traject 90-110 cm.

Omdat zowel in de lagere gedeeltes als in de hogere gedeeltes de toename van de capillaire opstijging door aanvoer minder is dan in het traject 90-110 zal er minder water aangevoerd hoeven worden om de effecten van tabel 2.5 te bewerkstelligen. Men kan ook zo redeneren: bij een aanvoercapaciteit van 1,5 mm/d is er effectief meer seizoenaanvoer beschikbaar voor het 'optimale' traject (90-110 cm) dan door tabel 2.3 (en fig. 2.5) aangegeven wordt. Uit berekende gegevens betreffende de toename van de capillaire opstijging naar de wortelzone als gevolg van aanvoer (deze toename van de capillaire opstijging moet men niet verwarren met de toename van de gewasverdamping) is geschat dat het aanvoereffect op het traject 90-110 cm boven zomerpeil 10% hoger is dan de in tabel 2.4 vermelde 6,2 mm.
De bovenbeschreven overwegingen resulteren in een correctielijn voor de ongelijke maaiveldsligging (fig. 2.6).
Deze correctielijn moet gecombineerd worden met een histogram van de maaiveldsligging. Een 'representatief' histogram is verkregen uit de hoogtecijfers in het peilvak van fig. 2.3. Deze hoogtecijfers zijn eerst lichtelijk gecorrigeerd voor het in par. 2.2 genoemd effect van grondwaterstroming tussen naastgelegen peilvakken. De standaardafwijking van de maaiveldsligging bedraagt nog altijd circa 23 cm; het gemiddelde van de in tabel 2.5 gegeven frequentieverdeling ligt bij 104 cm boven zomerpeil.

De aldus berekende reductiefactor voor de ongelijke maaiveldsligging bedraagt 25%. Met nadruk wordt gesteld dat dit een globale raming betreft. Hoewel de verschillende bodemkundig-hydrologische eenheden van tabel 2.1 een variërende gevoeligheid voor de ongelijke maaiveldsligging zullen hebben, wordt toch de genoemde reductiefactor aangehouden voor alle profielen.

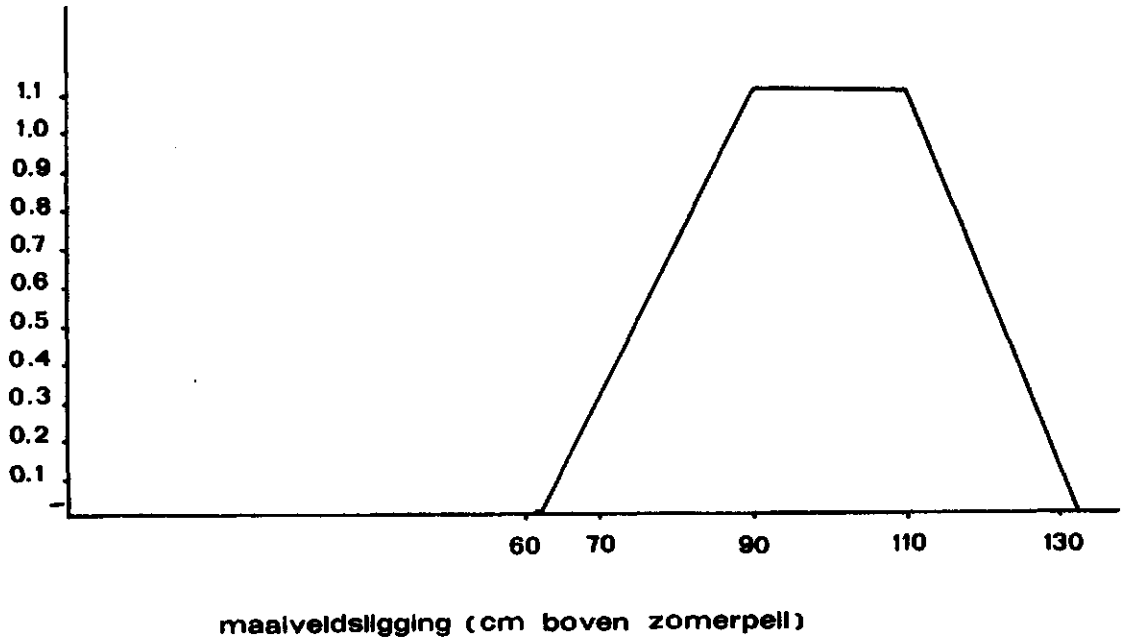


Fig. 2.6. Correctiefactor voor de aanvoereffecten van tabel 2.4, als functie van de maaiveldsligging boven zomerpeil

Tabel 2.5. Berekening van de correctiefactor voor de ongelijke maaiveldsligging.
Het gewogen gemiddeld wordt berekend op 0,74

maaiveldsligging (cm+zomerpeil)	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	>150
frequentie (-)	1	0	9	13	37	36	44	27	24	5	13	8
correctiefactor	0.	0.	0.1	0.5	0.9	1.1	1.1	0.8	0.4	0.	0.	0.

3. OMREKENING VAN VERHOGING GEWASVERDAMPING NAAR GELDELIJKE OPBRENGST

3.1. Baten landbouw bij infiltratie

Ten behoeve van het grondwaterplan Drenthe, de uitwerking van het tussen-10-plan uit 'Water naar Drenthe', en de wateraanvoer naar de herinrichting, was het noodzakelijk inzicht te krijgen in de potentiële produkties, opbrengstdervingen en prijzen voor verschillende gewassen.

Hiertoe is overleg gevoerd tussen deskundigen van de Landinrichtingsdienst Provinciale Directie voor de Bedrijfsontwikkeling in Drenthe, de Provinciale Waterstaat in Drenthe en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. De resultaten van dit overleg zijn in de hierna volgende paragrafen weergegeven.

3.1.1. Potentiële opbrengsten

a) Gras

Bruto potentiële opbrengst

De bruto potentiële opbrengst van gras in een modaal jaar (50% jaar) bedraagt onder optimale groeiomstandigheden ongeveer 14 ton ds/ha

Netto potentiële opbrengst

Onder normale bedrijfsomstandigheden kan een landbouwer bovenstaande bruto opbrengst (proefveldresultaten) niet behalen. Daarom moeten verliesposten in rekening worden gebracht.

De verliezen kunnen in 2 componenten worden gescheiden:

- 1. verliezen tengevolge van een niet-optimaal maai- en beweidingstijdstip
- 2. verliezen tengevolge van vertrapping of conservering.

Voor elk van deze componenten moet 20% in rekening worden gebracht.

ad 1) omdat onder bedrijfsomstandigheden met een beweidingsplan wordt gewerkt, kan zelden van optimale groeiperiodes worden geprofiteerd (20% reductie)

ad 2) in het geval een perceel beweid wordt, moet afhankelijk van de veebezetting rekening worden gehouden met grote vertrappingsverliezen, terwijl in geval van inkuilen of hooien met conserveringsverliezen rekening moet worden gehouden (eveneens 20% reductie).

b) Aardappelen

Netto potentiële productie

In 'Water naar Drenthe' is uitgegaan van een gemiddeld potentiële productie van 50 à 55 ton/ha.

Recente onderzoekingen tonen aan, dat proefveldopbrengsten tot 85 ton/ha mogelijk zijn, terwijl theoretisch 100 ton/ha zelfs haalbaar zou zijn.

Voorgesteld wordt voor Drenthe in een gemiddeld jaar een netto potentiële productie van 55 ton/ha (uitbetalingsgewicht) aan te houden.

3.1.2. Opbrengstdervingen

a) Gras

Uit de door VAN BOHEEMEN (1981) bewerkte proefveldresultaten blijkt dat de meeropbrengsten bij een bruto potentiële productie van 14 ton ds/ha ongeveer 30 kg ds $mm^{-1}ha^{-1}$ bedragen.
Wanneer hierop de verliezen in rekening worden gebracht (2 x 20%), dan bedraagt de opbrengstderving ± 20 kg ds $mm^{-1}ha^{-1}$ vochttekort.

b) Fabrieksaardappelen

In 'Water naar Drenthe' is hiervoor 190 kg $mm^{-1}ha^{-1}$ vochttekort aangehouden.
De meest recente onderzoeken van het ICW wijzen ook in deze richting. Uit proefveldresultaten is gebleken dat de meeropbrengsten $mm^{-1}ha^{-1}$ in de onberegende situatie zelfs groter zijn dan in de beregende situatie, met andere woorden de totale groeiomstandigheden zijn in de onberegende situatie beter op elkaar afgestemd.
Voorgesteld wordt voor het grondwaterplan 170 kg $mm^{-1}ha^{-1}$ vochttekort vast te stellen. Dit bedrag is gedestilleerd uit de meest recente onderzoeksresultaten, welke volgens deskundigen van het PAGV en het ICW het meest bruikbaar zijn in de Drentse situatie.

3.1.3. Prijzen

De hierna genoemde prijzen zijn exclusief BTW.

a) Gras

De prijs van ruwvoer variëert nogal in de verschillende jaren, afhankelijk van het aanbod en het soort ruwvoer.
De prijs van krachtvoer is echter vrij stabiel.
Omdat vooral in droge jaren de kans groot is, dat opbrengstdervingen aangevuld moeten worden met krachtvoer en duur ruwvoer is door deskundigen van Landinrichtingsdienst en consulentschappen een gemiddelde prijs voor een kg ds gras vastgesteld op basis van de prijs van droge jaren. Deze prijs bedraagt ƒ 0,40/kg ds gras (prijspeil 1982). Eén mm vochttekort correspondeert met 20 kg ds gras/ha of ƒ 8,- per mm/ha.

b) Aardappelen

De prijs van fabrieksaardappelen is vrij stabiel. Deze bedraagt ƒ 0,14/kg (prijspeil 1982).

Een mm vochttekort correspondeert dus met ha 170 kg/ha aardappelen of ƒ 24 per mm/ha.

3.1.4. Aanvullende gegevens ten behoeve van granen en suikerbieten

Granen

In 'Water naar Drenthe' is een gemiddelde meeropbrengst per ha per mm aanvullende vochtvoorziening berekend van 18,5 kg korrel en 17,0 kg stro. Deze uitkomsten stemmen ook redelijk overeen met cijfers uit HELLINGS (1980).

De prijs voor korrel (prijspeil 1982) bedraagt ƒ 0,46 per kg en voor stro ƒ 0,08 per kg. Dit betekent voor graan per ha per mm aanvullende vochtvoorziening 18,5 x ƒ 0,46 + 17,0 x ƒ 0,08 = ƒ 9,90, afgerond ƒ 10,-- per mm/ha.

Bieten

In 'Water naar Drenthe' is als meeropbrengstnorm voor bieten, bij gebrek aan voldoende onderzoeksresultaten, eenzelfde waarde aangehouden als voor aardappelen, te weten 190 kg/mm/ha. Uit HELLINGS (1980) blijkt eveneens een meeropbrengst van 190 kg/ha.

De prijs van bieten (prijspeil 1982) is echter lager dan van aardappelen, te weten ƒ 0,11 per kg. Voor suikerbieten geldt dan 190 x ƒ 0,11 = ƒ 21,- per mm per ha aanvullende vochtvoorziening.

Over de prijzen heeft overleg plaatsgevonden met de afdeling Landbouw Economisch Onderzoek van de Landinrichtingsdienst en Bedrijfsontwikkeling.

Op basis van het veenkoloniaal bouwplan

45% aardappelen

30% granen

25% bieten

betekent dit een opbrengstderving van

0,45 x ƒ 24,- + 0,25 * ƒ 21,- + 0,30 x ƒ 10,- = ƒ 19,- (excl.BTW) per mm/ha.

3.1.5. Overige factoren

Een aantal factoren zijn nog niet genoemd.

Met '(+)' wordt aangegeven dat de factor een verhogend effect heeft op de geldelijke opbrengst, met '(-)' wordt een verlagend effect aangegeven.

a) Lengte groeiseizoen (+)

Het model SWATRE bevat geen terugkoppeling van de vochtvoorziening naar de toestand van het gewas: gerekend wordt met een 'representatieve' reeks gewasgegevens. In werkelijkheid heeft een betere vochtvoorziening een langer groeiseizoen tot gevolg.

b) Oogstzekerheid (+)

Aanvullende vochtvoorziening heeft behalve op de gemiddelde gewasproductie ook een gunstige invloed op de oogstzekerheid. Het gaat hier evenwel om een effect dat moeilijk te kwantificeren is.
Een indruk geeft de variatie van:

$$\frac{\bar{T}_{act}}{\bar{T}_{pot}} = \frac{\text{gemiddelde werkelijke gewasverdamping}}{\text{gemiddelde potentiële gewasverdamping}}$$

De iWp-grond met een drainageweerstand van 200 d geeft het volgende beeld te zien:

Jaar	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.	σ
cons. T_c/T_p	0,91	0,98	0,95	0,99	0,87	0,77	0,94	0,99	0,99	0,96	1,00	0,92	0,939	0,066
aanv. $T_{1,5}/T_p$	0,05	0,98	0,95	1,00	0,93	0,84	0,98	0,99	0,99	0,93	1,00	0,95	0,958	0,045

In dit geval neemt de 'spreiding' van T/T_{pot} met 50% af.

c) Dampdeficiet van de lucht (-)

Het effect van een mm extra gewasverdamping hangt af van het dampdeficiet van de lucht: hoe hoger het dampdeficiet, hoe korter de extra tijd dat de huidmondjes open kunnen staan om extra diffusie van CO_2 mogelijk te laten zijn

d) Potentiële en actuele opbrengst (+)

In de huidige landbouwpraktijk worden de potentiële opbrengsten van 50 à 55 ton gemiddeld niet gehaald, ook als er geen droogteschade is. Te verwachten valt echter dat door een betere bedrijfsvoering in de toekomst dit opbrengstniveau wel gehaald zal worden. Theoretisch is het namelijk mogelijk te komen tot circa 85 ton.

e) Bruto en netto opbrengst (-)

Hogere opbrengsten brengen ook enige extra kosten met zich mee. Vlg. SLOTHOUWER (1982) bedragen deze voor aardappelen circa 0,50 cent per kg oftewel 3,5%.

Vooral a) en b) zijn belangrijk, zodat het niet kwantificeren van de hierboven vermelde factoren eerder een onder- dan een overschatting van de economische baten tengevolge heeft.

4. KOSTEN-BATEN ANALYSE EN BEPALING AANVOERHOEVEELHEDEN VOOR DE LANDBOUW

Dit hoofdstuk is uitsluitend bedoeld als beschrijving van de gebezigde rekenwijze. Als voorbeeld is genomen het Drentse deel van de herinrichting. Niet beschreven wordt hoe bepaalde kostenparameters (bijvoorbeeld pompkosten/m^3) verkregen zijn. Hiervoor wordt verwezen naar het eindrapport van de werkgroep wateraanvoer.

4.1. Batenberekening voor de verschillende aanvoergebieden

Bij het maken van een batenberekening doet zich het probleem voor dat in het de in tabel 2.2 opgesomde bodemkundig-hydrologische eenheden meestal niet ruimtelijk gescheiden zijn op het aggregatieniveau van het peilvak. Alle gronden binnen een peilvak ondergaan eenzelfde peilbeheer en eenzelfde peilverloop.
Dit heeft tot gevolg, dat op plaatsen waar de infiltratieweerstand naar verhouding laag is, er meer water zal infiltreren dan door tabel 2.4 aangegeven wordt.
Navenant zal er minder water infiltreren op plaatsen waar de infiltratieweerstand hoog is. Daar staat tegenover dat de zeer doorlatende zandondergrond geen belemmering vormt voor het stromen van water van gebieden met lage infiltratieweerstand naar gebieden met hoge weerstand: dat water de weg van de minste weerstand kiest zou wel eens belangrijker kunnen zijn dan het locaal voorkomen van hoge infiltratieweerstanden.
Om deze reden werd het toch geoorloofd geacht bij de baten berekening het gemiddelde aanvoereffect in een peilvak te berekenen als een g e w o g e n gemiddelde van de effecten die horen bij de voorkomende bodemkundige-hydrologische eenheden.

Het was niet doenlijk de berekening per peilvak te verrichten. Daarom is er gekozen voor een berekening per 'aanvoergebied'. Voor het Drentse deel betreft dit de aanvoergebieden 1 t/m 7. Bij de batenberekeningen voor de afzonderlijke aanvoergebieden is van de volgende gegevens en informatie gebruik gemaakt.

- De oppervlakten van de voorkomende bodemkundig-hydrologische eenheden
- de gegevens van tabel 2.4
- in het wijkengebied wordt circa 10% van de oppervlakte ingenomen door open water, wegen en verspreid liggende bebouwing (waar het infiltratiewater ook onderkruipt). De aanvoereffecten moeten daarom met 10% gereduceerd worden. De aanvoereffecten voor gronden in het 'slotengebied' (de hogerliggende ruggen) worden slechts met 5% gereduceerd in verband met het geringer percentage open water.

De gemiddelde seizoenaanvoerbehoeften hoeven niet gecorrigeerd te worden: de open water verdamping is reeds verdisconteerd

- voor de ongelijke maaiveldsligging wordt een reductie van 25% toegepast (zie ook par. 2.6.2)
- één mm gewasverdamping wordt geacht overeen te komen met een geldelijke opbrengst van *f* 19,- per ha voor 'bouwland' en *f* 8,- per ha voor grasland (zie par. 3.1).
  In het Drentse deel wordt de aanwezige oppervlakte van 'veengrond met kwel' (nr. 13 van tabel 2.2) verondersteld als grasland in gebruik te zijn. Uit tabel 2.4 blijkt, dat het geen enkel nut heeft dit type grond aanvullend van vocht te voorzien. In het Drentse deel zijn veengronden met kwel ruimtelijk goed gescheiden van de rest. In de praktijk is het daardoor mogelijk deze gronden uit te sluiten van watervoorziening. De oppervlakte grasland die na aftrek van de oppervlakte veengrond overblijft wordt geacht de eerder genoemde *f* 8,-- per ha per mm verdamping op te leveren.
- ook bodemkundig-hydrologische eenheid nr. 11 is ruimtelijk gescheiden van de rest. In verband met de zeer hoge infiltratieweerstand wordt deze eenheid uitgesloten van vochtvoorziening door middel van infiltratie (zie ook tabel 2.4). Wel komt een deel van deze gronden in aanmerking voor beregening (zie ook par. 3.2)
- de 'variabele kosten' (pomp- en bedieningskosten) zijn berekend op 0,0349 fl/m^3 voor aanvoergebieden 2 t/m 7 en 0,0287 fl/m^3 voor aanvoergebied 1. (excl. BTW)

Tabel 4.1 is een voorbeeld van hoe de batenberekening per aanvoergebied is verricht.

- De oppervlakte van bodemkundig-hydrologische eenheid nr. 2 (zie ook tabel 2.2) bedraagt 2 812 ha
- bij een aanvoercapaciteit van 0,75 mm/d is het te verwachten langjarig gemiddelde van het aanvoereffect 3,7 mm (zie tabel 2.4, of fig. 2.5a)
- vermenigvuldigd met het omrekenbedrag van *f* 19,--/mm/ha en gereduceerd met 10% voor de niet door gewas ingenomen oppervlakte en met 25% voor de ongelijke maaiveldsligging geeft dit een aandeel in de bruto baten van

  $2812 \times 3{,}7 \times 19 \times 0{,}9 \times 0{,}75 = 133{,}5 \times 10^3$ fl

Tabel 4.1. Voorbeeld van netto-baten berekening voor het infiltratiedeel van een aanvoergebied

Aanvoergebied 5

Bod.-hydr. eenheid	Opp. (ha)	Gem. baten (10^3 fl) a_c=.75	a_c=1,5	a_c=2,5	Gem. seiz.aanvoer ($10^3 m^3$) a_c=.75	a_c=1,5	a_c=2,5	*
2	2 812	133,5	241,6	346,3	1 181	1 967	2 476	
3	10 156	455,9	807,6	990,0	3 554	5 789	7 008	
4	5 756	191,9	391,3	443,0	1 612	2 648	2 993	
8	702	42,3	73,8	83,7	330	449	498	
10	574	42,8	55,2	58,3	207	247	253	
12	1 044	34,8	40,2	46,9	376	512	543	
	21 044							
bruto baten →		901,2	1 609,7	1 968,2	7 260	11 612	13 771	
totale					x0,0349	x0,0349	x0,0349	
var. kosten →		274,4	426,3	501,6	253,4	405,3	480,6	← var.kosten primair systeem
					21.	21.	21.	← var. kosten sec. systeem
netto baten →		626,8	1 183,4	1 466,6	274,4	426,3	501,6	← totale var. kosten

Deze berekening wordt verricht voor alle in het aanvoergebied voorkomende bodemkundig-hydrologische eenheden, voor drie waarden van de beschikbare capaciteit

- de gemiddelde seizoenaanvoerbehoefte wordt berekend door respectievelijk oppervlakten van de bodemkundig-hydrologische eenheden te vermenigvuldigen met de in tabel 2.4 aangegeven 'mm-schijf' Eenheid nr. 2, bijvoorbeeld, heeft bij een aanvoercapaciteit van 0,75 mm/d een gemiddeld te verwachten seizoen-aanvoerbehoefte van 2812 (ha) x 42 (mm) = 1181 x 10^3 m^3.
  Deze berekening wordt verricht per eenheid, voor drie verschillende waarden van de beschikbare aanvoercapaciteit
- totalisatie van alle kolommen geeft voor de drie waarden van de aanvoercapaciteit de g e m i d d e l d te verwachten b r u t o baten en de respectievelijk daarvoor benodigde seizoenaanvoer
- de seizoenaanvoer vermenigvuldigd met het omrekenbedrag van *f* 0,0287/m^3 respectievelijk *f* 0,0349/m^3 geeft de variabele kosten die gemaakt worden in het primaire systeem
- ook in de secundaire systeem worden kosten gemaakt. Deze worden gesteld op *f* 1,-- per ha, onafhankelijk van de gemiddelde seizoenaanvoer: er moet toezicht gehouden worden, ook wanneer er geen daadwerkelijke aanvoer plaatsvindt
- de netto baten worden berekend door de bruto baten te verminderen met
  . de variabele kosten in het primaire systeem
  . de variabele kosten in het secundaire systeem
- in het voorbeeld is een correctie voor grasland niet nodig omdat er in het aanvoergebied meer veengrond met kwel voorkomt dan grasland.

4.2. Berekening van het investeringseffect en de aanvoercapaciteit

In fig. 4.1a zijn voor aanvoergebied 5 (met een oppervlakte van 21 044 ha) de gemiddeld te verwachten netto baten en de vereiste investering uitgezet tegen de aanvoercapaciteit. De verticale schaal voor de investering scheelt een factor 10 met die voor de netto baten.

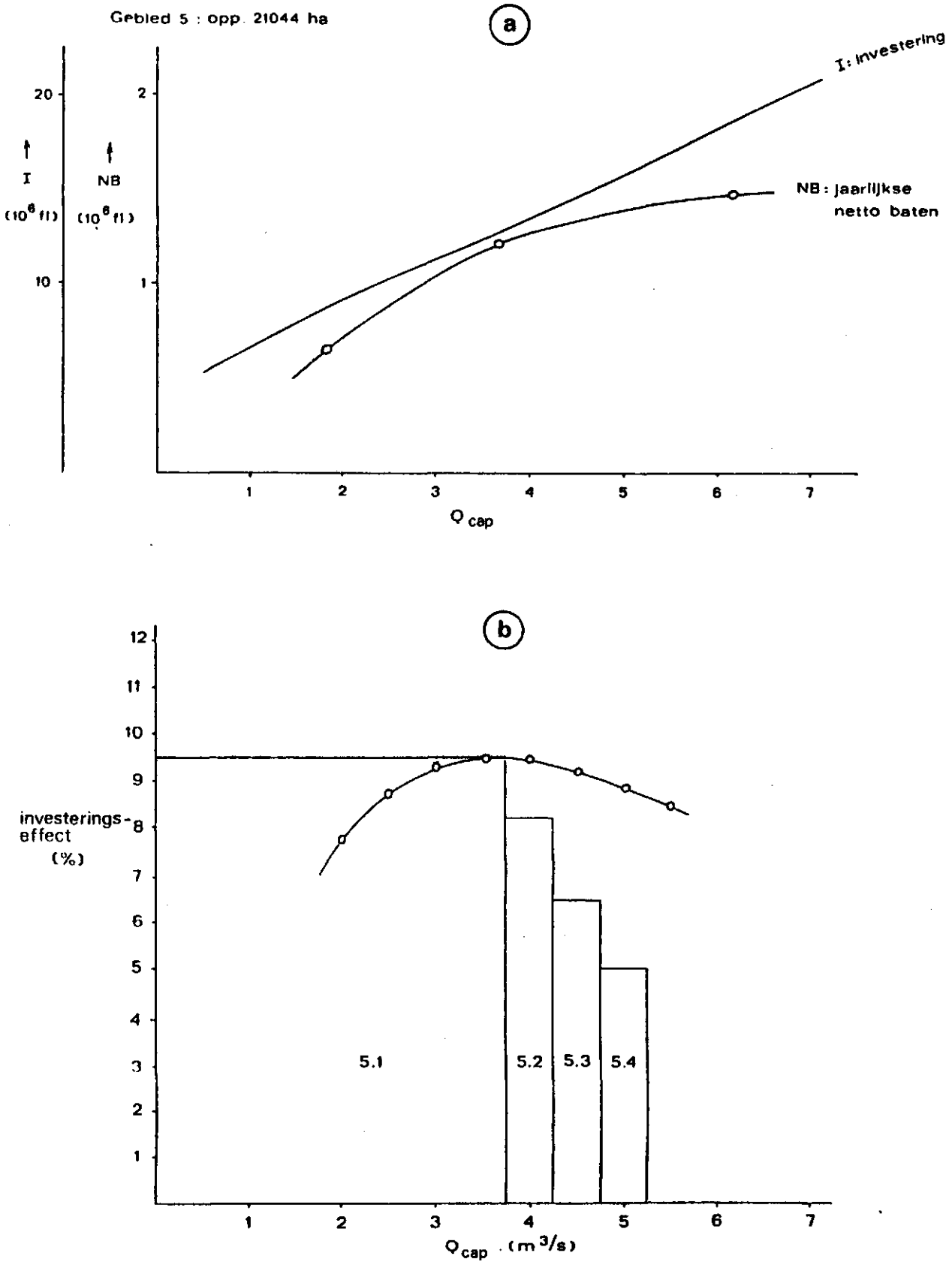


Fig. 4.1. Voorbeeld van het grafisch optimaliseren van de aanvoercapaciteit en vervolgens berekenen van schijfeffecten bij verdere verhoging van Q_{cap}.

Het is gebruikelijk het investeringseffect te definiëren als

$$\frac{\text{jaarlijkse netto baten}}{\text{investering}} \times 100\%$$

Het probleem doet zich voor, dat bij aanvullende vochtvoorziening de baten van jaar tot jaar sterk variëren. Op deze kwestie zal in Bijlage D worden ingegaan.

Hier wordt - conform de richtlijnen van het Rijk - voor de jaarlijkse baten genomen het verwachte langjarig gemiddelde van de netto baten, zoals uitgezet in fig. 4.1a.
Het investeringseffect als functie van de aanvoercapaciteit is uitgezet in fig. 4.1b.

Indien besloten wordt tot het doen van investeringen ten behoeve van aanvullende vochtvoorziening dan zal minimaal gekozen moeten worden voor een aanvoercapaciteit die overeenkomt met het effect optimum: men zal in ieder geval de eerste 'schijf' integraal installeren. De eerste schijf van bijvoorbeeld aanvoergebied 5 (zie fig. 4.1b) bedraagt 3,75 m^3/s met een rendement van 9,40%. In de figuur zijn ook aangegeven de schijfeffecten bij het verder opvoeren van de aanvoercapaciteit. Deze schijfeffecten zijn berekend met

$$\frac{\Delta NB}{\Delta I} \times 100\%$$

waarin:

ΔNB = toename van netto baten bij een verhoging van de aanvoercapaciteit met ΔQ

ΔI = toename van de vereiste investering bij een verhoging van de aanvoercapaciteit met ΔQ

De bovenbeschreven procedure is toegepast op alle aanvoergebieden (1 t/m 7) van het Drentse deel.
Vervolgens is steeds gekeken welk gebied het hoogste schijfeffect te bieden heeft bij opeenvolgende verhogingen van de aanvoercapaciteit. Fig. 4.2 geeft het resultaat van deze toebedelingsprocedure.

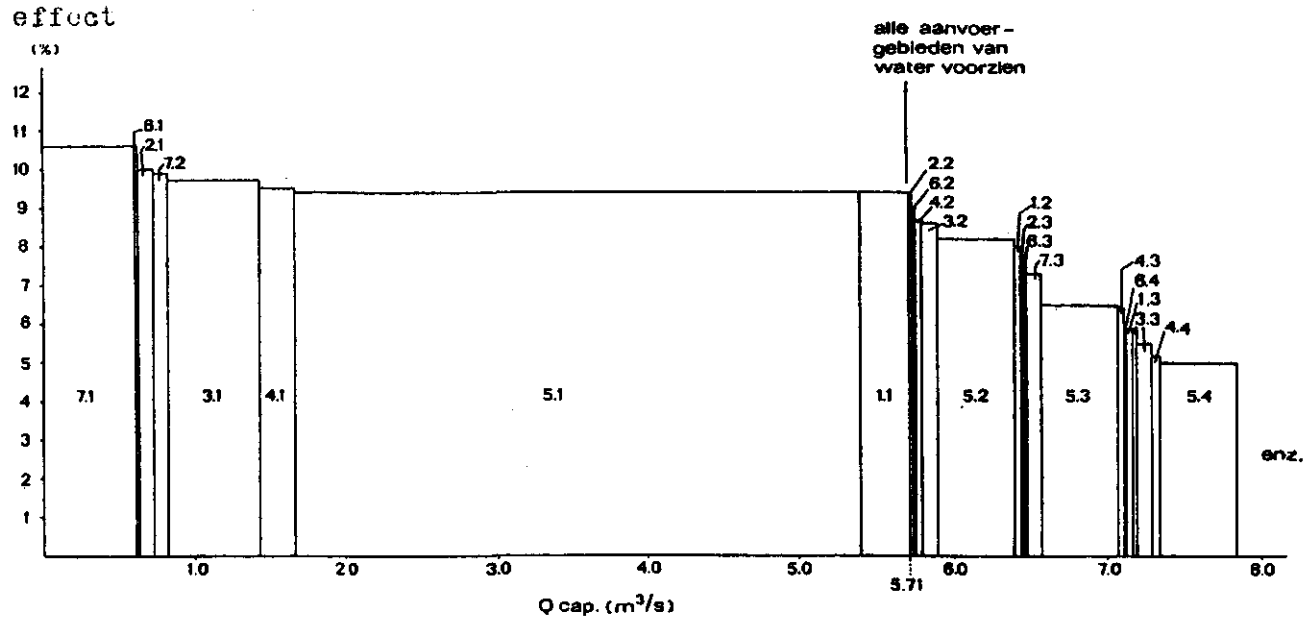


Fig. 4.2. Toebedeling van aanvoercapaciteit aan de verschillende aanvoergebieden, volgens het principe 'de schijf met het hoogste effect komt het eerst in aanmerking geïnstalleerd te worden'; bijvoorbeeld 5.2 verwijst naar de tweede schijf van gebied 5

Overigens blijkt uit het verloop van de effectlijnen voor de verschillende aanvoergebieden dat inkrimpen of uittrekken van het diagram met 10% geen betekenende invloed heeft op de hoogte van het totale effect.

Omdat de effectverschillen tussen de verschillende aanvoergebieden gering zijn, kan op grond van de gepresenteerde cijfers niet een onderschied gemaakt worden tussen gebieden die wèl en gebieden

niet van water zouden kunnen worden voorzien: het uitsluiten van bepaalde gebieden heeft geen betekenende invloed op het totale investeringseffect. Het ligt dan voor de hand in fig. 4.2 de grens te trekken bij de lijn 'alle gebieden van water voorzien'. De cijfermatige uitwerking hiervan is gegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2. Gegevens betreffende i n f i l t r a t i e in het Drentse deel

Aan-voer gebied	Opp.	Q_{cap}	a_{cap}	Gem. seizoen aanvoer	Gem. varia-bele kosten primair systeem	Varia-bele kosten sec. systeem	Gem. bruto baten	Gem. netto baten
	(ha)	(m^3/s)	(mm/d)	($10^3 m^3$)	(10^3 fl)	(10^3fl)	(10^3fl)	(10^3fl)
1	2 074	0,31	1,29	1 080	31,0	2,1	113,5	80,4
2	742	0,11	1,28	337	11,8	0,7	48,8	36,3
3	3 488	0,60	1,49	1 832	63,9	3,5	249,7	182,3
4	1 540	0,23	1,29	717	25,0	1,5	97,0	70,5
5	21 044	3,75	1,54	11 860	413,9	21,0	1 643,9	1 209,0
6	96	0,014	1,26	42	1,5	0,1	6,5	4,9
7	3 968	0,70	1,52	1 854	64,4	4,0	299,4	231,0
	32 952	5,714		17 722	611,5	32,9	2 458,8	1 814,4

Berekend is dat een debiet van 0,31 m^3/s naar aanvoergebied 1 en 5,40 m^3/s naar de rest van de gebieden investeringen in het primaire systeem van respectievelijk *f* 0,7 en *f* 13,9 miljoen gulden vergen. Samen is dit dus *f* 14,6 miljoen. Gevoegd bij de vereiste investering in het secundair systeem van *f* 4,7 miljoen komt het totaal op

$19,3 \times 10^6$ fl

Het investeringseffect is dan (zie tabel 4.2 voor de totale netto baten) $\frac{1,81}{19,3} \times 100\% = 9,4\%$.

4.3. Autonome ontwikkeling

De huidige aanvoercapaciteit voor het Drentse deel bedraagt 0,8 m^3/s. Indien investeringen in nieuwe gemalen zouden uitblijven, dan is het waarschijnlijk dat op den duur het beschikbaar debiet evenredig verdeeld zal gaan worden over de verschillende aanvoergebieden. Het evenredig verdelen van het water heeft namelijk als voordeel dat het aanbrengen van extra voorzieningen in het secundaire systeem niet nodig is.

Aannemende dat het beschikbare water uitsluitend voor infiltratie aangewend zou worden, dan bedraagt de aanvoercapaciteit

$$\frac{0{,}8 \times 86{,}400}{32952 \times 10} = 0{,}21 \text{ mm/d voor alle aanvoergebieden.}$$

De overeenkomstige netto jaarlijkse baten zijn *f* 276 000,-. De vereiste investeringen in het primaire systeem (modernisering van bestaande gemalen) bedragen

8 x 150 000,- = *f* 1,2 miljoen.

Het effect van deze investeringen zou zijn:

$$\frac{.276}{1.2} \times 100\% = 23\%$$

Het in par. 4.4 becijferde investeringseffect van 9,4% heeft betrekking op een investering van 19,3 miljoen. Deze investering moet men 'afzetten' tegen de investering die gemoeid is met de autonome ontwikkeling. Dit kan men doen door een 'schijf' effect te berekenen voor de extra investering:

$$r = \frac{\Delta NB}{\Delta I} \times 100 = \frac{1{,}814 - 0{,}276}{19{,}3 - 1{,}2} = 8{,}5\%$$

Dit percentage heeft alleen betekenis wanneer de aanloopkosten van investeringen ten behoeve van wateraanvoer volledig moeten worden opgebracht door de baten van infiltratie. In werkelijkheid zal er ook wateraanvoer plaatsvinden ten behoeve van beregening en de glastuinbouw, die daarom een gedeelte van de aanloopkosten voor hun rekening zouden moeten nemen. In verband hiermee is alleen het effectpercentage van de totale investering ten behoeve van infiltratie, beregening en glastuinbouw relevant. Voor dit percentage wordt verwezen naar het rapport van de werkgroep wateraanvoer.

LITERATUUR

BARTELDS, A., H. MERKENS, H. SCHILTKAMP en T. WOLTERS, 1982. Drainage- en infiltratieweerstanden in het veenkoloniale gebied. Eindverslag HBCS-Velp

BELMANS, C., J.G. WESSELING, R.A. FEDDES, 1981. Simulation model of the waterbalance of a cropped soil providing different types of boundary conditions (SWATRE) Nota 1257, ICW

BEUVING, J., 1982. Onderzoek naar bodem- en waterhuishoudkundige gegevens voor invoer in en vereficatie van een model voor berekening van de effecten van waterhuishouding. Nota 1378, ICW

BLOEMEN, G.W., 1981. De capillaire eigenschappen van de gronden in het wateraanvoergebied 'de Monden'. Nota 1332, ICW

BOHEEMEN, P.J.M. VAN, 1981. Toename van de produktie van grasland bij verbetering van de watervoorziening. Nota 1298, ICW

BOHEEMEN, P.J.M. VAN, 1982. Een ervaring met de PAWN-droogteschade-functie voor consumptie-aardappelen. Nota 1360, ICW

HELLINGS, A.J., 1980. Beregeningseffecten bij enkele akkerbouwgewassen. Verspreide overdrukken 257, ICW

_____, M. DE GRAAF en D.D. VAN DER SCHANS, 1982. De relatie tussen wateraanvoer, verdamping en produktie bij het gewas aardappelen. Nota 1376, ICW

POELJE, H.A.C. VAN, E.H. SMIDT en H.A.M. THUNISSEN, 1983. Droogteschade in de Drentse Veenkoloniën vanuit de lucht bekeken. De Boerderij 68 (22) : 34-37

SLOTHOUWER, D., 1982. Economische aspecten van de waterbeheersingswerken in het studiegebied 'De Monden'. Nota 1384, ICW

VEERMAN, G.J., 1982. Resultaten van fysische bepalingen in grondwatermonsters afkomstig uit het wateraanvoergebied 'de Monden'. Nota 1331, ICW

HET WATERBEHEER

A.1. I n f i l t r a t i e

A.1.1. Simulatie van het beheer

Het geformaliseerd rekenvoorschrift dat weergegeven is in fig. A.1 moet men zien als een 'suboptimale' beheerstrategie die vanwege zijn relatieve eenvoud wellicht in de praktijk te realiseren is.

Het rekenvoorschrift kan met verschillende combinaties van invoer-parameters worden toegepast. De variabele IBEH geeft aan over welke middelen de beheerder beschikt:

IBEH = 0: er zijn geen middelen beschikbaar; in het model wordt een constant stuwpeil HSN ingesteld;

IBEH = 1: er zijn landbouwkundige stuwen aanwezig waarmee water geconserveerd kan worden;

IBEH = 2: er is tevens de mogelijkheid tot wateraanvoer met ACAP mm/d

Het installeren van landbouwkundige stuwen gaat meestal gepaard met het dieper maken van de ontwatering. Dit betekent wel dat reeds zeer vroeg in het voorjaar begonnen moet worden met het verhogen van het stuwpeil: het rekenvoorschrift van fig. A.1 begint na 14 februari het peil te verhogen indien de grondwaterstand daar aanleiding toe geeft.

De tabel PHASE(0:F) bevat F + 1 stuwpeilen die horen bij de F + 1 fasen van het peilbeheer.

Het grenzenschema GC (0:F-1) geeft aan hoe het beheer reageert op de drie dagen oude grondwaterstand GMIN3.

Het grenzenschema wordt met GCMOVE verschoven indien de grondwaterstand in een week meer dan 5 cm is gestegen: het beheer wordt voorzichtiger wanneer het grondwater kennelijk door percolatie van neerslag gevoed is.

Een voorbeeld dient om het een en ander te verduidelijken:

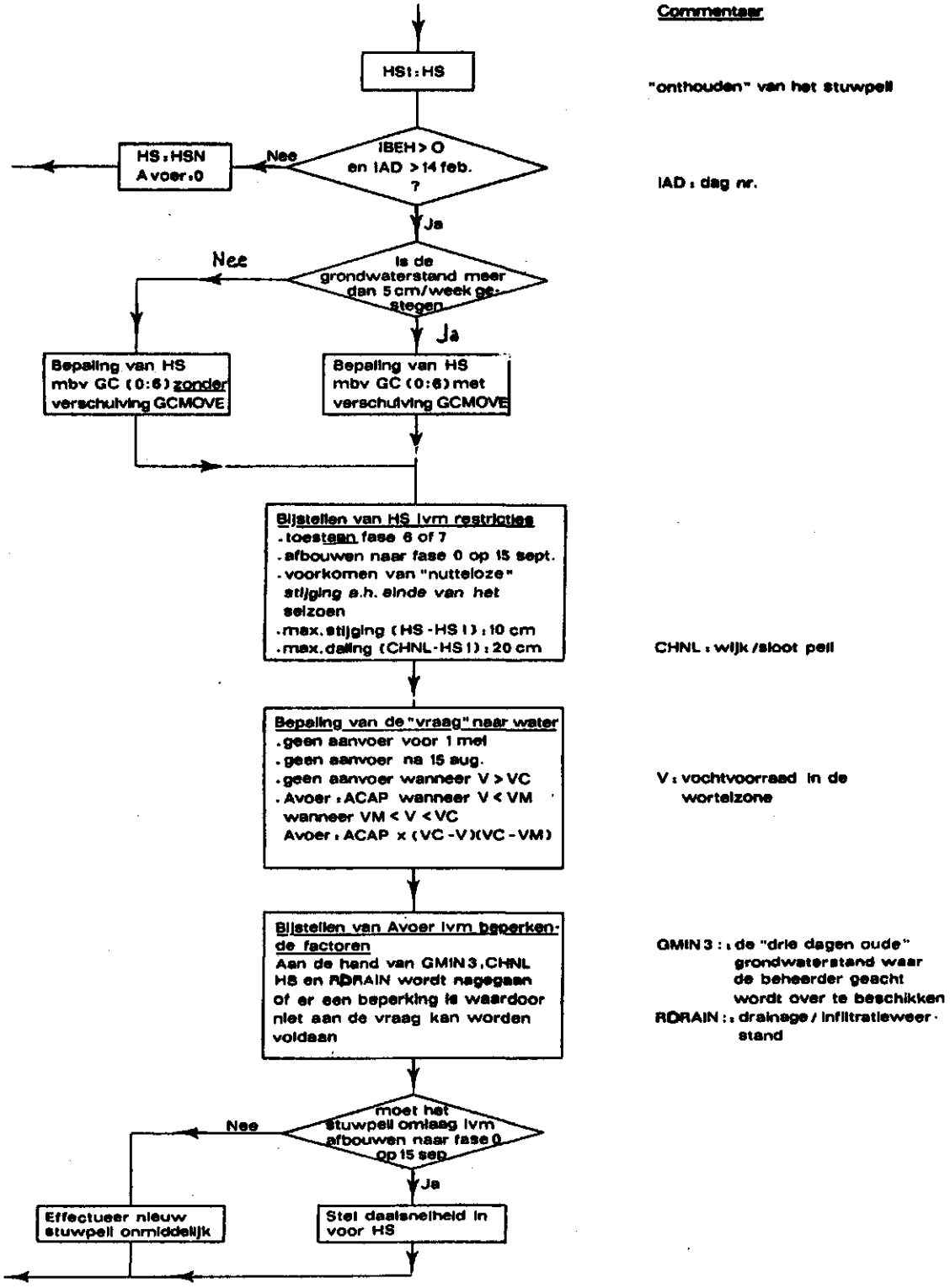


Fig. A.1. Stroomdiagram van het rekenvoorschrift voor het beheer

OPERATION STRATEGY FOR CHANNEL LEVEL

	I	PHASE(I)	GROUNDWATER LEVEL RISING	GROUNDWATER LEVEL FALLING
conservering	0	-140.	HM>= -85.	HM>= -80.
	1	-130.	-85.>HM>= -90.	-80.>HM>= -85.
	2	-120.	-90.>HM>= -95.	-85.>HM>= -90.
	3	-110.	-95.>HM>= -105.	-90.>HM>= -100.
aanvoer	4	-100.	-105.>HM>= -115.	-100.>HM>= -110.
	5	-90.	-115.>HM>= -125.	-110.>HM>= -120.
	6	-80.	-125.>HM>= -135.	-120.>HM>= -130.
	7	-70.	-135.>HM	-130 >HM

Kennelijk betreft het hier een peilvak met 8 fasen van peilbeheer (F=7). De 'tabel' met fasen (PHASE(0:F)) vindt men in de tweede kolom. Geheel rechts vindt men de opgegeven waarden van GC(0:F-1). Uit de waarden onder 'rising' volgt dat de opgegeven waarde van GCMOVE 5 cm bedraagt. Bij een 'dalende' grondwaterstand (GMIN3) van bijvoorbeeld 82 cm -mv zal het grenzenschema fase 1, te weten een stuwpeil van 130 cm -mv aangeven.

Fasen 0 t/m 3 hebben kennelijk uitsluitend betrekking op het conserveren: het stuwpeil is tot en met fase 3 lager dan de bijbehorende ondergrens van de grondwaterstand.
Fasen 4 t/m 7 hebben kennelijk uitsluitend betrekking op infiltratiesituaties bij aanvoer van water. In het gegeven voorbeeld ligt het 'snijpunt' van het stuwpeil en de grondwaterstand ongeveer bij 105 cm -mv. Dit snijpunt is de grondwaterstand waar het grenzenschema naar 'streeft'.

Het kan nodig zijn het door het grenzenschema aangegeven stuwpeil bij te stellen in verband met een aantal restricties:

- Fase 6 of 7 wordt slechts toegestaan na respectievelijk 24 juni en 1 juli. (Tussen 24 juni en 15 augustus is de kans op neerslag het geringst). Bovendien moet de vochtvoorraad in de wortelzone gedaald zijn beneden de grenswaarde VP;
- een stijging van het stuwpeil met meer dan 10 cm per week wordt niet toegestaan;
- een daling van het w i j k peil met meer dan 10 cm per week wordt alleen toegestaan wanneer het grenzenschema een daling van 30 cm of meer aangeeft: in een dergelijk geval wordt een daling van 20 cm geoorloofd;

- er moet met 10 cm per week afgebouwd worden naar fase 0 op de laatste dag van het groeiseizoen. Voor fabrieksaardappelen is dit op 15 september.

Bij het bepalen van de aanvoerbehoefte ligt het voor de hand eerst te kijken naar de vochtvoorraad van de wortelzone: het niet te ver uit laten putten van deze voorraad is natuurlijk het doel van aanvullende vochtvoorziening. In het rekenvoorschrift wordt daarom eerst de aanvoerbehoefte berekend met (zie ook fig. A.2):

$$AVOER = ACAP \times (VC-V)/(VC-VM) \quad , \quad \text{voor } VM \leq V \leq VC$$

waarin:

AVOER = aanvoerbehoefte (mm/d)
ACAP = aanvoercapaciteit van het primaire systeem (mm/d)
V = vochtvoorraad in de wortelzone (mm)
VC = grenswaarde waarbij ACAP = 0 (mm)
VM = grenswaarde waarbij AVOER gelijk wordt aan ACAP (mm)

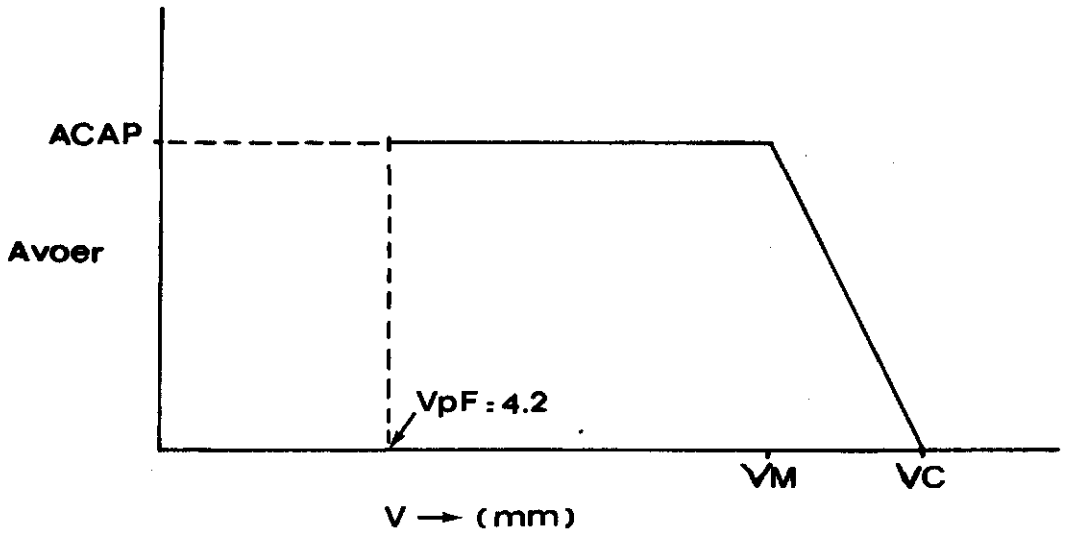


Fig. A.2. De aanvoerbehoefte als (gekozen) functie van de vochtvoorraad in de wortelzone

Er had natuurlijk ook voor een 'aan/uit' grens gekozen kunnen worden. Dit strookt echter niet met het gegeven dat het beheer niet met horten en stoten moet gaan. Met name is het laatstgenoemde aspect van belang wanneer men over een grote aanvoercapaciteit beschikt.

De optimale ligging van de grenzen ten opzichte van het traject van 'beschikbaar bodemvocht' zal in hoofdstuk A.1.2 nader toegelicht worden. Hier kan alvast gesteld worden dat 'eerder' met infiltratie dan met beregening begonnen moet worden in verband met het minder directe karakter van eerstgenoemde methode.

Na het vaststellen van de aanvoerbehoefte wordt vervolgens nagegaan in hoeverre het stuwpeil en de grondwaterstand aanleiding geven om daadwerkelijk de 'gevraagde' hoeveelheid water aan te voeren. De maximale hoeveelheid 'zinvolle' aanvoer wordt namelijk bepaald door:

- de verwachte infiltratie tijdens de komende week;
- de eventuele benodigde hoeveelheid water voor het verhogen van het actuele wijk/slootpeil naar het ingesteld stuwpeil (aan het einde van de week moet er nog net geen 'overstort' zijn bij de stuw)*.

Zowel de infiltratieweerstand als de capillaire eigenschappen kunnen invloed hebben op de verwachte infiltratie. Een van deze twee factoren kan geheel bepalend zijn, maar het is ook goed mogelijk dat het gecombineerd effect van beide beperkend is voor de hoeveelheid zinvolle aanvoer.

Het afbouwen naar fase 0 aan het einde van het groeiseizoen kan in sommige gevallen bereikt worden door alleen de aanvoer te verminderen en vervolgens geheel stop te zetten:
de infiltratie die plaatsvindt zorgt dan voor de gewenste peilverlaging van 10 cm per week. In zulke gevallen moet het stuwpeil niet abrupt verlaagd worden omdat anders het wijk/slootpeil bijvoorbeeld 20 cm per week omlaag gaat. Het rekenvoorschrift vermijdt deze te grote daling door de stuwpeilverlaging te spreiden over een week.

A.1.2. Invoergegevens van het algoritme voor het beheer

Bij het doorrekenen van het alternatief 1 (de 'oorspronkelijke' situatie met een constant stuwpeil) is een waarde van HSN (zie hoofdstuk A.1.1) ingevoerd die overeenkomt met de 'cp' waarde in tabel 2.1. Voor bijvoorbeeld de eerste bodemkundig-hydrologische

*Beter zou zijn geweest de voor peilverhoging benodigde hoeveelheid water ook bij de 'gevraagde' hoeveelheid op te tellen. Op iteratieve wijze moet dan de aanvoer dusdanig berekend worden, dat de gewenste infiltratie plaats zal vinden, met als beperking dat er geen overstort mag zijn aan het einde van de week.

eenheid is deze waarde 120 cm -mv. De nummers 1 t/m 8 en 12 van tabel 2.2 zijn voor de beheersalternatieven 2 en 3 (conservering en aanvoer) doorgerekend met het grenzenschema GC(0:6) zoals reeds als voorbeeld gegeven in hoofdstuk A.1.1. De nummers 9 t/m 11 zijn doorgerekend met het schema

OPERATION STRATEGY FOR CHANNEL LEVEL

I	PHASE (I)	GROUNDWATER LEVEL	
		RISING	FALLING
0	-120.	HM>= -85.	HM>= -80.
1	-110.	-85.>HM>= -95.	-80.>HM>= -90.
2	-100.	-95.>HM>= -105.	-90.>HM>= -100.
3	-90.	-105.>HM>= -110.	-100.>HM>= -105.
4	-80.	-110.>HM>= -113.	-105.>HM>= -108.
5	-70.	-113.>HM>= -115.	-108.>HM>= -110.
6	-60.	-115.>HM>= -118.	-110.>HM>= -113.
7	-50.	-118.>HM	-113.>HM

De nummer 13 met het schema:

OPERATION STRATEGY FOR CHANNEL LEVEL

I	PHASE (I)	GRONDWATER LEVEL	
		RISING	FALLING
0	-150.	HM>= -60.	HM>= -55.
1	-140.	-60.>HM>= -65.	-55.>HM>= -60.
2	-130.	-65.>HM>= -70.	-60.>HM>= -65.
3	-120.	-70.>HM>= -80.	-65.>HM>= -75.
4	-110.	-80.>HM>= -90.	-75.>HM>= -85.
5	-100.	-90.>HM>= -100.	-85.>HM>= -95.
6	-90.	-100.>HM>= -110.	-95.>HM>= -105.
7	-80.	-110.>HM	-105.>HM

Alle drie gebruikte schema's hebben gemeen dat de overgang tussen het conserveren en het aanvoeren ongeveer bij een grondwaterstand van circa 100 cm -mv ligt. Bij deze grondwaterstand is er in geval van neerslag (er ontstaat een 'percolatieprofiel') nog net geen transpiratiereductie door wateroverlast.

In fig. A.3 is grafisch weergegeven hoe voor de nummers met een iWp-bovengrond steeds de aanvoerbehoefte als functie van de voorraad vocht in de wortelzone werd berekend.

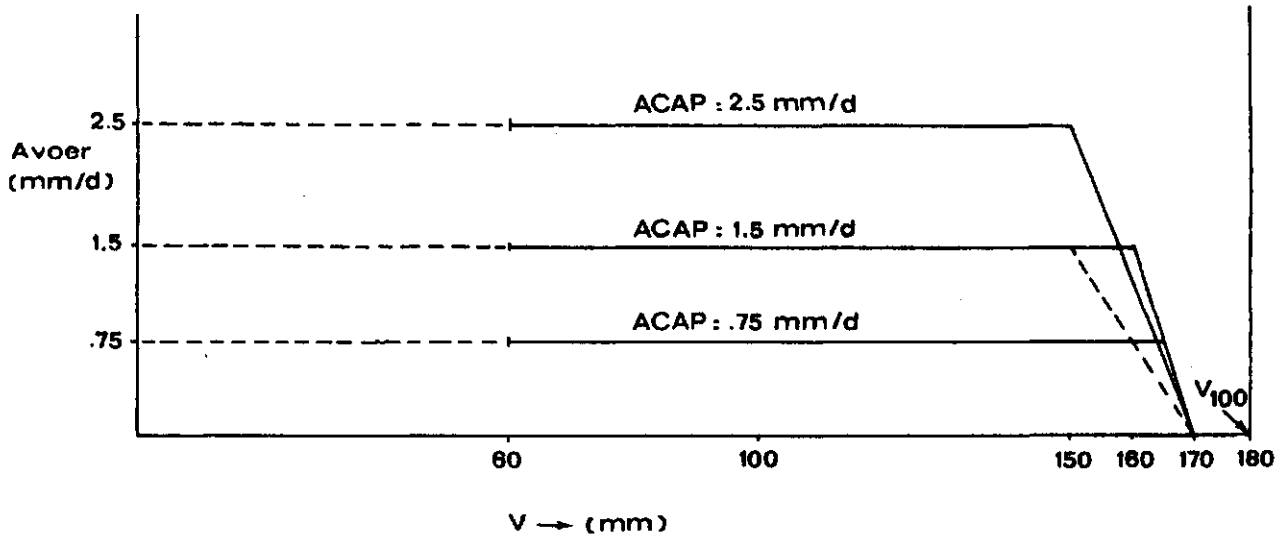


Fig. A.3. De aanvoerbehoefte als (gekozen) functie van de vochtvoorraad in de wortelzone voor iWp

De waarde V_{100} is de vochtvoorraad bij een grondwaterstand van 100 cm -mv en een evenwichtsprofiel in de onverzadigde zone. De waarde van VC komt ongeveer overeen met een gemiddelde pF van 2,0 in de wortelzone. Bij deze pF-waarde treedt uiteraard nog geen transpiratiereductie op. Men moet evenwel vermijden dat het vermogen om capillair op te stijgen wordt aangetast door het uitdrogen van de grond vlak onder de wortelzone: het te lang wachten met aanvoeren heeft tot gevolg dat het bevochtigen van de wortelzone vanuit het grondwater niet meer op korte termijn te realiseren is. Dit hangt samen met het niet-stationaire karakter van stroming in de onverzadigde zone, in combinatie met het steile verloop van de doorlatendheid als functie van de zuigspanning.

Bij een aanvoercapaciteit van 1,5 mm/d zijn voor een aantal gronden (nummers 2 t/m 4 van tabel 2.1) twee alternatieven doorgerekend: VM = 160 mm en VM = 150 mm (zie de streepjeslijn in het rechter gedeelte van fig. A.3). Betreffende de resultaten met VM = 150 bestond namelijk het vermoeden dat de beschikbare aanvoercapaciteit niet voldoende werd benut. De voor de overige gronden gekozen functies zijn weergegeven in fig. A.4.

Het is duidelijk, dat een formele optimalisatie van VM en VC achterwege is gebleven. Afgezien van de enorme rekeninspanning die een dergelijke optimalisatie zou vergen is het namelijk zeer moeilijk een geschikte 'doelfunctie' te formuleren. Dit komt doordat behalve

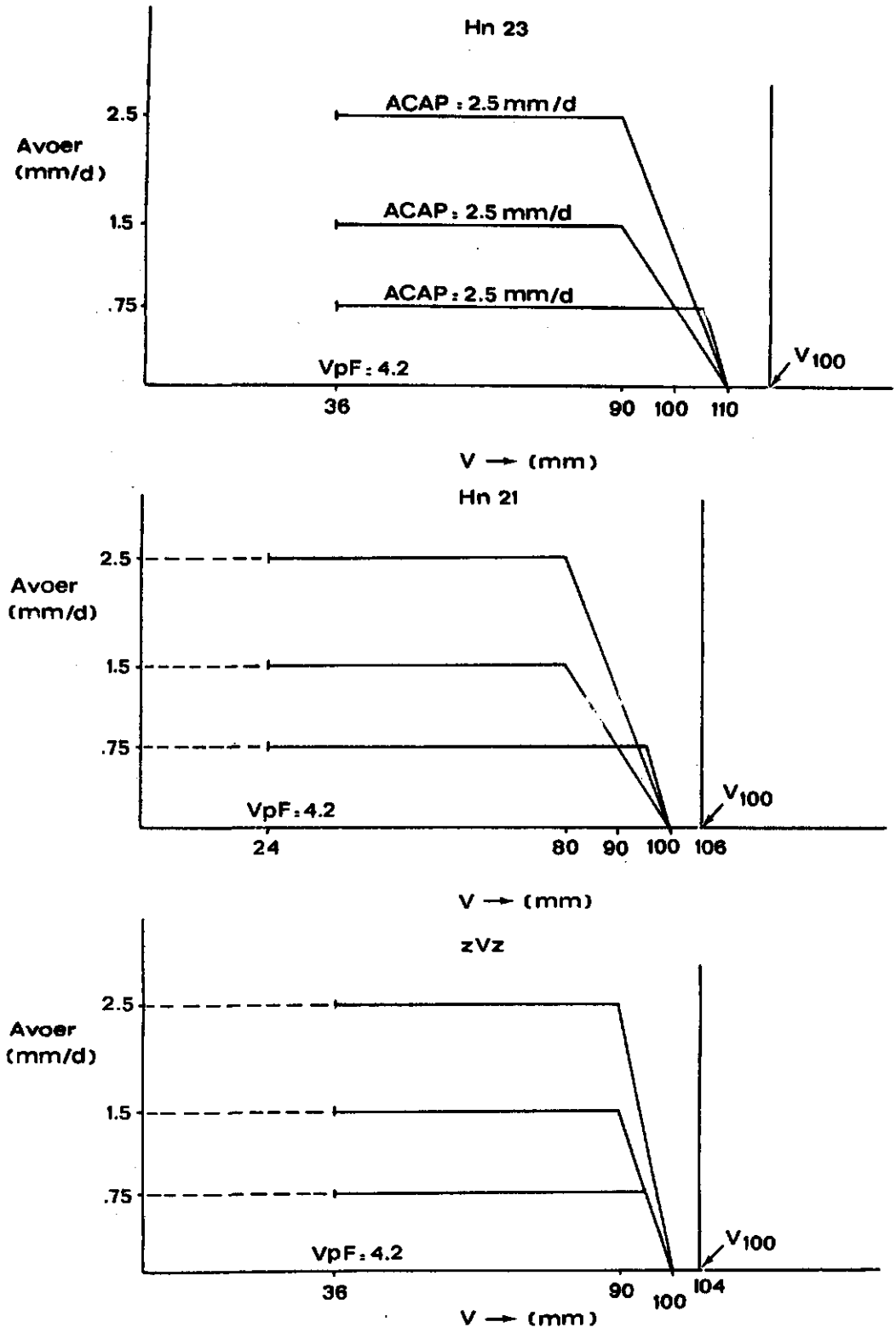


Fig. A.4. De aanvoerbehoefte als (gekozen) functie van de voorraad vocht in de wortelzone, voor Hn23 , zVz en Hn 21

het langjarig gemiddelde van de gewasverdamping ook de oogstzekerheid van belang is: een type beheer dat in sommige jaren grote schade aanricht door wateroverlast is niet acceptabel, ook al is het langjarig gemiddelde van de gewasverdamping 'optimaal'. Een andere factor die tot een voorzichtig beheer noopt is de ongelijke maaiveldsligging: wateroverlast in de lagere gedeeltes veroorzaakt veel meer schade dan watertekort in de hogere gedeeltes.

A.2. Beregening

Bij beregening moeten keuzes gemaakt ten aanzien van

- de grootte van de gift;
- de lengte van de beregeningscijfers;
- de mate van uitdroging waarbij besloten wordt daadwerkelijk te beregenen.

Deze keuzes worden bepaald door:

- het type grond waar men mee te maken heeft;
- praktische beperkingen (technische kenmerken van de beregeningsinstallatie; de tijd die een boer beschikbaar heeft voor het verplaatsen van de installatie).

Van de in tabel 2.1 opgesomde bodemkundig-hydrologische eenheden komt slechts de nr. 11 eventueel in aanmerking voor beregening. Gekozen is voor:

- een netto gift van 30 mm;
- een beregeningscyclus van 10 dagen;
- een grens van pF = 2,3 als criterium voor het al of niet laten passeren van een beregeningsbeurt.

Bij pF = 2,3 heeft de wortelzone (30 mm dik) van de Hn-grond een vochtinhoud van 80 mm. Dit is circa 25 mm minder dan de vochtinhoud van een vochtprofiel dat in evenwicht is met een grondwaterstand van 100 cm -mv.

Aangezien meestal enkele dagen op de beregeningsbeurt gewacht moet worden zal de bovengrond een gift van 30 mm in de regel kunnen opnemen.

In de praktijk zijn onregelmatigheidsverliezen onvermijdelijk. Voor een netto gift van 30 mm wordt geacht een bruto gift van 36 mm nodig te zijn. Deze gift in combinatie met een cycluslengte van 10 dagen vereist een beregeningscapaciteit van 3,6 mm/d.

BIJLAGE B

AANPASSING EN UITBREIDING VAN HET MODEL SWATRE

B.1. Algoritme voor het berekenen van het oppervlaktewaterpeil

In hoofdstuk 1 is de volgende vergelijking gegeven voor de waterbalans van het oppervlaktewater

$$h_w(t+\Delta t) = h_w(t) + \Delta t\{(a-i)/f_{ow} + n-e_o\}$$

waarin:

$h_w(t)$ = wijk- of slootpeil op tijdstip t (mm)
Δt = tijdstap (d)
a = aanvoer (mm/d)
i = infiltratie (<0 bij drainage) (mm/d)
f_{ow} = oppervlaktefractie die door open water wordt ingenomen, als functie van h_w (bij niet loodrechte taluds neemt f_{ow} toe met h_w) (-)
n = neerslag (mm/d)
e_o = verdamping van open water (mm/d)

Deze vergelijking is in zoverre niet 'correct' dat de met de drainageformule van ERNST berekende i betrekking heeft op $(1-f_{ow})$ van de oppervlakte. Althans, deze interpretatie komt overeen met de in subroutine BOCO van SWATRE gebezigde rekenwijze. De 'correcte' (en in het rekenmodel toegepaste) vergelijking voor de waterbalans luidt dus

$$h_w(t+\Delta t) = h_w(t)+\Delta t\{a/f_{ow} + i.(1-f_{ow})/f_{ow} + n-e_o\}$$

Nu is het zo dat f_{ow}, de drainageweerstand* en i (bij een constant vooronderstelde grondwaterstand) functies van h_w zijn. Rekentechnisch geeft dit echter geen problemen: $h_w(t+\Delta t)$ wordt berekend met een iteratieprocedure die voor f_{ow} en i de bij $\frac{1}{2}\{h_w(t) + h_w(t+\Delta t)\}$ horende waarden gebruikt. De tijdstap is dezelfde als die voor de berekening van de vochtverdeling in de onverzadigde zone. Deze tijdstap is doorgaans klein (in ieder geval < 1 dag) zodat de rekenprocedure voor

*bij opstuwing tot fase 7 van het peilbeheer wordt de infiltratieweerstand geacht 10% lager te zijn dan de drainageweerstand bij winterpeil

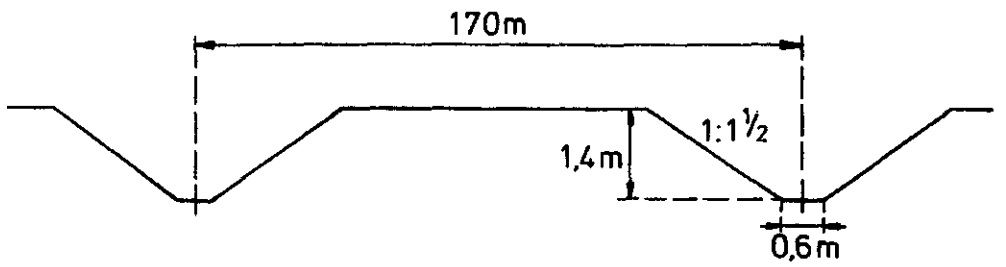
$h_w(t+\Delta t)$ zeker voldoende nauwkeurig is. Zeer kleine fouten worden gemaakt indien

- h_w tijdens het interval Δt stijgt van lager dan h_w naar h_s: het gemiddelde peil is tijdens Δt iets hoger dan $\frac{1}{2}\{h_w(t+\Delta t) + h_w(t)\}$
- de grondwaterstand zich wijzigt tijdens Δt; deze fout is 'standaard' in SWATRE: de grondwaterstand wordt op discrete tijdstippen aangepast, wanneer de waterbalans van de kolom grond daartoe aanleiding geeft.

Het kan voorkomen dat het ontwateringsmiddel droogvalt. In een dergelijk geval wordt het oppervlaktewaterpeil gelijkgesteld aan de grondwaterstand.

Kleine, te verwaarlozen waterbalansfouten worden gemaakt bij het droogvallen en weer watervoerend worden van het ontwateringsmiddel. De grondwaterberging beneden de drooggevallen sloot wordt geacht niet ten goede te komen aan het gewas op het naastgelegen perceel maar aan het onkruid, dat zich ter plekke snel zal ontwikkelen.

De gegeven codering (in FORTRAN 10) van subroutine WIJK heeft betrekking op het volgende slootprofiel en perceelbreedte:



Bijlage B(vervolg)

```
      SUBROUTINE WIJK(CHNL,GWLA,CHNR,DT)

      COMMON /3/ IBEH,PHASE(0:7),GC(0:6),GCMOVE,AVOER,ACAP,HS,PMINE,
      1 PSH1,PSH2,COF,CAF,CAV,GMIN3,GMIN10,NOR10,NUP10,NOR,NUP
*
*   SUBROUTINE WIJK UPDATES THE CHANNEL LEVEL BY COMPUTING
*   A WATER BALANCE FOR GIVEN CHNL,AVOER,GWLA, CHNR, AND DT.
*   BOUNDARY CONDITION: CHNL=< HS
*
      CAV=CAV+AVOER*DT
      IF(CHNL.LT.-140.) GO TO 250
      ITER=0
      CHNL1=CHNL
 10   DEPTH =0.5*(CHNL+CHNL1) + 140.      ! MEAN DEPTH DURING DT
      PERCOP=(60.+3.*DEPTH)*100./17000.     ! AREA PERC. SURFACE WATER
      CHNLM =DEPTH-140.                   ! MEAN CHANNEL LEVEL
      RORAIN=CHNR -0.1*CHNR*(CHNLM-PHASE(0))/(PHASE(7)-PHASE(0))
      QD    = (CHNLM-GWLA)/RORAIN
      HWMAX =CHNL1+(PMINE+AVOER*100./PERCOP-QD*(100-PERCOP)/PERCOP)*DT
      IF(HWMAX.LE.HS) CHNL=HWMAX
      IF(HWMAX.GT.HS) CHNL=HS
      ITER=ITER+1
      IF(ITER.EQ.1) GO TO 10
*
*  COMPUTATION OF OUTFLOW (GR.W. DRAINAGE), OVERFLOW (WASTED IRRIGATION
*  WATER) OR BOTH (RARE-- MEANS THE IRRIGATION WATER IS ALL WASTED....)
*
      IF(HWMAX.GT.HS) GO TO 30
      RETURN                          !   NO OUTFLOW OR OVERFLOW
*
*   ONLY OUTFLOW:
*
 30   IF(AVOER.GT.0.) GO TO 40
      CAF=CAF+(HWMAX-HS)*PERCOP/100.
      RETURN
*
*   ONLY OVERFLOW:
*
 40   OFLOW=(HWMAX-HS)*PERCOP/100.
      OFLOWM=AVOER*DT                   ! MAXIMUM POSSIBLE WASTAGE
      IF(OFLOW.GT.OFLOWM) GO TO 50
      COF=COF+OFLOW
      RETURN
*
*    BOTH OUTFLOW AND OVERFLOW:
*
 50   CAF=CAF+(OFLOW-OFLOWM)
      COF=COF+OFLOWM
      RETURN

*
*    THE CHNL LEVEL HAS SUNK BELOW THE BOTTOM OF THE CONDUIT:
*
 250  CHNL=GWLA

      RETURN
      END
```

B.2. Algoritme voor het beheer

Wat betreft het algoritme voor het beheer hoeft weinig toegevoegd te worden aan wat er in bijlage A.1 over is gezegd. In de gegeven FORTRAN-codering zijn de volgende grenzen gehanteerd

- VP = 80 mm (criterium voor het toestaan van fase 6 en 7)
- VC = 100 mm, VM = 80 mm (grenzen voor het berekenen van de aanvoer'vraag' als functie van de vochtinhoud van de wortelzone).

Bij het voorspellen van het wijk/slootpeil aan het einde van de week wordt onder andere gebruik gemaakt van de voorspelde $n-e_o$ (neerslag min verdamping). Hiervoor wordt eenvoudigweg de gemiddelde (P-ET*) van de vorige week genomen. (De berekening geschiedt in het hoofdprogramma.)

```
      SUBROUTINE BEHEER(IAD,CHNL,CHNR,VISD)

      COMMON/B/ IBEH,PHASE(0:7),GC(0:6),GCMOVE,AVOER,ACAF,HS,PMINE,
     1  PSH1,PSH2,COF,CAF,CAV,GMIN3,GMIN10,NDR10,NUP10,NDR,NUP,DRATE

      IAFBW=259
      HS1=HS
      IF(IBEH.GT.0.AND.IAD.GT.34) GO TO 10
      HS=PHASE(0)
      IF(IBEH.EQ.0) HS=PHASE(0)            !'constant peil'    in dit geval
      AVOER=0.
      RETURN

*
*   DETERMINATION OF NEW 'DESIRED CHANNEL LEVEL'
*-----------------------------------------------
*
 10   IF(GMIN3.GT.GMIN10+5.) GO TO 30
*
*   FALLING GR.W.LEVEL:
*
      I= -1
 20   I=I+1
      IF(I.EQ.7) GO TO 21
      IF(GMIN3.LT.GC(I)) GO TO 20
 21   HS=PHASE(I)
      GO TO 100
*
*   RISING GR.W.LEVEL: (MORE THAN 5 CM/WEEK)
*
 30   I= -1
 25   I=I+1
      IF(I.EQ.7) GO TO 26
      IF(GMIN3.LT.(GC(I)-GCMOVE)) GO TO 25
```

```
 26     HS=PHASE(I)
*
*  IMPLEMENTATION OF RESTRICTIONS ON HS:
*----------------------------------------
*
*  ONLY PHASE(6) OR PHASE(7) UNDER THE CONDITIONS:
*
 100    IF(HS.LE.PHASE(5)) GO TO 110
        I6B=175
        I7B=182
        IPH6=0; IPH7=0
        IF(IAD.GE.I6B.AND.VISD.LT.8.0) IPH6=1
        IF(IAD.GE.I7B.AND.VISD.LT.8.0) IPH7=1
        IF(IPH7.EQ.0) HS=PHASE(6)
        IF(IPH6.EQ.0) HS=PHASE(5)
*
*   LIMITATION OF HS AT END OF SEASON TO TO AVOID TOO WET
*   CONDITIONS AT THE TIME OF HARVEST.
*

 110    HSMAX=(IAFBW-7-IAD)*10./7. +PHASE(0)
        IF(HS.GT.HSMAX) HS=HSMAX
        IF(HS.LT.PHASE(0)) HS=PHASE(0)
*
*  LIMITATION TO AVOID "TOO LATE RISE":
*
        IF(HS.LE.HS1) GO TO 130
        IF((HSMAX-HS1).LT.30.) HS=HS1
*
*  MAXIMUM RISE OF HS IS 10;
*
        IF(HS-HS1.GT.10.) HS=HS1+10.
        GO TO 140
*
*   MAXIMUM LOWERING OF CHANNEL LEVEL IS 20 CM:
*
 130    IF(CHNL-HS.LT.30.) GO TO 135
        HS=CHNL-20.
        GO TO 140
 135    IF(CHNL-HS.GT.10.) HS=CHNL-10.

*
*   DETERMINATION OF MAXIMUM ALLOWED SUPPLY RATE:
*-------------------------------------------------
*
 140    AMAX=0.
        IF(IBEH.LT.2.OR.IAD.LT.118.OR.IAD.GT.229) GO TO 145
        IF(VISD.GE.10.0) GO TO 145
        AMAX=ACAP
        IF(VISD.LT.8.0) GO TO 145
        AMAX=ACAP*(10.0-VISD)/2.0
*
*
*  ANTICIPATION OF THE COMING WEEK:
*----------------------------------
*
*   ADJUSTMENT OF AVOER (POS. OR NEGATIVE) IN ORDER TO ACHIEVE
*   THE CHANGE OF CHNL FROM ITS PRESENT VALUE TO HS;
*   PREDICTION OF CHNL AT THE END OF THE WEEK (HWNEXT) :
```

```
*
 145    HWNEXT=CHNL
        ITER  =0
 150    DEPTH =0.5*(CHNL+HWNEXT) + 140.
        PERCOP=(60.+3.*DEPTH)*100./17000.
        CHNLM =DEPTH-140.
        RDRAIN=CHNR-0.1*CHNR*(CHNLM-PHASE(0))/(PHASE(7)-PHASE(0))
        QD    =(CHNLM-GMIN3)/RDRAIN
        HWMAX =CHNL+7.*(AMAX*100/PERCOP+PMINE-QD*(100-PERCOP)/PERCOP)
        IF(HWMAX.LE.HS) HWNEXT=HWMAX
        IF(HWMAX.GT.HS) HWNEXT=HS
        ITER=ITER+1
        IF(ITER.EQ.1) GO TO 150

        AVOER=QD*(100-PERCOP)/100+(HWNEXT-CHNL-7*PMINE)*PERCOP/(7*100.)
*
*  IN THE CASES THAT AVOER<0, IT IS EXPECTED THAT DISCHARGE WILL
*  TAKE PLACE; THIS DISCHARGE IS NOT ENFORCED BY A NEGATIVE INFLOW
*  BUT AS OUTFLOW (OR OVERFLOW) WHEN CHNL BECOMES EQUAL TO HS IN
*  SUBROUTINE WIJK:
*
        IF(AVOER.LT.0.) AVOER=0.
        IF(HS.GT.HS1) NUP=NUP+1
        IF(HS.LT.HS1) NDR=NDR+1
        IF(HS.GT.HS1+10.) NUP10=NUP10+1
        IF(HS.LT.CHNL-10.) NDR10=NDR10+1
*
*  IF THE CHANNEL LEVEL HAS TO BE LOWERED A DROP-RATE MUST
*  BE SPECIFIED FOR HS; IN THE CASE OF A DESIRED RISE THE
*  WEIR LEVEL IS RAISED IMMEDIATELY:
*
        DRATE=0.
        IF(ABS(HS-HS1).LT.1.0E-04) RETURN
        IF(HS.GT.HS1.OR.IAD.LT.(IAFBW-56)) GO TO 200
        DRATE=(HS-HS1)/7.
        HS=HS1
        RETURN

*
*  AVOID SENSELESS RAISING OF THE WEIR LEVEL IF THE
*  EXPECTED VALUE OF CHNL AT THE END OF THE WEEK (HWNEXT)
*  IS MORE THAN 10 CM LESS THAN THE PRESENT VALUE HS1
*  OR THE DESIRED VALUE HS:
*
 200    HSMIN=AMIN1(HS1,HS)
        IF(HWNEXT.LT.(HSMIN-10.)) HS=HS1


        RETURN
        END
```

B.3. Algoritme voor het verrekenen van de omstandigheden in het voorjaar en die in het najaar

Voor de onderbouwing van de gebruikte methoden wordt verwezen naar hoofdstuk 1.

```
      SUBROUTINE CRODAM(NFEB,GL,QKNOL,CUMT)

      DIMENSION GL(365),QKNOL(365),CUMT(365)
      WRITE(23,111)
111   FORMAT(//' DATA FOR REDUCTION OF CROP GROWTH DUE TO'/
      1' HIGH GROUNDWATER LEVELS'/)
*
*   SPRING: THE NUMBER OF 'WORKABLE' DAYS BETWEEN 20 MARCH AND
*   10 APRIL MUST BE >=10; OTHERWISE LATE SOWING CAUSES REDUCTION
*   OF TOTAL CROP GROWTH.
*

      IWORK=0
      DO 10 I=51+NFEB,71+NFEB,1
        IF(GL(I).LT.-70.) IWORK=IWORK+1
10    CONTINUE
      IF(IWORK.LT.10) GO TO 35
      REDTRA=0.
      GO TO 40
35    REDTRA=(10-IWORK)*0.1        ! TRANSPIRATION  REDUCTION (CM!)
40    WRITE(23,4115) REDTRA
4115  FORMAT(' REDUCTION OF TRANSP. IN THE SPRING:',F8.2/)
*
*    AUTUMN: COUNTING OF NON-WORKABLE DAYS DUE TO WET
*    CONDITIONS DURING THE PERIOD 15 SEP. - 1 NOV.
*
      XIDLE=0.
      DO 30 I=230+NFEB,276+NFEB,1
        IF(GL(I).LT.-100.) GO TO 30
        IF(GL(I).GE.-60.) XIDLE=XIDLE+1.
        IF(GL(I).LT.-60.) XIDLE=XIDLE+(GL(I)+100.)/40.
30    CONTINUE

      WRITE(23,4114) XIDLE
4114  FORMAT(/' NUMBER OF NON-WORKABLE DAYS IN AUTUMN:',F6.2/)
      IE=229+NFEB
      WRITE(20,4119)
4119  FORMAT(//' PRODUCTION TOTALS'/)
      WRITE(20,4116) XIDLE,(QKNOL(IE-I),I=0,9)
4116  FORMAT(F5.2,10F7.0)
      WRITE(20,4117)
4117  FORMAT(//' TRANSPIRATION TOTALS'/)
      WRITE(20,4127) XIDLE,(CUMT(IE-I),I=0,9)
4127  FORMAT(F5.2,10F8.3)

      RETURN
      END
```

B.4. Berekening van de Grondwatertrap

Het is steeds interessant om te weten wat de grondwatertrap is van de doorgerekende grond. In de praktijk wordt de grondwatertrap ontleend aan waarnemingen die verricht zijn op de 14e en de 28e dag van iedere maand. Vervolgens worden per jaar van de reeks waarover men de beschikking heeft de hoogste drie en de laagste drie waarden geselecteerd. Het langjarig gemiddelde van het gemiddelde van de hoogste drie is de GHG-waarde; evenzo is de GLG waarde gedefinieerd.

De geschreven subroutine schrijft per doorgerekend jaar de hoogste en laagste drie waarden weg naar een verzamel 'file'. Naderhand wordt met een apart programma (wat heet) de GHG- en GLG-waarde berekend. Met deze waarden kan vervolgens de grondwatertrap worden ontleend aan het schema

G.t.	I	II	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*
GHG (cm -mv)	-	-	<40	±30	>40	<40	±40	40-80	>80	>80
GLG (cm -mv)	<50	50-80	80-120	80-120	80-120	>120	>120	>120	120-160	>160

```
      SUBROUTINE MAXMIN(NFEB,GL)

      REAL MAXG1,MAXG2,MAXG3,MING1,MING2,MING3
      DIMENSION KM(12),GL(365)
      DATA KM(1),KM(3),KM(5),KM(7),KM(8),KM(10),KM(12)/7*31/
      DATA KM(4),KM(6),KM(9),KM(11)/4*30/
      DATA MING1,MING2,MING3/3*0./,MAXG1,MAXG2,MAXG3/3*-200./
      KM(2)=NFEB
*
*     SUBROUTINE MAXMIN SELECTS THE THREE HIGHEST AND THREE LOWEST
*     VALUES OF THE MEASUREMENTS ON THE 14TH AND 28TH DAY OF EACH MONTH.
*
      IMONTH=0
      DO 30 M=1,12
        DO 25 J=1,2
          I=IMONTH+J*14
          IF(GL(I).LE.MAXG3) GO TO 20
```

```
          MAXG3=GL(I)
          IF(MAXG3.LE.MAXG2) GO TO 20
          TEMP1=MAXG2
          MAXG2=MAXG3
          MAXG3=TEMP1
          IF(MAXG2.LE.MAXG1) GO TO 20
          TEMP2=MAXG1
          MAXG1=MAXG2
          MAXG2=TEMP2

20        IF(GL(I).GT.MING3) GO TO 25
          MING3=GL(I)
          IF(MING3.GE.MING2) GO TO 25
          TEMP1=MING2
          MING2=MING3
          MING3=TEMP1
          IF(MING2.GE.MING1) GO TO 25
          TEMP2=MING1
          MING1=MING2
          MING2=TEMP2
25      CONTINUE
        IMONTH=IMONTH+KM(M)
30    CONTINUE


      WRITE(23,4112)
4112  FORMAT(//1X,'  DATA FOR CLASSIFICATION OF GR.W. REGIME'/)
      WRITE(23,4113) MAXG1,MAXG2,MAXG3,MING1,MING2,MING3
4113  FORMAT('  HIGHEST THREE VALUES:',3F8.2/
      1 '  LOWEST  THREE VALUES:',3F8.2//)
      WRITE(24,4114) MAXG1,MAXG2,MAXG3,MING1,MING2,MING3
4114  FORMAT(6F7.0)

      RETURN
      END
```

B.5. Berekening van de potentiële gewastranspiratie (T*) en de potentiële bodemverdamping (E*)

De methode van MONTEITH/RIJTEMA is een op fysische grondslagen gebaseerde berekeningswijze voor de potentiële gewasverdamping.

De potentiële verdamping van een nat bladoppervlak, met een bodembedekkingsgraad van 100%, wordt berekend met

$$E^*_{nat} = \frac{\delta R_N + \frac{c_p P_a (e_a - e_d)}{r_a}}{(\delta+\gamma)\lambda} \qquad (kg.m^{-2}.s^{-1}) \qquad (1)$$

waarin:

δ	= helling van de verzadigde dampspanningscurve	$(mbar.K^{-1})$
γ	= psychrometerconstante	$(mbar.K^{-1})$
R_N	= netto straling	$(W.m^{-2})$
λ	= verdampingsenergie van water	$(J.kg^{-1})$
c_p	= specifieke warmte van lucht bij constante druk	$(J.kg^{-1}.K^{-1})$
P_a	= atmosferische druk	(mbar)
(e_a-e_d)	= dampspanningsdeficiet	(mbar)
r_a	= aerodynamische diffusieweerstand	$(s.m^{-1})$

De aerodynamische diffusieweerstand r_a, is een functie van de gewashoogte en de windsnelheid.

De potentiële gewasverdamping, betreffende een gewas met een bedekkingsgraad van 100%, kan vervolgens berekend worden met

$$ET^* = \frac{\delta + \gamma}{\delta+\gamma(1 + \frac{r_c}{r_a})} (E^*_{nat} - E_i) + E_i \qquad (2)$$

waarin:

r_c	= gewasweerstand	$(s.m^{-1})$
E_i	= interceptieverdamping	$(Kg.m^{-2}.s^{-1})$

Wat betreft de berekeningswijze voor de interceptieverdamping wordt verwezen naar BELMANS et al. (1981).

De potentiële gewas t r a n s p i r a t i e wordt berekend met

$$T^*_{100\%} = \frac{\delta+\gamma}{\delta+\gamma(1+\frac{r_c}{r_a})}(E^*_{nat} - E_i) \qquad (3)$$

ofwel

$$T^*_{100\%} = ET^* - E_i$$

Bedacht moet worden dat T* betrekking heeft op een gewas dat optimaal aan water is voorzien. Optimale watervoorziening garandeert echter nog niet dat de huidmondjes volledig open zijn: het potentiaal verval tussen de wortels en de bladeren neemt toe met de transpiratie. Dit potentiaal verval kan dusdanig groot worden dat de huidmondjes gedeeltelijk sluiten. Ook de gewasweerstand neemt dus toe met de transpiratie. Betreffende deze toename van de gewasweerstand zijn tot op heden geen betrouwbare gegevens beschikbaar.
Om realistische T*-jaartotalen te krijgen is daarom een nogal ruwe reductie van hoge T*-dagwaarden toegepast:

- waarden tot 5 mm/d worden niet gereduceerd;
- waarden boven 5 mm/d worden gecorrigeerd met

$$T^{*,r}_{100\%} = 5 + 0,2\ (T^*_{100\%} - 5)$$

In de huidige versie van SWATRE(BELMANS et al., 1981) wordt de potentiële bodemverdamping E* berekend met

$$E^* = 0,9.e^{-0,6*LAI}$$

waarin:

LAI = Leaf Area Index

Hier is echter gekozen voor

$$E^* = (1-S_c)\ .\ E^*_{nat}$$

waarin:

S_c = bodembedekkingsgraad

In SWATRE wordt de potentiële gewastranspiratie, betreffende een gewas met een bodembedekkingsgraad S_c, berekend met

$$T^* = T^*_{100\%} - E^*$$

Hier is gekozen voor

$$T^* = S_c \cdot T^{*,r}_{100\%}$$

De bovenbeschreven procedure geeft voor de periode 1971 t/m 1982 een gemiddelde potentiële transpiratie van 312 mm groeiseizoen. (De meteorologische data zijn van het station Eelde. De 'representatieve' reeks gewashoogten en bodembedekkingsgraden zijn ontleend aan HELLINGS et al. (1982)). De berekende gemiddelde actuele bodemverdamping bedraagt 132 mm, de interceptieverdamping 43 mm. Bij een potentieel verdampend gewas komt het totaal gemiddeld dus op 312 + + 132 + 43 = 487 mm. Deze waarde lijkt realistischer dan de waarde die men verkrijgt met de procedure van BELMANS et al.(1981): 527 mm = 354 + 130 + 43.

B.6. Gevoeligheidsgrenzen voor verdampingsreductie bij watertekort en bij wateroverlast

Het model SWATRE heeft twee opties voor het patroon van vochtonttrekking aan de wortelzone. Hier is gekozen voor de optie die berust op de vooronderstelling dat de vochtonttrekking (binnen de wortelzone) niet toe of afneemt met de diepte (FEDDES et al., (1978)). De maximale onttrekking (S_{max}) per mm van de wortelzone wordt berekend met

$$S_{max} = \frac{T^*}{|Z_r|} \qquad (d^{-1})$$

waarin:

T^* = potentiële gewastranspiratie ($mm.d^{-1}$)

$|Z_r|$ = dikte van de wortelzone (mm)

De werkelijke onttrekking (S) kan minder zijn dan S_{max} als gevolg van watertekort of wateroverlast. Dit wordt tot uitdrukking gebracht door de factor α die een functie is van de drukhoogte h

$$S(h) = \alpha(h) * S_{max} \qquad (d^{-1})$$

Het model SWATRE heeft twee opties voor de vorm van de $\alpha(h)$-functie; deze twee alternatieven zijn weergegeven in fig. B.1.
De alternatieve functies verschillen wat betreft de reductie bij vochttekort: respectievelijk een lineaire afname en een hyperbolische afname. Hier is gekozen voor een hyperbolische afname.

De grens h_2 is in beide opties van SWATRE een functie van de potentiële transpiratie: bij een hoger T^* wordt een lagere $|h_2|$ gehanteerd; aan een hoge verdampingsvraag is immers moeilijker te voldoen dan aan een lage; bij hoge T^* treedt er dus eerder reductie op dan bij een lage.
De gekozen functie voor $h_2(T^*)$ is weergegeven in fig. B.2.

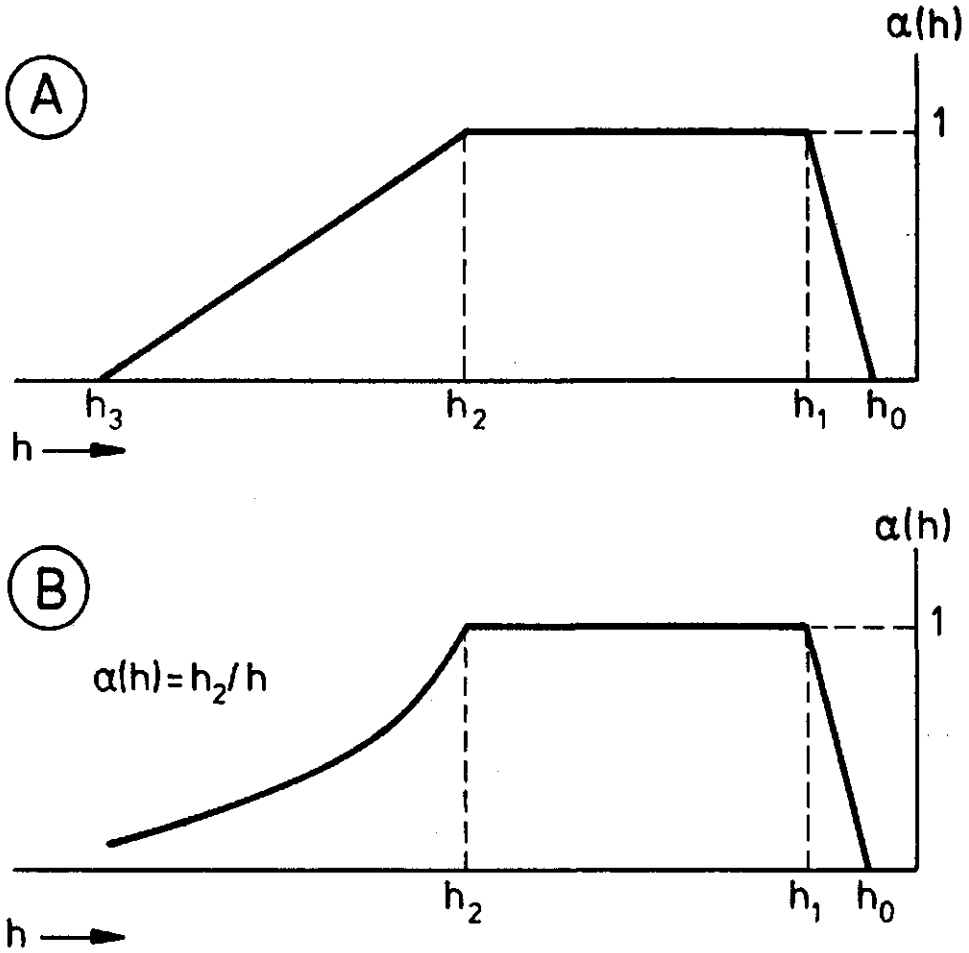


Fig. B.1 Alternatieven voor de verdampingsreductiefunctie.
a. lineaire afname bij vochttekort, b. hyperbolische afname

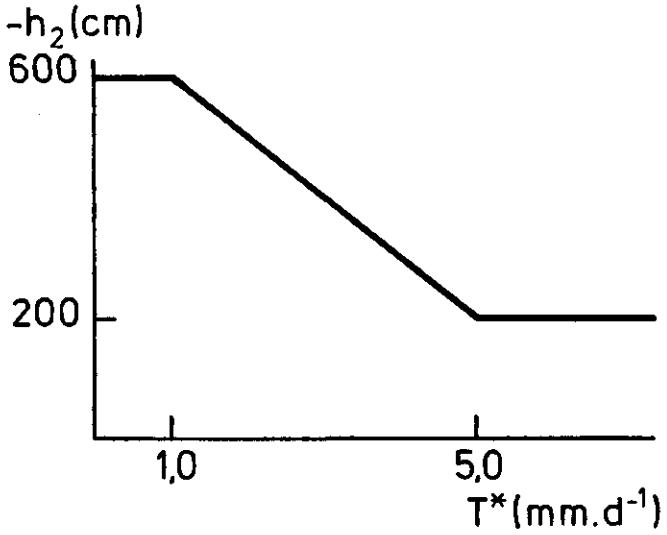


Fig. B.2. Verdampingsreductiegrens als functie van de potentiële gewastranspiratie.

Het traject $h_1 - h_0$ heeft betrekking op de verdampingsreductie als gevolg van zuurstoftekort bij wateroverlast. Hier is gekozen voor de grenzen $h_1 = -60$ cm en $h_2 = -20$ cm. Het door middel van veldproeven trachten te meten van deze grenzen is een uiterst hachelijke zaak. Het hysterese verschijnsel is hier onder andere debet aan. De genoemde grenzen zijn schattingen van FEDDES (pers. mededeling).

B.7. Aanpassingen in het hoofdprogramma ('MAIN') en subroutines RDATA, BOCO, GALGWL, CALCDT en PRTPLT

De aanpassingen in het hoofdprogramma betreffen

- input/output - operaties
- het aanroepen van de subroutines WIJK, BEHEER, MAXMIN en CRODAM

Er wordt gebruik gemaakt van drie input files:

- INPUT.DAT
- METEO.DAT
- GWLA.DAT

GWLA.DAT bevat één enkel gegeven: de initiële grondwaterstand.
Het programma berekent vervolgens in RDATA (KOD(5)=2) het bijbehorende evenwichtsvochtprofiel in de onverzadigde zone. Na het voltooien van de berekeningen voor een jaar, wordt de grondwaterstand van 31 december weggeschreven naar GWLA.DAT: de initiële waarde wordt overschreven.
De file GWLA.DAT bevat dan de initiële grondwaterstand van het volgende door te rekenen jaar. Vrijwel altijd zal de periode voorafgaand aan de jaarwisseling een neerslagoverschot te zien geven. Een 'percolatieprofiel' wijkt (bij ondiepe grondwaterstand) in een goed doorlatend profiel niet betekenend af van een evenwichtsprofiel. Dit rechtvaardigt de bovenbeschreven procedure, voor het 'continu doorrekenen' van een meerjarige periode. De file METEO.DAT bevat achtereenvolgens 365 daggemiddelden van de

- temperatuur (0,1 °C)
- kortgolvige straling (J $cm^{-2}.d^{-1}$)
- windsnelheid (0,5 $m.s^{-1}$)
- relatieve vochtigheid (%)
- neerslag (0,01 mm)

De windsnelheidswaarden zijn verkregen door metingen op 10 m hoogte. Voor de methode van Monteith/Rijtema zijn nodig de waarden op 2 m hoogte. De gebruikte omrekenfactor van 0,74 is afgeleid uitgaande van een logaritmisch windprofiel:

$$f = \frac{\log 2/z_o}{\log 10/z_o}$$

waarin:

z_o = ruwheidshoogte (circa 0,025 m voor kort gras)

Vermenigvuldiging met 0,5 zet de waardes vervolgens om van (0,5 $m.s^{-1}$) naar ($m.s^{-1}$).

Abusievelijk is ook nog een correctie uitgevoerd voor de gewashoogte

$$u_2'(z) = u_2(z) \cdot \frac{\ln(\frac{z-d_2'}{z_{o'2}'})}{\ln(\frac{z-d_2}{z_{o'2}})}$$

met $d_2 = 0{,}7 * CH$ (CH = gewashoogte) en $z_{o'2} = z_{o'2} = 0{,}14 * CH$, voor steeds z = 2m.
Aangezien het hier een correctie van hooguit 10% bedraagt, zal de gemaakte fout slechts geringe invloed gehad hebben op de uitkomst van de SWATRE-berekeningen.

Men moet erop bedacht zijn, dat de door het KNMI verstrekte luchtvochtigheidsgegevens niet zijn 'opgeschoond'. Er kunnen waarden tussen zitten, die een fractie groter zijn dan de verzadigde dampspanning. Om problemen bij programmaexecutie te voorkomen moet er een IF-statement ingelast worden dat RH(I)-waardes groter dan 0,999 corrigeert.

Omzetting van de kortgolvige straling in $J.cm^{-2}.d^{-1}$ naar $W.m^{-2}$ $(= J.s^{-1}.m^{-2})$ is met de factor

$$10^4./86400 = 0{,}1157$$

Omzetting van kortgolvige straling naar netto straling kan met de regressieformule

$$R_N = 0{,}54 * R_s - 0{,}8$$

De file INPUT.DAT bevat de overige invoergegevens.

Uit de FORTRAN-codering van het hoofdprogramma (zie verderop) blijkt dat de positie van CALL BEHEER (....) niet overeenkomt met het stroomschema dat gegeven is in fig. 1.3.1. Dit heeft te maken met de positie van CALL PRTPLT (...). Deze subroutine registreert de waarden aan het einde van iedere dag (t = 24.00 u). Door CALL BEHEER nà CALL PRTPLT te plaatsen wordt voorkomen dat PRTPLT waarden van HS en AVOER (die berekend worden door BEHEER) registreert die gelden voor de komende dag en niet voor de reeds geëindigde dag.

Aangepast hoofdprogramma

```
      DIMENSION PH1(40),PH(40),WC(40),R1(40),R2(40),RH(366),U(366),
     1DCL(366),QDEEP(366),GPRH(366),GL(365),QKNOL(365),CUMT(365)
      REAL LAI
      COMMON/REAVAR/HED(20),P0,PU1,PL1,P2H,P2L,P2,P3,RNAM,CGWLAM,DSP,
     * DX,DXG,DXH,DXN,CS1,ESRA,FAC,DT,DT1,DTI,DTM,DTMI,DTHM,TINIT,
     * TEND,TPRINT,TOUTP,TMD,T2,TB,TE,VOL1,VOLI,VOL,FINA,GWLA,DRZA,
     * GPRHA,QDEEPA,ESA,EPA,PHSA,PRECA,FLXA,ARER,BRER,AREL,BREL,
     * FLX1,CHNL,CHND,CHNR,DKD,ALPHAR,DGRWL,SIMPR,VISD,VISD1
      COMMON/REALAR/ TPR(52),PREC(366),FIN(366),PHS(366),SC(366),
     * EP(366),ES(366),HNT(366),X(40),PRH(5,81),CON(5,81),
     * CONDUC(41),CONIN(41),DMCAP(40),RTEX(40),FLXS(41),THETA(4),
     * SWC(5),SWCA(40),DOUTP(366,12),ESR(366),VPD(366),DRZ(366),
     * HSH(366),TEM(366),GWL(366)
      COMMON/INTVAR/IAD,N,NPL,NCS,IRZ,IRER,INL,IPRT,ISD,NPR,
     * LV(5),MV(5),NC(5),KOD(8),L(8),IA(99),IB(69),LC1(5)
      COMMON/CUM/ CPREC,CINTC,CINF,CPTRA,CPSEV,CTRA,CTRA1,CTRA2,CSEV,
     1CSEV2,CFLSD,CFLSDP,CFLBU,CQD,CQDP,CQDN,CDEL,CDELP,DEL,DVOL,
     2CRTEX(40)
      COMMON/CROP/FRX(6),FRY(6),FLX(6),FLY(6),FSX(6),FSY(6),
     1  FTX(6),FTY(6),TWOPI,HALFPI,DVS,LAI,
     2  FACLAI,EPSFAC,CVF,SLFA,AMAX,RMAX,RCON1,RCON2,QINIT,QPOT,
     3  QTOT,QLEAVE,QTUBER,TCROP,FLA,FLB,FLC,THARV
      COMMON /B/ IBEH,PHASE(0:7),GC(0:6),GCMOVE,AVOER,ACAP,HS,PMINE,
     1  PSH1,PSH2,COF,CAF,CAV,GMIN3,GMIN10,NDR10,NUP10,NDR,NUP,DRATE
      COMMON /B2/ AFVOER(365),COF2,CAF2
      EQUIVALENCE (RH,ES),(U,DRZ),(GWL,QDEEP,GPRH),
     1(DCL,ESR)
      DATA IWT,ITS,NTS,NPRA/4*0/,PH/40*0./,WC/40*0./
      DATA COF,COF2,CAF,CAF2,CAV/5*0./
C
C
C*********************************************************************
C**********    M  A  I  N      P  R  O  G  R  A  M   ******************
C*********************************************************************
C
C
C#READING OF INPUT AND INITIAL CALCULATIONS#
C
      HALFPI=2.*ATAN(1.)
      TWOPI=4.0*HALFPI
      OPEN(UNIT=23,ACCESS='SEQOUT',FILE='OUTPUT.DAT')
      OPEN(UNIT=21,ACCESS='SEQIN',FILE='INPUT.DAT')
      OPEN(UNIT=22,ACCESS='SEQIN',FILE='METEO.DAT')
      OPEN(UNIT=24,ACCESS='SEQIN',FILE='GWLA.DAT')
C
      CALL RDATA(PH,WC)
      CLOSE(UNIT=21)
      OPEN(UNIT=21,ACCESS='APPEND',FILE='GWALT.DAT')
      CLOSE(UNIT=24)
      OPEN(UNIT=24,ACCESS='APPEND',FILE='AF.DAT')
      IF(KOD(1).GT.0.AND.KOD(1).LT.4)    IWT=1
      IPRT=1
      T=TINIT
      TNWEEK=7.0
```

```
C
C
C
C########################### 'S T A R T   O F   T I M E   S T E P' ###
C
10      T=T+DT
        NTS=NTS+1
C
C ---- UPDATING OF WEIR LEVEL
        HS=HS+DRATE*DT
C
C
C ----- UPDATING OF CHANNEL LEVEL
        IDAY=INT(T+1.)
        PMINE=PREC(IDAY)-ES(IDAY)-EP(IDAY)
        CALL WIJK(CHNL,GWLA,CHNR,DT)

C ----  UPDATING OF PRESSURE HEADS.
        DO 11 I=1,N
            PH1(I)=PH(I)
   11   CONTINUE
        CALL PRHEAD(PH)
        NO=N
        IF(KOD(1).LT.4)NO=N-1
        DO 12 I=1,NO
           WC(I)=WC(I)+(PH(I)-PH1(I))*DMCAP(I)
   12   CONTINUE
        CALL HEPR(PH,WC)
C
C ----  CALCULATION OF CUMULATIVE VALUES.
        CALL INTGRL(PH)
C
C ----  READING OF BOUNDARY CONDITIONS.
        CALL BOCO(T,PH,WC)
C
C ----  CALCULATION OF WATER BALANCE
      VOL1=VOL
        VOL=0.0
        DO 13 I=1,NCS
           VOL=VOL+DX*WC(I)
   13   CONTINUE
        N1=-GWLA/DX + 1
        IF(KOD(1).LT.4) VOL=VOL+(N*DX+GWLA)*(SWCA(N1)-WC(N))
        DEL=VOL-VOL1+CTRA-CTRA1+FLXS(1)*DT
        IF(DEL.GT.0.)    CDELP=CDELP+DEL
        CDEL=CDEL+DEL
        VISD1=VISD
        VISD=0.0
        DO 14 I=1,ISD
           VISD=VISD+WC(I)*DX
   14   CONTINUE
        DELISD=VISD-VISD1+CTRA-CTRA1+FLXS(1)*DT
        IF(DELISD.GT.0.0)CFLSDP=CFLSDP+DELISD
        CFLSD=CFLSD+DELISD
```

```
C
C ----  CALCULATION OF GROUNDWATER LEVEL.
C ----  ONLY IF KOD(1)=1,KOD(1)=2 OR KOD(1)=3.
        IF(IWT.EQ.1)    CALL CALGWL(PH,WC)
C
C ----  CALCULATION OF DIF. MOIST. CAPACITIES AND HYDR. CONDUCTIVITIES.
        CALL DMCCON(WC)
C
C ----  CALCULATION OF FLUXES IN BETWEEN THE NODAL POINTS.
        CALL FLUXES(PH)
C
C ----  CALCULATION OF ROOT EXTRACTION RATES.
        CALL RER(T,PH)
C
C ----  OUTPUT.
        IF(IPRT.EQ.1.OR.ITS.EQ.1)    CALL PRTPLT(T,WC,PH,ITS,NTS,NPRA)
C
C --- ADJUSTMENT OF HS AND AVDER (ONCE PER WEEK)
        IF(ABS(T-TNWEEK).GT.1.0E-05) GO TO 18
        IDAY=T+0.00001
        GMIN3 =DOUTP(IDAY-3,9)
        GMIN10=DOUTP(IDAY-10,9)
        SPMINE=0.
        DO 7 I=IDAY-7,IDAY-1,1
          SPMINE=SPMINE+PREC(I)-EP(I)-ES(I)
 7      CONTINUE
        PMINE=SPMINE/7.
        CALL BEHEER(IDAY,CHNL,CHNR,VISD)
        TNWEEK=TNWEEK+7.
C
C ----  CALCULATION OF NEXT TIME STEP (DT).
 18     CALL CALCDT(T,ITS)
        IF(T+DT.GT.TEND) GO TO 19
C
C################  GO TO     'S T A R T   O F   T I M E   S T E P' ###
        GO TO 10
C
 19     DO 20 IDAY=1,365
          CUMT(IDAY) =DOUTP(IDAY,3)
          GL(IDAY)   =DOUTP(IDAY,9)
          QKNOL(IDAY)=DOUTP(IDAY,12)
 20     CONTINUE

        CLOSE(UNIT=24)
        OPEN(UNIT=24,ACCESS='APPEND',FILE='GRMAMI.ALL')
        OPEN(UNIT=20,ACCESS='APPEND',FILE='AUTUMN.DAM')
        CALL MAXMIN(L(3),GL)
        CALL CRODAM(L(3),GL,QKNOL,CUMT)
        CLOSE(UNIT=24)
        OPEN(UNIT=24,ACCESS='SEQOUT',FILE='GWLA.DAT')
        WRITE(24,401) GWLA
 401    FORMAT(F)
C
        END
```

Bijlage B (vervolg)

Wijzigingen RDATA:

```
      DO 10 I=1,366
         TEM(I)=0.0
         RH(I)=0.0
         U(I)=0.0001
         HNT(I)=0.0
         CH(I)=0.0001
         SC(I)=0.0
         DCL(I)=0.0
10    CONTINUE
C
C
C** READING AND PRINTING OF INPUT DATA  AND  INITIAL CALCULATIONS ******
C    ------- --- -------- -- ----- ----  ---  ------- ------------
      READ(21,1000) HED
      WRITE(23,1010) HED
      WRITE(23,1020)
      READ(21,*) IBEH,ACAP
      READ(21,1781) (PHASE(I),I=0,7)
      READ(21,1781) (GC(I),I=0,6)
      READ(21,1781) GCMOVE
      IF(IBEH.EQ.0) WRITE(23,1021) PHASE(0)
      IF(IBEH.EQ.1) WRITE(23,1022)
      IF(IBEH.EQ.2) WRITE(23,1031) ACAP
      IF(IBEH.EQ.0) GO TO 35
      WRITE(23,1023)
      WRITE(23,1024)
      WRITE(23,1025)
      GCL=GC(0)-GCMOVE
      WRITE(23,1026) PHASE(0),GCL,GC(0)
      DO 12 I=1,6
        GCU=GC(I-1)-GCMOVE
        GCL=GC(I)-GCMOVE
        WRITE(23,1027) I,PHASE(I),GCU,GCL,GC(I-1),GC(I)
12    CONTINUE
      GCU=GC(6)-GCMOVE
      WRITE(23,1028) PHASE(7),GCU,GC(6)
1021  FORMAT(//' HS IS KEPT AT PHASE(0):',F7.2///)
1022  FORMAT(//'  ONLY CONSERVATION')
1031  FORMAT(//'  CONSERVATION AND IRRIGATION:  ACAP=',F8.3)
1023  FORMAT(//'  OPERATION STRATEGY FOR CHANNEL LEVEL'/)
1024  FORMAT(3X,'I',4X,'PHASE(I)',12X,'GROUNDWATER LEVEL'/)
1025  FORMAT(21X,'RISING',15X,'FALLING'/)
1026  FORMAT(3X,'0',5X,F5.0,10X,'HM>=',F5.0,11X,'HM>=',F5.0)
1027  FORMAT(3X,I1,5X,F5.0,4X,F5.0,'>HM>=',F5.0,5X,F5.0,
     1 '>HM>=',F5.0)
1028  FORMAT(3X,'7',5X,F5.0,4X,F5.0,'>HM',12X,F5.0,'>HM'//)
```

```
290     DO 310 I=L1,L2
          TEM(I)=TEM(I)*0.1+273.15
          RH(I)=RH(I)*0.01
          IF(RH(I).GT.0.999) RH(I)=0.999
          U(I)=U(I)*0.74*0.5
          IF(CH(I).LT.1.0E-3) GO TO 291
          XQ=0.14*0.01*CH(I)
          XCOR= ALOG(2./XQ)/ALOG((2.-0.7*0.01*CH(I))/XQ)
          U(I)=U(I)*XCOR
D         WRITE(23,1830)  I,PREC(I),HSH(I),TEM(I),RH(I),U(I),SC(I),CH(I)
291       PREC(I)=PREC(I)*0.001
310     CONTINUE
C
D       WRITE(23,1300)
C
C ----  CONVERT HSH TO HNT
        DO 312 I=L1,L2
           HSH(I)=HSH(I)*0.1157                    ! JOULE TO WATT
           HNT(I)=0.54*HSH(I)-0.8                  ! SHORT TO NET
  312   CONTINUE

            .
            .
            .
            .
            .

        IF(EPOT.LT.0.5) GO TO 365
        OVER=EPOT-0.5
        EPOT=0.5+0.2*OVER
365     EP(I)=SC(I)*EPOT
        ES(I)=(1.-SC(I))*EWET

            .
            .
            .
            .
            .
            .
            .
C
C  INITIAL HS
        HS=PHASE(0)
        DRATE=0.
        AVOER=0.

        IF(KOD(1).LT.5)    CFLBU=1.E10
        IF(KOD(1).LT.5)    CFLBUP=5.E10
        IF(KOD(1).EQ.0.OR.KOD(1).GT.3)    CQDP=1.E10
        IF(KOD(1).EQ.0.OR.KOD(1).GT.3)    CQD=5.E10
        IF(KOD(1).GT.0.AND.KOD(1).LT.4)    CDEL=1.E10
        IF(KOD(1).GT.0.AND.KOD(1).LT.4)    CDELP=5.E10
C
C
        RETURN
```

Bijlage B (vervolg)

Wijziging BOCO

```
C
20      IF(KOD(1).NE.2)     GO TO 30
        IF(KOD(2).EQ.0)     CHNL=GWL(M)+TA*(GWL(M+1)-GWL(M))
        RDRAIN= CHNR-0.1*CHNR*(CHNL-PHASE(0))/(PHASE(7)-PHASE(0))
        QDEEP1=(CHNL-GWLA)/RDRAIN
        IF(CHNL.LT.-200) QDEEP1=0.
        QDEEP2=-(CHNL+ALPHAR*(GWLA-CHNL)-DGRWL)/SIMPR
        QDEEPA=QDEEP1+QDEEP2
        GO TO 70
```

Wijziging CALGWL: beveiliging tegen het stijgen van de grondwaterstand boven 2,5 * DX cm -mv; het 'overtollige' water wordt van de infiltratie afgetrokken (DVOL < 0) en zodoende als 'runoff' berekend (...)

```
C
10      GWLA=GWLA-CGWLA
        GMAX= -2.5*DX-0.0001
        IF(GWLA.LT.GMAX) GO TO 11
        GWLA=GWLA+CGWLA
        CINF=CINF+DVOL
        DVOL=0.
        RETURN
```

Uit CALCDT is het STOP statement verwijderd omdat het hoofdprogramma anders niet geheel afgewerkt wordt.

Aangepast gedeelte van PRTPLT

```
C
C********* STORAGE OF THE OUTPUT DATA AT THE END OF THE DAY ************
70      IF(ITS.EQ.0)    GO TO 90
        ITS=0
        IF(KOD(3).EQ.1.AND.T.GE.TCROP)CALL POTATO(T)
        AFVOER(IAD)=CAF+COF-CAF2-COF2
        CAF2=CAF ;  COF2=COF
        DOUTP(IAD,1)=CINF
        DOUTP(IAD,2)=(CTRA-CTRA2)
        DOUTP(IAD,3)=CTRA
        DOUTP(IAD,4)=CPTRA
        DOUTP(IAD,5)=AVOER
        DOUTP(IAD,6)=CDELP
        DOUTP(IAD,7)=CDELN
        IF(KOD(1).GT.0.AND.KOD(1).LE.3)    DOUTP(IAD,6)=CQDP
        IF(KOD(1).GT.0.AND.KOD(1).LE.3)    DOUTP(IAD,7)=CQDN
        IF(KOD(1).EQ.5)    DOUTP(IAD,6)=0.
        IF(KOD(1).EQ.5)    DOUTP(IAD,7)=0.
        DOUTP(IAD,8)=VISD
        DOUTP(IAD,9)=GWLA
        IF(KOD(1).GT.3)    DOUTP(IAD,9)=1.E10
        IF(KOD(8).EQ.1.AND.T.GE.TCROP)GO TO 75
        DOUTP(IAD,12)=0.0
        GO TO 77
 75     DOUTP(IAD,12)=QTUBER
 77     CTRA2=CTRA
        CSEV2=CSEV
        DOUTP(IAD,10)=HS
        DOUTP(IAD,11)=CHNL
        IAD=IAD+1
C
C************** PRINTING OF THE OUTPUT DATA  ***************************
        IF(T.LT.TEND)    GO TO 90
        WRITE(23,1080)
        WRITE(23,1090)
        WRITE(23,1100)
        WRITE(23,1110)
        IFD=TINIT+1
        ILD=T
C
        DO 80 I=IFD,ILD,7
           WRITE(23,1120) I,(DOUTP(I,J),J=1,12),I
80      CONTINUE
        WRITE(23,1110)
        WRITE(23,1090)
        WRITE(23,1094) CAV,CAF,COF
 1094   FORMAT(//' CAV=',F8.2/' CAF=',F8.2/' COF=',F8.2)
        OVERF=CINF+CQD-CTRA-CSEV-(VOL-VOLI)
        FROP=(60.+3.*(PHASE(0)+140.))/17000.
        OVERW=(CPREC-CPTRA-CPSEV)*FROP-CQD*(1.-FROP)+CAV-COF-CAF
        WRITE(23,1122) OVERF,OVERW
 1122   FORMAT(//' SURPLUS OF WATER BALANCE:'/
        1 ' FIELD  :',F10.3/' CHANNEL:',F10.3)
        WRITE(23,1095) NDR10,NUP10,NDR,NUP
 1095   FORMAT(/' NUMBER OF DROPS MORE THAN 10 CM:',I5/
        1 ' NUMBER OF RISES  "    "    "   :',I5//
        2 ' NUMBER OF DROPS:',I5/' NUMBER OF RISES:',I5)
        WRITE(24,1096) (AFVOER(J),J,J=1,365)
 1096   FORMAT(F7.3,2X,I5)
        WRITE(21,6666) (DOUTP(IAD,9),IAD=1,361,5)
 6666   FORMAT(10F7.0)
        STOP
```

B.8. Berekening van de maatgevende afvoer

Het is interessant om te weten of een bepaald type waterbeheer invloed heeft op de maatgevende afvoer. De maatgevende afvoer is gedefinieerd als de afvoer die gemiddeld één keer per jaar wordt overschreden.

Stel men heeft een n jaar lange reeks van dagafvoeren. Dan is de beste schatter voor de m.a. de op (n-1) na hoogste waarde.

Het geschreven computerprogramma is zeer efficiënt doordat de hoogste n waarden (n=11 jaar in de gegeven versie) steeds gesorteerd worden gehouden: hoe verder het programma gevorderd is met het afzoeken van een gegevensreeks hoe vaker een waarde 'verworpen' wordt aan de hand van de laagste van de tot dan toe geselecteerde hoogste n waarden.

```
*    PROGRAMMA VOOR HET SELECTEREN VAN DE 11 HOOGSTE AFVOEREN UIT
*    EEN REEKS VAN 4015 WAARDES (11 JAREN)
*
          DIMENSION H(11),IDAY(11)
          OPEN(UNIT=21,ACCESS='SEQIN',FILE='AF.DAT')
          DO 10 I=1,11
            H(I)=0.001-0.00001*I
 10       CONTINUE

          DO 100 I=1,4015
            READ(21,*) A,JD
            IF(A.LT.H(11)) GO TO 100
            H(11)=A
            IDAY(11)=JD
            DO 60 J=10,1,-1
              IF(H(J).GT.H(J+1)) GO TO 100
              TEMP=H(J)
              H(J)=H(J+1)
              H(J+1)=TEMP
              IT=IDAY(J)
              IDAY(J)=IDAY(J+1)
              IDAY(J+1)=IT
 60         CONTINUE
 100      CONTINUE
          CLOSE(UNIT=21)
          OPEN(UNIT=21,ACCESS='SEQOUT',FILE='HIGH.DAG')
          WRITE(21,1100) (H(I),IDAY(I),I=1,11)
 1100     FORMAT(//' ELEVEN HIGHEST VALUES (CM/DAY):/',11(/F8.3,2X,I4))
          CLOSE(UNIT=21)
          END
```

RESULTATEN

C.1. Tabellen

Gebruikte afkortingen:

N	= neerslag
T_p	= potentiële transpiratie
T_b	= berekende actuele transpiratie
red_1	= reductie van T_b in verband met omstandigheden in het voorjaar
T_w	= gecorrigeerde T_b
n_i	= aantal 'niet werkbare dagen'
red_2	= reductie van T_b in verband met omstandigheden tussen 15 september en 1 november
Σa	= seizoenaanvoer
n_{-20}	= aantal verlagingen van het stuwpeil met 20 cm
alt.0	= 'constant stuwpeil'
alt.1	= conservering
alt.2	= aanvoer met a_{cap} = 0,75 mm/d
alt.3	= " " " = 1,50 "
alt.4	= " " " = 2,5 "
ΔT_c	= conserveringseffect
$\Delta T_{0,75}$	= aanvoereffect bij a_{cap} = 0,75 mm/d
$e_{0,75}$	= effectiviteit van de aanvoer (hier berekend met $e_{0,75}$ = $= (\Delta T_{0,75}/\Sigma a_{0,75}) * 100\%$

Voor de berekening van red_2 wordt 'conservering' als referentieniveau genomen.

Profielen 2, 3 en 4 zijn doorgerekend voor 6 alternatieven in plaats van 5: de aanvankelijke berekeningen voor a_{cap} = 1,5 mm/d bleken gedaan te zijn met een suboptimale VM-waarde in subroutine BEHEER (zie ook opmerkingen in Bijlage A.2).

Profielen 1,5,6 en 7 zijn voor a_{cap} = 1,5 mm/d eveneens doorgerekend met een suboptimale VM-waarde. Om de rekenkosten te beperken zijn geen nieuwe berekeningen verricht. Wel zijn de langjarig gemiddelden van $\Delta T_{1,5}$ door middel van interpolatie aan de hand van de resultaten voor profielen 2,3 en 4 geïnterpoleerd: deze geïnterpoleerde waarden vindt men in tabel 2.3.

De gemiddelden van T_b en ΔT zijn in de tabellen afgerond op de 0,1 mm, terwijl ze berekend zijn uit waarden die afgerond zijn op de mm. Achteraf bezien is dit nogal ongelukkig omdat de ΔT-waarden zo laag blijken te zijn. Een statistische beschouwing leert echter dat de schade meevalt:
Door af te ronden op de mm wordt een afrondingsfout van maximaal 0,5 mm geïntroduceerd. Aannemende dat de afrondingsfout een uniforme verdeling heeft op het interval [0,5; 0,5], komt dit overeen met de introductie van een standaardafwijking σ van

$$0{,}5 * 0{,}68 = 0{,}34 \text{ mm}$$

Uit de statistiek is bekend dat wanneer $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$

dan

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sigma_x$$

Na middeling van 11 T-waarden blijft er dus nog een geïntroduceerde standaardafwijking over van $\sigma_{\bar{T}} = \frac{1}{\sqrt{11}} \cdot 0{,}34 = 0{,}10$ mm

Aangezien ΔT totstandkomt door twee $\bar{T}$-waarden van elkaar af te trekken, geldt

$$\sigma_{\Delta T} = \sqrt{2} \cdot \sigma_{\bar{T}} \cong 0{,}15 \text{ mm}$$

Tabel 1a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: iWp; Dr.w.st.: 100 d; kwel: 0 mm/d
Gewas : fabrieksaardappelen
Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	305	310	285	308	305	294	272	281	262	248	262	284	284,7
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0.	0.	0	0.	0	0	0.
T_w (mm)	305	310	285	308	305	294	272	281	262	248	262	284	284,7
n_i (d)	0.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.	0.
alt. 1													
T_b (mm)	317	309	292	313	314	307	275	287	262	246	262	295	289,9
red_1 (mm)	0	0.	0	0.	0	0	0	0	0	0.	0.	0	0
T_w (mm)	317	309	292	313	314	307	275	287	262	246	262	295	289,9
n_i (d)	0	0	0.	0	0	0.	0.	0	0.	0	0	0	0
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	< 0,1
alt. 2													
T_b (mm)	324	309	298	314	317	322	279	288	262	245	262	304	293,7
red_1 (mm)	0	0	0	0	0.	0.	0	0.	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0	0.	0.	0	0	0	0.	0	0	0	0
red_2 (mm)	0.	0	0	0.	0	0	0.	0.	0	0	0.	0	0
T_w (mm)	324	309	298	314	317	322	279	288	262	245	262	304	293,7
Σa (mm)	45	12	39	42	53	53	49	41	19	13	29	44	37
n_{-20}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0,2

* t/m october

\+ gem. van '71 t/m '81

Tabel 1a vervolg

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
x alt. 3													
T_b (mm)	325	309	298	315	326	334	279	288	262	245	262	304	295,6
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	325	309	298	315	326	334	279	288	262	245	262	304	295,6
Σa (mm)	69	8	46	49	71	91	73	39	18	10	25	64	47
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0,2
alt. 4													
T_b (mm)	330	309	296	315	329	360	282	288	262	245	262	308	298,8
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.
n_i (d)	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	< 0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.
T_w (mm)	330	309	296	315	329	360	282	288	262	245	262	308	298,8
Σa (mm)	106	13	72	71	114	149	111	56	28	17	37	103	73
n_{-20}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0,3
Vergelijking													
ΔT_c (mm)	12	-1	7	5	9	13	3	6	0	-2	0	11	5,2
$\Delta T_{0,75}$ (mm)	7	0	6	1	3	15	4	1	0	-1	0	9	3,8
x $\Delta T_{1,5}$ (mm)	8	0	6	2	12	27	4	1	0	-1	0	9	5,7
$\Delta T_{2,5}$ (mm)	13	0	4	2	15	53	7	1	0	-1	0	13	9,0
$\Sigma a_{0,75}$ (mm)	45	12	39	42	53	53	49	41	19	13	29	44	37
x $\Sigma a_{1,5}$ (mm)	69	8	46	49	71	91	73	39	18	10	25	64	47
$\Sigma a_{2,5}$ (mm)	106	13	72	71	114	149	111	56	28	17	37	103	73
$e_{0,75}$ (%)	16	0	15	2	6	28	8	2	0	-18	0	20	10
x $e_{1,5}$ (%)	12	0	13	4	17	30	5	3	0	-10	0	14	12
$e_{2,5}$ (%)	12	0	6	3	13	36	6	2	0	- 6	0	13	12

x dit alternatief is doorgerekend met een suboptimale waarde van VM in subroutine BEHEER; zie ook opmerkingen in Bijlage A.2 en op eerste blz. van Bijlage C.1

Tabel 2a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: iWp; Dr.w.st.: 200 d; kwel:-0,5 mm/d bij gr.w.st. 90 cm -mv
→ 0 bij 195 cm -mv

Gewas : fabrieksaardappelen

Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	296	310	281	300	304	276	271	279	262	248	262	279	280,7
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	296	310	281	300	304	276	271	279	262	248	262	279	280,7
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0	0	< 0,1
alt. 1													
T_b (mm)	300	309	287	304	305	276	270	283	262	245	262	286	282,4
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	300	309	287	304	305	276	270	283	262	245	262	286	282,4
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	< 0,1
n_{-20}	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0,3
alt. 2													
T_b (mm)	308	308	291	307	313	286	273	286	262	244	262	293	286,1
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	308	308	291	307	313	286	273	286	262	244	262	293	286,1
Σa (mm)	52	20	46	54	53	53	41	48	23	13	43	47	42
n_{-20}	0	1	0	0	1	0	2	0	0	2	1	0	0,6

* t/m october
\+ gem. van '71 t/m '81

Bijlage C (vervolg)

Tabel 2a vervolg

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
x alt. 3a													
T_b (mm)	309	307	292	307	320	298	276	285	262	244	262	294	288,0
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	< 0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	309	307	292	307	320	298	276	285	262	244	262	294	288,0
Σa (mm)	84	16	56	73	75	100	76	52	22	12	43	71	57
n_{-20}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0,3
x alt. 3b													
T_b (mm)	313	307	290	309	321	301	276	286	262	243	262	299	289,1
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	313	307	290	309	321	301	276	286	262	243	262	299	289,1
Σa (mm)	95	22	72	93	97	105	89	73	32	22	57	82	70
n_{-20} (mm)	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0,3
alt. 4													
T_b (mm)	316	307	292	309	327	323	276	286	262	243	262	300	291,9
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	< 0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	316	307	292	309	327	323	276	286	262	243	262	300	291,9
Σa (mm)	130	25	80	108	116	160	125	78	35	20	64	110	88
n_{-20}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,2

x zie opmerkingen onderaan eerste bladzijde van Bijlage C.1

Tabel 2a vervolg

Vergelijking														
ΔT_c	(mm)	4	-1	6	4	1	0	-1	4	0	-3	0	7	1,8
$\Delta T_{0,75}$	(mm)	8	-1	4	3	8	10	3	3	0	-1	0	7	3,7
$\Delta T_{1,5a}$	(mm)	9	-2	5	3	15	22	6	2	0	-1	0	8	5,6
$\Delta T_{1,5b}$	(mm)	13	-2	3	5	16	25	6	3	0	-2	0	13	6,7
$\Delta T_{2,5}$	(mm)	16	-2	5	5	22	47	6	3	0	-2	0	14	9,6
$\Sigma a_{0,75}$	(mm)	52	20	46	54	53	53	41	48	23	13	43	47	42
$\Sigma a_{1,5a}$	(mm)	84	16	56	73	75	100	76	52	22	12	43	71	57
$\Sigma a_{1,5b}$	(mm)	95	22	72	93	97	105	89	73	32	22	57	82	70
$\Sigma a_{2,5}$	(mm)	130	25	80	108	116	160	125	78	35	20	64	110	88
$e_{0,75}$	(%)	15	-4	9	6	15	19	7	6	0	-8	0	15	9
$e_{1,5a}$	(%)	11	-10	9	6	20	22	8	4	0	-8	0	11	10
$e_{1,5b}$	(%)	14	- 9	4	5	16	24	7	4	0	-9	0	16	10
$e_{2,5}$	(%)	12	- 8	6	5	19	29	5	4	0	-10	0	13	11

Bijlage C (vervolg)

Tabel 3a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: iWp; Dr.w.st.: 200 d; kwel: 0,0 mm/d

Gewas : fabrieksaardappelen

Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	308	306	291	310	315	297	278	284	261	243	262	290	287,1
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0,2
T_w (mm)	308	306	291	310	315	297	278	284	261	243	260	290	286,9
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,9	0	0	0,4
alt. 1													
T_b (mm)	318	306	297	314	310	315	276	287	261	239	262	297	290,2
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	318	306	297	314	310	315	276	287	261	239	262	297	290,2
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	< 0,1
n_{-20}	0	1	1	1	1	0	1	1	1	2	1	1	0,9
alt. 2													
T_b (mm)	324	306	299	315	323	328	279	288	261	235	262	304	293,7
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,4	0,2	0	0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	324	306	299	315	323	328	279	288	261	235	262	304	293,7
Σa (mm)	44	8	39	42	53	50	46	41	15	11	30	43	35
n_{-20}	0	2	1	1	1	0	3	1	1	2	1	1	1,2

* t/m october

\+ gem. van '71 t/m '81

Tabel 3a vervolg

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 3a													
T_b (mm)	324	306	299	315	326	336	279	288	261	236	262	303	294,6
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	< 0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	324	306	299	315	326	336	279	288	261	236	262	303	294,6
Σa (mm)	69	7	46	46	71	87	69	40	18	7	25	64	46
n_{-20}	0	2	1	1	1	0	1	1	1	2	1	1	1
alt. 3b													
T_b (mm)	329	305	299	316	331	345	281	288	261	233	262	307	296,4
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0,9	0,25	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0	0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	329	305	299	316	331	345	281	288	261	233	262	307	296,4
Σa (mm)	80	11	57	64	88	97	85	57	21	15	40	74	57
n_{-20} (mm)	0	1	1	1	1	0	1	1	1	3	1	0	0,9
alt. 4													
T_b (mm)	328	306	299	316	334	358	281	288	261	234	262	307	297,8
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	1,6	0,2	0	0	0	0	0	0,6	0,3	0	0,2
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	328	306	299	316	334	358	281	288	261	234	262	307	297,8
Σa (mm)	105	11	68	69	103	133	109	57	22	12	37	96	69
n_{-20}	0	1	1	1	2	0	2	1	1	2	1	1	1,1

Bijlage C (vervolg)

Tabel 3a vervolg

		'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p		348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
Vergelijking														
ΔT_c	(mm)	10	0	6	4	-5	18	-2	3	0	-4	2	7	3,2
$\Delta T_{0,75}$	(mm)	6	0	2	1	13	13	3	1	0	-4	0	7	3,5
$\Delta T_{1,5a}$	(mm)	6	0	2	1	16	21	3	-1	0	-3	0	6	4,3
$\Delta T_{1,5b}$	(mm)	11	-1	2	2	21	30	5	1	0	-6	0	10	6,2
$\Delta T_{2,5}$	(mm)	10	0	2	2	24	43	5	-1	0	-5	0	10	7,5
$\Sigma a_{0,75}$	(mm)	44	8	39	42	53	50	46	41	15	11	30	43	35
$\Sigma a_{1,5a}$	(mm)	69	7	46	46	71	87	69	40	18	7	25	64	46
$\Sigma a_{1,5b}$	(mm)	80	11	57	64	88	97	85	57	21	15	40	74	57
$\Sigma a_{2,5}$	(mm)	105	11	68	69	103	133	109	57	22	12	37	96	69
$e_{0,75}$	(%)	14	0	5	2	25	26	7	2	0	-36	0	16	10
$e_{1,5a}$	(%)	9	0	4	2	23	24	4	-2	0	-43	0	9	9
$e_{1,5b}$	(%)	14	-9	4	3	24	31	6	2	0	-40	0	14	11
$e_{2,5}$	(%)	10	0	3	3	23	32	5	-2	0	-42	0	10	11

Tabel 3c. Ongelijke maaiveldsligging

De grondwaterstanden van de runs 'alt.1' en 'alt. 3b' (a_{cap} = 1,5 mm/d) zijn op 'disk' opgeslagen: voor de 'lage' gedeeltes is 20 cm bij alle grondwaterstanden opgeteld; vervolgens zijn deze standen weer ingevoerd als randvoorwaarde van een nieuwe run. Voor de hogere gedeeltes is 40 cm van de grondwaterstanden afgetrokken.

L a g e g e d e e l t e s

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 1													
T_b (mm)	341	287	309	315	338	373	286	288	254	219	258	314	298,5
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	8	0	1,0
n_i (d)	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	8,7	4,0	0	1,1
T_w (mm)	341	287	309	315	338	373	286	285	253	219	250	314	297,5
alt. 3b													
T_b (mm)	344	288	310	314	351	399	287	288	254	208	258	319	301,7
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0	8	0	1,2
n_i (d)	0	0	6,9	8,7	0	0	2,1	5,1	0,3	8,8	9,7	1,2	3,6
red_2 (mm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T_w (mm)	343	287	309	313	350	398	284	284	252	207	249	318	299,5
ΔT	2	0	0	-2	12	25	-2	-1	-1	-12	-1	4	2,0

Bijlage C (vervolg)

Tabel 3c. vervolg

Hoge gedeeltes		'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p		348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 1														
T_b	(mm)	271	305	251	275	259	249	237	260	254	247	256	254	259,8
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i	(d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w	(mm)	271	305	251	275	259	249	237	260	254	247	256	254	259,8
alt. 3b														
T_b	(mm)	273	305	251	276	260	250	237	261	254	247	256	256	260,5
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i	(d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
red_2	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w		273	305	251	276	260	250	237	261	254	247	256	256	260,5
ΔT		2	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	2	0,7

Tabel 4a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: iWp; Dr.w.st.: 200 d; kwel: + 0,5 mm/d
Gewas : fabrieksaardappelen
Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	326	294	300	315	329	320	283	289	257	225	261	306	292,1
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0,4
T_w (mm)	326	294	300	315	329	320	283	289	257	225	256	0	291,7
n_i (d)	0	0	3,2	2,0	0	0	0	1,3	1,0	13,0	9,1	0	2,5
alt. 1													
T_b (mm)	331	304	303	317	324	336	281	290	260	218	261	310	294,6
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0,2
T_w (mm)	331	304	303	317	324	336	281	290	260	218	259	310	294,4
n_i (d)	0	0	2,4	0,6	0	0	0	0,2	0	2,7	3,0	0	0,7
n_{-20}	0	1	1	1	0	0	1	1	2	2	1	1	0,9
alt. 2													
T_b (mm)	335	302	305	317	333	349	283	290	260	219	261	313	297,3
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0,2
n_i (d)	0	0	4,9	2,2	0	0	0	1,0	0	2,3	4,1	0	1,2
red_2 (mm)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
T_w (mm)	334,9	301,9	304,9	316,9	332,9	348,9	282,9	289,9	259,9	218,9	258,9	312,9	297,0
Σa (mm)	39	5	29	32	50	47	42	24	7	4	18	35	28
n_{-20}	0	1	1	1	0	0	1	1	2	3	1	2	1,1

* t/m october
\+ gem. van '71 t/m '81

Bijlage C (vervolg)

Tabel 4a. vervolg

		'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p		348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 3a														
T_b	(mm)	335	304	305	317	335	356	283	290	260	220	261	312	298,2
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0,2
n_i	(d)	0	0	5,5	2,2	0	0	0	0,7	0	2,4	3,7	0	1,2
red_2	(mm)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
T_w	(mm)	334,9	303,9	304,9	316,9	334,9	355,9	282,9	289,9	259,9	219,9	258,9	311,9	297,9
Σa	(mm)	57	5	35	30	63	80	62	20	6	2	11	51	35
n_{-20}		0	1	1	1	0	0	1	1	2	3	1	1	1,0
alt. 3b														
T_b	(mm)	337	304	305	317	342	365	285	290	260	221	261	314	300,1
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0,2
n_i	(d)	0	0	6,2	4.0	0	0	0,2	1,2	0	2,4	4,0	0,1	1,5
red_2	(mm)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
T_w	(mm)	336,8	303,8	304,8	316,8	341,8	364,8	284,8	289,8	259,8	220,8	258,8	313,8	299,7
Σa	(mm)	73	10	46	45	72	90	79	29	13	6	16	67	46
n_{-20}		0	1	1	1	0	0	2	1	2	3	1	1	1,1
alt.4														
T_b	(mm)	338	302	305	317	343	375	284	290	260	220	261	314	300,8
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0,2
n_i	(d)	0	0	6,7	3,1	0	0	0,6	1,1	0	2,4	4,3	0,2	1,5
red_2	(mm)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
T_w	(mm)	337,8	301,8	304,8	316,8	342,8	374,8	283,8	289,8	259,8	219,8	258,8	313,8	300,8
Σa	(mm)	88	7	54	44	83	118	93	30	12	4	16	75	52
n_{-20}		0	1	1	1	0	0	2	1	2	3	1	2	1,2
Vergelijking														
ΔT_c	(mm)	5	10	3	2	-5	16	-2	1	3	-7	3	4	2,7
$\Delta T_{0,75}$	(mm)	3,9	-2,1	1,9	-0,1	8,9	12,9	1,9	-0,1	-0,1	0,9	-0,1	2,9	2,6
$\Delta T_{1,5a}$	(mm)	3,9	-0,1	1,9	-0,1	10,9	19,9	1,9	-0,1	-0,1	1,9	-0,1	1,9	3,5
$\Delta T_{1,5b}$	(mm)	5,8	-0,2	1,8	-0,2	17,8	28,8	3,8	-0,2	-0,2	2,8	-0,2	3,8	5,3
$\Delta T_{2,5}$	(mm)	6,8	-2,3	1,8	-0,2	18,8	38,8	2,8	-0,2	-0,2	1,8	-0,2	3,8	6,0
$\Sigma a_{0,75}$	(mm)	39	5	29	32	50	47	42	24	7	4	18	35	28
$\Sigma a_{1,5a}$	(mm)	57	5	35	30	63	80	62	20	6	2	11	51	35
$\Sigma a_{1,5b}$	(mm)	73	10	46	45	72	90	79	29	13	6	16	67	46
$\Sigma a_{2,5}$	(mm)	88	7	54	44	83	118	93	30	12	4	16	75	52
$e_{0,75}$	(%)	10	-42	7	0	18	27	5	-1	-1	23	-1	8	9
$e_{1,5a}$	(%)	7	-2	5	0	17	25	3	-1	-2	(95)	-1	4	10
$e_{1,5b}$	(%)	8	-2	4	0	25	32	5	-1	-2	(47)	-1	6	12
$e_{2,5}$	(%)	8	-31	3	0	23	33	3	-1	-2	45	-1	5	12

Tabel 5a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: iWp; Dr.w.st.: 400 d; kwel: -0,5 mm/d (90 cm -mv)
→ 0 (195 cm -mv)

Gewas : fabrieksaardappelen

Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	298	309	287	304	314	280	275	283	258	245	262	284	283,3
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0,8
T_w (mm)	298	309	287	304	314	280	275	283	258	245	252	284	282,5
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	0	0	0,2
alt. 1													
T_b (mm)	305	308	289	307	308	283	273	284	260	243	262	289	284,3
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0,4
T_w (mm)	305	308	289	307	308	283	273	284	260	243	257	289	283,9
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0	0	< 0,1
n_{-20}	0	1	0	1	0	0	0	1	0	2	1	0	0,5
alt. 2													
T_b (mm)	310	304	293	309	315	290	274	285	259	239	262	294	286,2
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0,4
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	0	0	< 0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	310	304	293	309	315	290	274	285	259	239	257	294	285,8
Σa (mm)	50	14	46	49	53	53	47	48	21	11	36	47	40
n_{-20}	0	1	1	0	1	0	1	1	1	2	1	0	0,8

* t/m october
\+ gem. van '71 t/m '81

Bijlage C (vervolg)

Tabel 5a. vervolg

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
x alt. 3													
T_b (mm)	311	303	293	308	317	299	274	285	260	240	262	293	287,1
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0,4
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0	0	< 0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	311	303	293	308	317	299	274	285	260	240	257	293	286,7
Σa (mm)	75	11	57	71	76	96	74	52	19	10	36	67	54
n_{-20}	0	0	0	1	0	0	1	1	1	2	1	0	0,6
alt. 4													
T_b (mm)	315	302	293	310	322	310	276	286	259	239	262	298	289,3
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0,4
n_i (d)	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0,9	0	0	< 0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	315	302	293	310	322	310	276	286	259	239	257	298	288,9
Σa (mm)	96	16	86	90	105	121	93	73	31	17	51	82	72
n_{-20}	0	1	1	0	1	0	1	0	1	2	1	0	0,8
Vergelijking													
ΔT_c (mm)	7	-1	2	3	-6	3	-2	1	2	-2	5	5	1,4
$\Delta T_{0,75}$ (mm)	5	-4	4	2	7	7	1	1	-1	-4	0	5	1,9
x $\Delta T_{1,5}$ (mm)	6	-5	4	1	9	16	1	1	0	-3	0	4	2,8
$\Delta T_{2,5}$ (mm)	10	-6	4	3	14	27	3	2	-1	-4	0	9	5,1
$\Sigma a_{0,75}$ (mm)	50	14	46	49	53	53	47	48	21	11	36	47	40
x $\Sigma a_{1,5}$ (mm)	75	11	57	71	76	96	74	52	19	10	36	67	54
$\Sigma a_{2,5}$ (mm)	96	16	86	90	105	121	93	73	31	17	51	82	72
$e_{0,75}$ (%)	10	-29	9	4	13	13	2	2	-5	-36	0	11	5
x $e_{1,5}$ (%)	8	-45	7	1	12	17	1	2	0	-30	0	6	5
$e_{2,5}$ (%)	10	-38	5	3	13	22	3	3	-3	-24	0	11	7

x zie opmerkingen aan het begin van Bijlage C.1

Tabel 6a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: iWp; Dr.w.st.: 400 d; kwel: 0 mm/d
Gewas : fabrieksaardappelen
Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	316	195	300	314	322	307	271	287	263	199	259	300	277,8
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	1	9	7	0	10	0	2,3
T_w (mm)	316	195	300	314	322	307	270	278	256	199	249	300	275,5
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	23,0	1,1	0	2,0
alt. 1													
T_b (mm)	322	275	298	315	320	316	278	287	252	209	261	295	285,7
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	10	0	1,0
T_w (mm)	322	275	298	315	320	316	278	285	252	209	251	295	284,7
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,6	0,4	0	0,8
n_{-20}	0	0	1	1	0	0	1	2	1	1	0	2	0,8
alt. 2													
T_b (mm)	326	272	299	316	326	326	279	288	252	193	261	303	286,8
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	10	0	0,9
n_i (d)	0	0	0,8	0,7	0	0	0	0	0	10	2,9	0	1,2
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	326	272	299	316	326	326	279	287	252	193	251	303	285,9
Σa (mm)	41	5	40	41	52	49	40	36	9	9	26	39	32
n_{-20}	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0,4

* t/m october
\+ gem. van '71 t/m '81

Bijlage C (vervolg)

Tabel 6a. vervolg

		'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p		348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
x alt. 3														
T_b	(mm)	326	272	299	316	327	330	278	288	252	196	261	303	287,3
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	10	0	1,0
n_i	(d)	0	0	1,6	0,9	0	0	0	0	0	11,4	2,0	0	1,3
red_2	(mm)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
T_w	(mm)	325,9	271,9	298,9	315,9	326,9	329,9	277,9	285,9	251,9	195,9	250,9	302,9	286,2
Σa	(mm)	61	3	46	45	64	80	59	37	9	5	20	55	40
n_{-20}		0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	2	0,6
alt. 4														
T_b	(mm)	328	271	299	315	330	343	279	288	251	194	261	305	288,7
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	10	0	1,0
n_i	(d)	0	0	3,2	2,0	0	0	0	0,1	0	11,2	3,3	0	1,7
red_2	(mm)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
T_w	(mm)	327,8	270,8	298,8	314,8	329,8	342,8	278,8	285,8	250,8	193,8	250,8	304,8	287,5
Σa	(mm)	73	4	68	69	85	101	75	49	14	9	30	66	54
n_{-20}		0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	0,6
Vergelijking														
ΔT_c	(mm)	6	80	-2	1	-2	9	8	6	-5	10	2	-5	8,9
$\Delta T_{0,75}$	(mm)	4	-3	1	1	6	10	1	2	0	-16	0	8	1,2
x $\Delta T_{1,5}$	(mm)	3,9	-3,1	0,9	0,9	6,9	13,9	-0,1	0,9	-0,1	-13,1	-0,1	7,9	1,6
$\Delta T_{2,5}$	(mm)	5,8	-4,2	0,8	-0,2	9,8	26,8	0,8	0,8	-1,2	-15,2	-0,2	9,8	2,8
$\Sigma a_{0,75}$	(mm)	41	5	40	41	52	49	40	36	9	9	26	39	32
x $\Sigma a_{1,5}$	(mm)	61	3	46	45	64	80	59	37	9	5	20	55	40
$\Sigma a_{2,5}$	(mm)	73	4	68	69	85	101	75	49	14	9	30	66	54
$e_{0,75}$	(%)	10	-60	3	2	12	20	3	6	0	-178	0	21	4
x $e_{1,5}$	(%)	6	-103	2	2	11	17	0	2	-1	(-260)	0	14	4
$e_{2,5}$	(%)	8	-105	1	0	12	27	1	2	-7	-122	-1	15	5

x zie opmerkingen aan het begin van Bijlage C.1

Tabel 7a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: Hn(iWp)23 Dr.w.st.: 200 d; kwel: 0 mm/d
Gewas : fabrieksaardappelen
Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	297	309	280	303	301	279	269	279	261	246	262	278	280,3
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	297	309	280	303	301	279	269	279	261	246	262	278	280,3
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,9	0	0	0,5
alt. 1													
T_b (mm)	307	309	287	309	299	296	266	282	262	240	262	283	283,5
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	307	309	287	309	299	296	266	282	262	240	262	283	283,5
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0,1
n_{-20}	0	1	1	1	1	0	3	1	0	3	1	1	1,1
alt. 2													
T_b (mm)	313	309	289	311	310	308	269	284	262	235	262	291	286,9
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0,7	0,3	0	0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	313	309	289	311	310	308	269	284	262	235	262	291	286,9
Σa (mm)	42	8	33	42	51	50	45	38	16	11	28	43	34
n_{-20}	0	1	1	1	1	0	3	1	2	2	1	0	1,1

* t/m october
\+ gem. van '71 t/m '81

Bijlage C (vervolg)

Tabel 7a. vervolg

		'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p		348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
x alt. 3														
T_b	(mm)	313	309	289	311	308	316	270	284	262	239	262	290	287,8
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i	(d)	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0,7	0,1	0	0,1
red_2	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w	(mm)	313	309	289	311	308	316	270	284	262	239	262	290	287,8
Σa	(mm)	64	7	39	42	69	86	68	34	14	7	21	62	43
n_{-20}		0	2	1	1	0	0	3	1	2	3	1	1	1,1
alt. 4														
T_b	(mm)	316	309	290	311	315	332	272	284	262	235	262	295	290,3
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i	(d)	0	2,5	0,3	0	0	0	0	0	0	0,7	0,4	0	0,3
red_2	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w	(mm)	316	309	290	311	315	332	272	284	262	235	262	295	290,3
Σa	(mm)	93	11	58	64	102	119	105	51	23	10	32	89	63
n_{-20}		0	1	1	1	1	0	3	1	2	3	1	1	1,3
Vergelijking														
ΔT_c	(mm)	10	0	7	6	-2	17	-3	3	1	-6	0	5	3,2
$\Delta T_{0,75}$	(mm)	6	0	2	2	11	12	3	2	0	-5	0	8	3,4
x $\Delta T_{1,5}$	(mm)	6	0	2	2	9	20	4	2	0	1	0	7	4,4
$\Delta T_{2,5}$	(mm)	9	0	3	2	16	36	6	2	0	-3	0	12	6,9
$\Sigma a_{0,75}$	(mm)	42	8	33	42	51	50	45	38	16	11	28	43	34
x $\Sigma a_{1,5}$	(mm)	64	7	39	42	69	86	68	34	14	7	21	62	43
$\Sigma a_{2,5}$	(mm)	93	11	58	64	102	119	105	51	23	10	32	89	63
$e_{0,75}$	(%)	14	0	6	5	22	24	7	5	0	-45	0	19	10
x $e_{1,5}$	(%)	9	0	5	5	13	23	6	6	0	14	0	11	10
$e_{2,5}$	(%)	10	0	5	3	16	30	6	4	0	-30	0	13	11

x zie opmerkingen aan het begin van Bijlage C.1

Tabel 8a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: iWp bov.gr. ; Dr.w.st.: 200 d; kwel: -0,25 mm/d (90 cm -mv)
Hn 21 ondergr. → 0 (195 cm -mv)

Gewas : fabrieksaardappelen
Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	237	300	224	245	231	206	207	240	249	242	239	229	237,4
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	237	300	224	245	231	206	207	240	249	242	239	229	237,4
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
alt. 1													
T_b (mm)	256	301	240	262	244	221	221	254	252	235	253	243	248,5
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	256	301	240	262	244	221	221	254	252	235	253	243	248,5
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	< 0,1
n_{-20}	0	2	0	1	1	0	2	1	1	2	1	0	0,9
alt. 2													
T_b (mm)	267	301	246	269	250	227	224	261	253	232	259	249	253,2
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	1,0	0,1	0	0	0	0	0	0,9	0	0	0,2
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	267	301	246	269	250	227	224	261	253	232	259	249	253,2
Σa (mm)	57	30	49	55	53	53	58	53	34	18	49	55	47
n_{-20}	0	1	0	1	1	0	3	1	0	2	1	0	0,8

* t/m october
\+ gem. '71 t/m '81

Bijlage C (vervolg)

Tabel 8a. vervolg

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
x alt. 3													
T_b (mm)	270	301	251	276	261	235	226	266	253	228	260	253	256,7
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	1,9	0,2	0	0	0	0	0	0,9	0,1	0	0,3
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	270	301	251	276	261	235	226	266	253	228	260	253	256,7
Σa (mm)	68	35	68	73	86	76	83	73	42	23	59	78	64
n_{-20}	0	0	0	1	1	0	3	1	1	2	1	0	0,8
alt. 4													
T_b (mm)	274	302	253	277	262	236	228	266	253	225	260	257	257,8
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,1	0	0,3
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w	274	302	253	277	262	236	228	266	253	225	260	257	257,8
Σa (mm)	79	44	72	85	86	83	89	82	46	33	67	88	71
n_{-20}	0	1	0	1	1	0	3	1	1	2	1	0	0,8
Vergelijking													
ΔT_c (mm)	19	1	16	17	13	15	14	14	3	-7	14	14	11,7
$\Delta T_{0,75}$ (mm)	11	0	6	7	6	6	3	7	1	-3	6	6	4,7
$\Delta T_{1,5}$ (mm)	14	0	11	14	17	14	5	12	1	-7	7	10	8,2
$\Delta T_{2,5}$ (mm)	18	1	13	15	18	15	7	12	1	-10	7	14	9,3
$\Sigma a_{0,75}$ (mm)	57	30	49	55	53	53	58	53	34	18	49	55	47
$\Sigma a_{1,5}$ (mm)	68	35	68	73	86	76	83	73	42	23	59	78	64
$\Sigma a_{2,5}$ (mm)	79	44	72	85	86	83	89	82	46	33	67	88	71
$e_{0,75}$ (%)	19	0	12	13	11	11	5	13	3	-17	12	11	10
$e_{1,5}$ (%)	21	0	16	19	20	18	6	16	2	-30	12	13	13
$e_{2,5}$ (%)	23	2	18	18	21	18	8	15	2	-30	10	16	13

Tabel 9a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: Hn21; Dr.w.st.: 400 d; kwel: -0,5 mm/d (90 cm -mv)
→ 0 (195 cm -mv)

Gewas : fabrieksaardappelen

Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	250	307	240	258	254	215	234	254	253	245	251	242	250,3
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	250	307	240	258	254	215	234	254	253	245	251	242	250,3
n_i (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,2	0	0	0,3
alt. 1													
T_b (mm)	257	302	246	263	256	220	236	259	255	237	256	248	252,9
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	7	0	0,8
T_w (mm)	257	302	246	263	256	220	236	256	255	237	249	248	252,1
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,9	0	0	0,6
n_{-20}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
alt. 2													
T_b (mm)	267	292	251	272	263	226	238	266	255	211	260	254	254,6
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	7	0	0,8
n_i (d)	0	0,1	0,2	0	0	0	0	0	0	10,4	0	0	0,9
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	267	292	251	272	263	226	238	264	255	211	253	254	253,8
Σa (mm)	58	21	50	58	52	53	50	51	32	21	47	53	46
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* t/m october
\+ gem. van '71 t/m '81

Tabel 9a. vervolg

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 3													
T_b (mm)	273	291	258	278	271	238	241	270	255	209	260	256	258,3
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	7	0	0,8
n_i (d)	0	0	2,1	1,3	0	0	0	0	0	10,6	0,1	0	1,2
red_2 (mm)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
T_w (mm)	272,9	290,9	257,9	277,9	270,9	237,9	240,9	267,9	254,9	208,9	252,9	255,9	257,4
Σa (mm)	84	20	73	87	80	88	82	72	39	23	62	75	65
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
alt. 4													
T_b (mm)	276	291	260	281	273	240	242	272	255	208	261	258	259,8
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	7	0	0,8
n_i (d)	0	0	2,6	1,5	0	0	0	0	0	10,5	0,4	0	1,3
red_2 (mm)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
T_w (mm)	275,9	290,9	259,9	280,9	272,9	239,9	241,9	269,9	254,9	207,9	253,9	257,9	258,9
Σa (mm)	91	25	81	93	84	94	86	77	43	28	69	83	71
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vergelijking													
ΔT_c (mm)	7	-5	6	5	2	5	2	2	2	-8	-2	6	1,8
$\Delta T_{0,75}$ (mm)	10	-10	5	9	7	6	2	8	0	-26	4	6	1,7
$\Delta T_{1,5}$ (mm)	15,9	-11,1	11,9	14,9	14,9	17,9	4,9	11,9	-0,1	-28,1	3,9	7,9	5,3
$\Delta T_{2,5}$ (mm)	18,9	-11,1	13,9	17,9	16,9	19,9	5,9	13,9	-0,1	-29,1	4,9	9,9	6,8
$\Sigma a_{0,75}$ (mm)	58	21	50	58	52	53	50	51	32	21	47	53	46
$\Sigma a_{1,5}$ (mm)	84	20	73	87	80	88	82	72	39	23	62	75	65
$\Sigma a_{2,5}$ (mm)	91	25	81	93	84	94	86	77	43	28	69	83	71
$e_{0,75}$ (%)	17	-48	10	16	13	11	4	16	0	-124	9	11	4
$e_{1,5}$ (%)	19	-56	16	17	19	20	6	17	0	-122	6	11	8
$e_{2,5}$ (%)	21	-44	17	19	20	21	7	18	0	-104	7	12	10

Tabel 10a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: Hn21; Dr.w.st.: 400 d; kwel: 0 mm/d
Gewas : fabrieksaardappelen
Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	264	222	255	273	268	229	242	267	249	199	259	255	248,5
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	10	9	9	0	10	0	3,2
T_w (mm)	264	222	255	273	268	229	232	258	240	199	249	255	245,3
n_i (d)	0	0	0,7	0,5	0	0	0	0	0	23	0	0	2,0
alt. 1													
T_b (mm)	274	218	261	284	271	244	244	271	250	192	260	259	252,3
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	10	9	9	0	10	0	3,2
T_w (mm)	274	218	261	284	271	244	234	262	241	192	250	259	249,1
n_i (d)	0	0	1,5	0,7	0	0	0	0	0	23,7	0,9	0	2,2
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
alt. 2													
T_b (mm)	286	217	271	297	284	253	248	279	250	189	262	267	258,6
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	10	9	9	0	10	0	3,2
n_i (d)	0	0	10,1	8,4	0	0	0,3	5,9	1,0	24,0	12,8	0	5,2
red_2 (mm)	1,1	0,7	1,1	0,6	0,9	0,8	1,0	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
T_w (mm)	284,9	216,3	269,9	296,4	283,1	252,2	237,0	269,4	240,3	188,2	251,2	266,2	254,6
Σa (mm)	46	0	45	50	46	42	46	46	18	12	41	43	36,3
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,1
alt. 3													
T_b (mm)	288	217	274	299	289	259	249	279	250	190	262	268	260,3
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	10	9	9	0	10	0	3,2
n_i (d)	0	0	10,9	10,1	0	0	1,7	8,6	1,1	23,7	12,9	0,6	5,8
red_2 (mm)	1,2	0,7	1,2	0,6	1,0	0,9	1,1	0,6	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9
T_w (mm)	286,8	216,3	272,8	298,4	288	258,1	237,9	269,4	240,2	189,1	251,2	267,1	256,2
Σa (mm)	54	0	53	58	57	54	57	53	20	10	41	53	42,5
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,1
alt. 4													
T_b (mm)	288	217	274	300	289	259	250	280	250	191	262	269	260,8
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	10	9	9	0	10	0	3,2
n_i (d)	0	0	11,1	10,0	0	0	1,7	7,4	1,4	23,0	13,6	0,7	5,7
red_2 (mm)	1,2	0,7	1,2	0,6	1,0	0,9	1,1	0,6	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9
T_w (mm)	286,8	216,3	272,8	299,4	288	258,1	238,9	270,4	240,2	190,1	251,2	268,1	256,6
Σa (mm)	55	0	54	59	57	55	57	52	22	15	43	55	43,7
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,1

* t/m october +gem. van '71 t/m '81

Bijlage C (vervolg)

Tabel 10a. vervolg

		'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p		348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
Vergelijking														
ΔT_c	(mm)	10	-4	5	11	3	15	2	4	1	-7	1	4	3,8
$\Delta T_{0,75}$	(mm)	10,9	-1,7	8,9	12,4	12,1	8,2	3,0	7,4	-0,7	-3,2	1,2	7,2	5,5
$\Delta T_{1,5}$	(mm)	12,8	-1,7	11,8	14,4	17,0	14,1	3,9	7,4	-1,1	-2,9	1,2	8,4	7,1
$\Delta T_{2,5}$	(mm)	13,8	-1,7	11,8	15,4	17,0	14,1	4,9	8,4	-1,1	-1,9	1,2	9,4	7,5
$\Sigma a_{0,75}$	(mm)	46	0	45	50	46	42	46	46	18	12	41	43	36,3
$\Sigma a_{1,5}$	(mm)	54	0	53	58	57	54	57	53	20	10	41	53	42,5
$\Sigma a_{2,5}$	(mm)	55	0	54	59	57	55	57	52	22	15	43	55	43,7
$e_{0,75}$	(%)	24	-	20	25	26	20	7	16	-4	-27	3	17	15
$e_{1,5}$	(%)	24	-	22	25	30	26	7	14	-6	-29	3	16	17
$e_{2,5}$	(%)	23	-	21	26	30	25	9	15	-5	-13	3	17	17

Tabel 11a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: Hn21; Dr.w.st.: 800 d; kwel: -0,5 mm/d (90 cm -mv)
→ 0 (195 cm -mv)

Gewas : fabrieksaardappelen

Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	253	304	249	264	264	219	238	262	245	224	255	250	252,3
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	10	10	9	0	10	0	3,3
T_w (mm)	253	304	249	264	264	219	228	252	236	224	245	250	249,0
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,9	0	0	1,1
alt. 1													
T_b (mm)	259	295	251	267	265	223	239	264	245	206	257	252	251,9
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	10	10	9	0	10	0	3,3
T_w (mm)	259	295	251	267	265	223	229	254	236	206	247	252	248,6
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,4	0	0	1,5
n_{-20}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
alt. 2													
T_b (mm)	264	189	255	273	269	228	240	267	245	189	259	255	244,4
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	10	0	3,3
n_i (d)	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	21,1	0	0	1,8
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	264	189	255	273	269	228	230	257	235	189	249	255	241,1
Σa (mm)	52	0	42	52	43	51	43	43	21	15	42	45	37
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* t/m october
\+ gem. van '71 t/m '81

Tabel 11a. vervolg

		'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p		348	312	314	317	355	409	294	290	263	259	262	324	312
alt. 3														
T_b	(mm)	264	190	255	273	269	229	240	267	245	189	259	254	244,5
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	10	0	3,3
n_i	(d)	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	21,1	0	0	1,8
red_2	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w	(mm)	264	190	255	273	269	229	230	257	235	189	249	254	241,2
Σa	(mm)	55	0	45	58	47	62	48	46	18	14	43	48	40
n_{-20}		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
alt. 4 : beregening														
T_b	(mm)	330	190	300	303	323	365	271	279	245	221	260	307	282,8
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	10	0	3,3
n_i	(d)	0	0	10,1	2,1	0	0	0	0	0	13,5	3,3	0	2,4
$^+red_2$	(mm)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
T_w	(mm)	329,7	189,7	299,7	302,7	322,7	364,7	260,7	268,7	244,7	220,7	249,7	306,7	279,2
Σa	(mm)	133	0	128	99	128	222	69	70	30	1	70	130	90
Vergelijking														
ΔT_c	(mm)	6	-9	2	3	1	4	1	2	0	-18	2	2	-0,3
$\Delta T_{0,75}$	(mm)	5	-106	4	6	4	5	1	3	-1	-17	2	3	-7,5
$\Delta T_{1,5}$	(mm)	5	-105	4	6	4	6	1	3	-1	-17	2	2	-7,5
$\Delta T_{ber.}$	(mm)	77	(-114)	51	39	59	146	33	17	-1	-3	5	57	44*
$\Sigma a_{0,75}$	(mm)	52	0	42	52	43	51	43	43	21	15	42	45	37
$\Sigma a_{1,5}$	(mm)	55	0	45	58	47	62	48	46	18	14	43	48	40
Σa_{ber}	(mm)	133	(0)	128	99	128	222	69	70	30	1	70	130	98*
$e_{0,75}$	(%)	10	-	10	12	9	10	2	7	0	-113	5	7	-20
$e_{1,5}$	(%)	9	-	9	10	9	10	2	7	-6	-121	5	4	-19
$e_{ber.}$	(%)	58	-	40	39	46	66	48	24	-3	-	7	44	45

+ t.o.v. alt. 0 1,3 dagen eerder oogsten

* 1972 is niet meegeteld.

Tabel 12a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: zVz; Dr.w.st. 200d; kwel: +0 mm/d
Gewas : fabrieksaardappelen
Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	268	305	249	273	268	248	244	258	252	245	254	252	259,7
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	268	305	249	273	268	248	244	258	252	245	254	252	259,7
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	0	0	0,1
alt. 1													
T_b (mm)	276	305	253	282	268	255	240	263	253	246	257	257	262,9
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	276	305	253	282	268	255	240	263	253	246	257	257	262,9
n_i (d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_{-20}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0,3
alt. 2													
T_b (mm)	279	305	256	286	275	262	242	265	253	246	258	259	265,5
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i (d)	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<0,1
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	279	305	256	286	275	262	242	265	253	246	258	259	265,5
a (mm)	45	5	35	48	44	47	45	42	21	15	38	42	36
n_{-20}	0	0	0	0	2	0	0	0	2	1	1	0	0,5

* t/m october
\+ gem. van '71 t/m '81

Bijlage C (vervolg)

Tabel 12a. vervolg

		'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
T_p		348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 3														
T_b	(mm)	280	305	257	284	276	264	243	265	252	246	259	260	265,9
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i	(d)	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	< 0,1
red_2	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w	(mm)	280	305	257	284	276	264	243	265	252	246	259	260	265,9
Σa	(mm)	59	5	47	64	66	68	77	47	30	22	47	54	49
n_{-20}		0	1	0	0	2	0	1	0	1	1	1	0	0,6
alt. 4														
T_b	(mm)	280	305	256	285	276	268	244	265	253	246	259	260	266,4
red_1	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_i	(d)	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	< 0,1
red_2	(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w	(mm)	280	305	256	285	276	268	244	265	253	246	259	260	266,4
Σa	(mm)	59	14	54	66	69	74	84	44	30	20	50	55	52
n_{-20}		0	1	0	0	2	0	2	0	2	1	1	0	0,8
Vergelijking														
ΔT_c	(mm)	8	0	4	9	0	7	-4	5	1	1	3	5	3,2
$\Delta T_{0,75}$	(mm)	3	0	3	4	7	7	2	2	0	0	1	2	2,6
$\Delta T_{1,5}$	(mm)	4	0	4	2	8	9	3	2	-1	0	2	3	3,0
$\Delta T_{2,5}$	(mm)	4	0	3	3	8	13	4	2	0	0	2	3	3,5
$\Sigma a_{0,75}$	(mm)	45	5	35	48	44	47	45	42	21	15	38	42	36
$\Sigma a_{1,5}$	(mm)	59	5	47	64	66	68	77	47	30	22	47	54	49
$\Sigma a_{2,5}$	(mm)	59	14	54	66	69	74	84	44	30	20	50	55	52
$e_{0,75}$	(%)	7	0	9	8	16	15	4	5	0	0	3	5	7
$e_{1,5}$	(%)	7	0	9	3	12	13	4	4	-3	0	4	6	6
$e_{2,5}$	(%)	7	0	6	5	12	18	5	5	0	0	4	5	7

Tabel 13a. Simulatieresultaten SWATRE + subr. WIJK, BEHEER

Profieltype: zVz; Dr.w.st.: 200d; kwel: + 0,5 mm/d
Gewas : fabrieksaardappelen
Invoergeg. : meteocijfers Eelde 1971 t/m 1982 (october)

	'71	'72	'73	'74	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	Gem.
N (mm)	533	734	754	802	671	556	757	689	862	879	795	524*	730+
T_p (mm)	348	312	314	317	355	409	294	290	263	250	262	324	312
alt. 0													
T_b (mm)	263	303	245	269	263	243	239	254	251	244	249	247	255,8
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	263	303	245	269	263	243	239	254	251	244	249	247	255,8
n_i (d)	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	< 0,1
alt. 1													
T_b (mm)	293	308	270	299	293	283	255	273	258	245	257	273	275,6
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0,3
T_w (mm)	293	308	270	299	293	283	255	269	258	245	257	273	275,3
n_i (d)	0	0	4,2	0,9	0	0	0	0,4	0	0,5	0	0	0,5
n_{-20}	0	2	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0,4
alt. 2													
T_b (mm)	295	308	270	299	293	285	255	273	257	246	257	273	275,9
red_1 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0,3
n_i (d)	0	0	4,3	0,8	0	0	0	0,3	0	0,4	0	0	0,5
red_2 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_w (mm)	295	308	270	299	293	285	255	269	257	246	257	273	275,6
Σa (mm)	9	0	5	2	6	15	18	2	0	0	0	3	5
n_{-20}	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0,4
Vergelijking													
ΔT_c (mm)	30	5	25	30	30	40	16	15	7	1	8	26	19,4
$\Delta T_{0,75}$ (mm)	2	0	0	0	0	2	0	0	-1	1	0	0	0,3

* t/m october
\+ gem. van '71 t/m '81

Bijlage C.2.

FIGUREN

De getekende verlopen in de figuren 'stuwpeil (bij aanvoer) en wijkpeilen' hebben betrekking op drie alternatieven:

—·— : wijkpeil, bij constant stuwpeil van 120 cm -mv
..... : wijkpeil, bij conservering
------- : wijkpeil, bij aanvoer; a_{cap} = 2,5 mm/d
——— : stuwpeil, " " "

De getekende grondwaterstandsverlopen hebben betrekking op dezelfde drie alternatieven:

—·— : grondwaterstand, bij constant stuwpeil van 120 cm -mv
..... : grondwaterstand, bij conservering
——— : grondwaterstand, bij aanvoer; a_{cap} = 2,5 mm/d

Vrijwel altijd valt het stuwpeilverloop bij conservering in het voorjaar samen met dat van aanvoer. Alleen in fig.C.1 is er een verschil; (dat verklaard moet worden uit een toevallige samenloop van omstandigheden: het model SWATRE past de grondwaterstand op discrete tijdstippen aan; hierdoor kunnen kleine afwijkingen ontstaan). De profiel nrs. verwijzen naar de nrs. van Tabel 2.2.

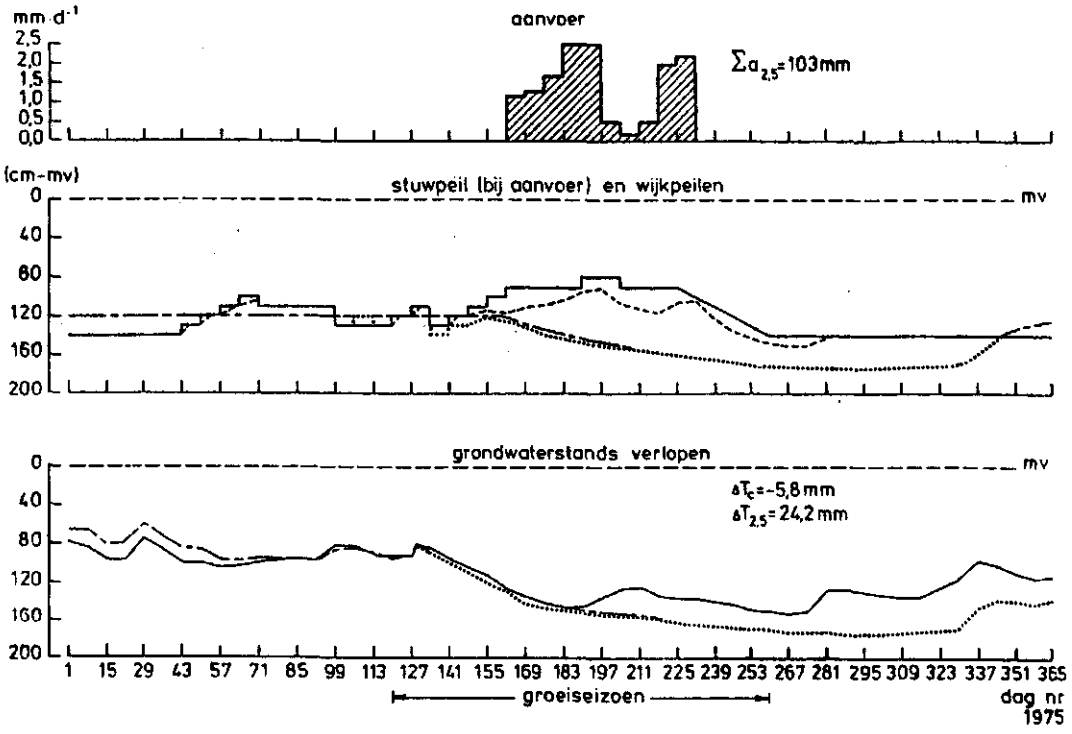


Fig. C.1. Prof. 3: iWp; T = 200d; kwel = 0

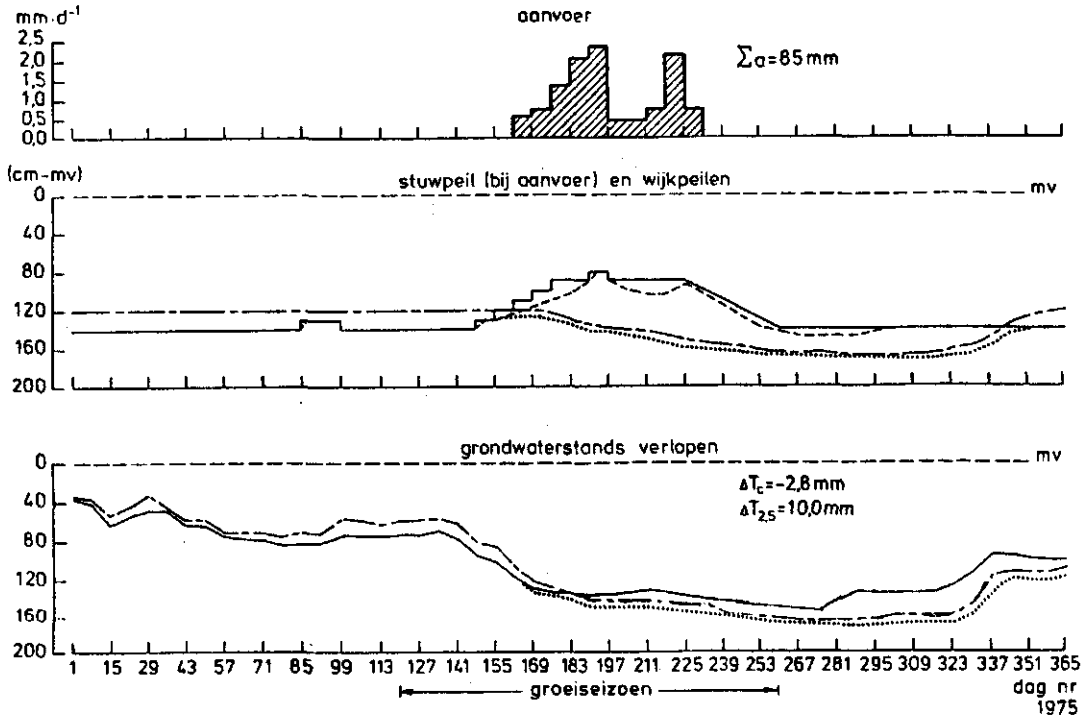


Fig. C.2. Prof. 6: iWp; T = 400d; kwel = 0

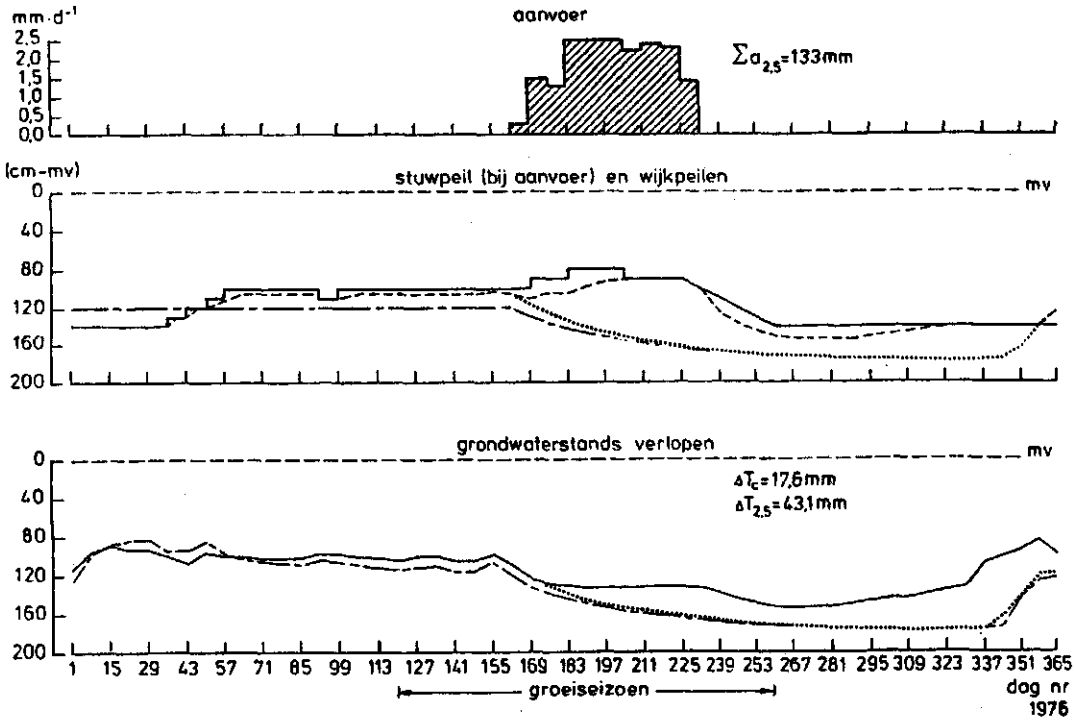


Fig. C.3. Prof.3: iWp; T = 200d; kwel = 0

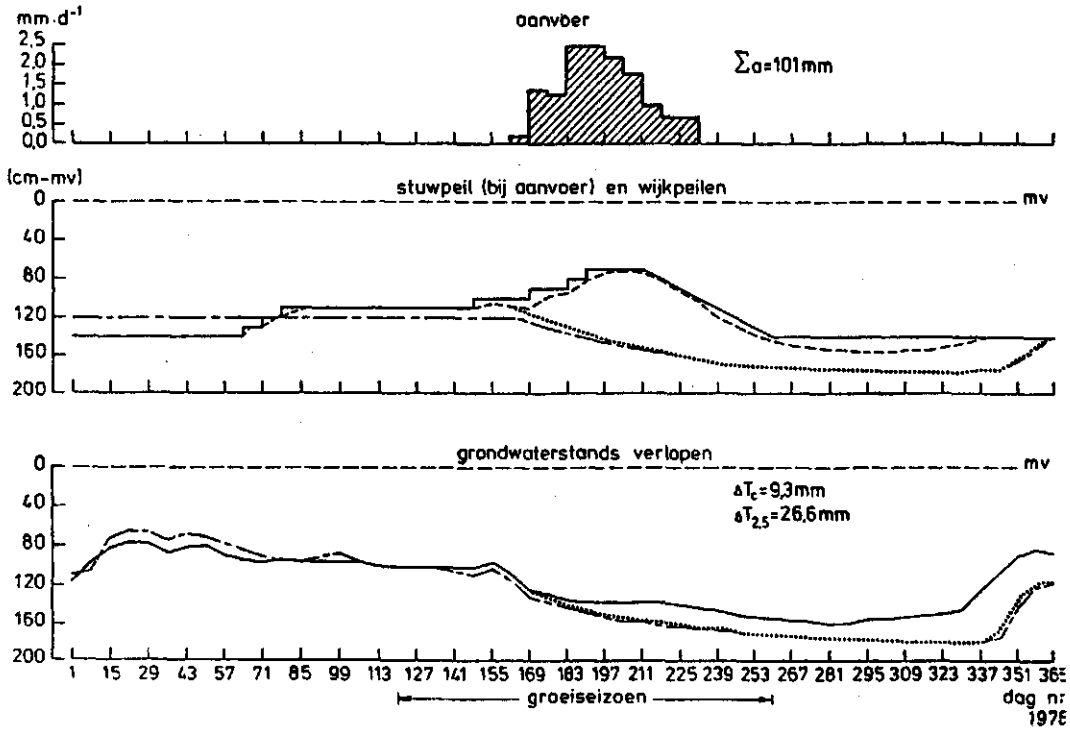


Fig. C.4. Prof.6: iWp; T = 400d; kwel = 0

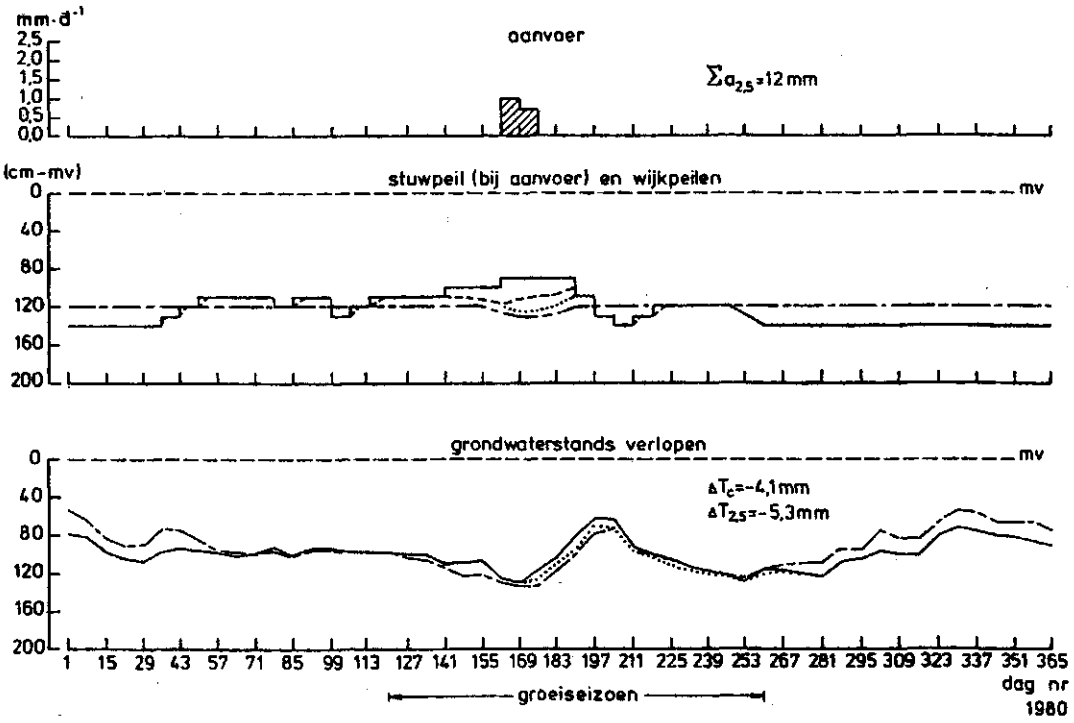


Fig. C.5. Prof.3: iWp; T = 200d; kwel = 0

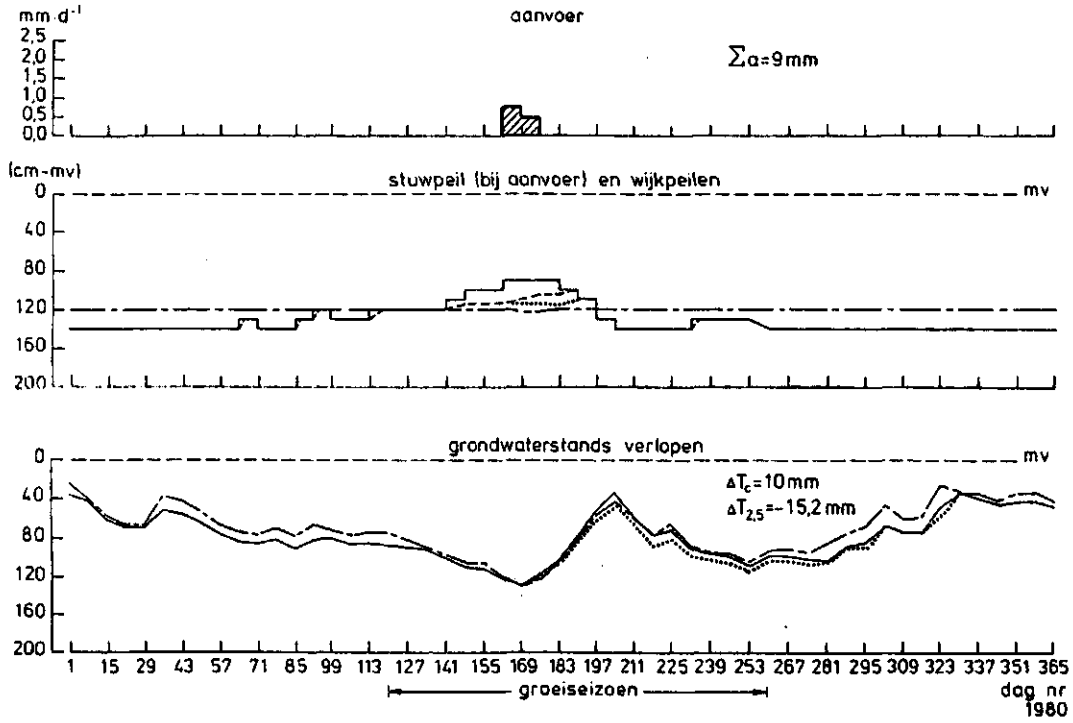


Fig. C.6. Prof.6: iWp; T = 400d; kwel = 0

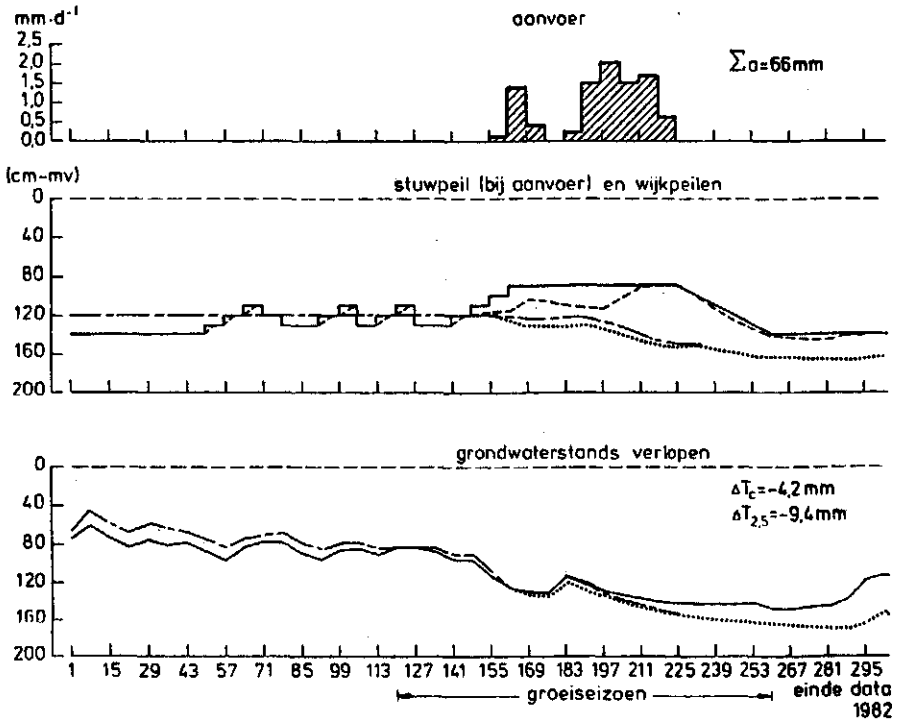


Fig. C.7 Prof.6: iWp; T = 400d; kwel = 0

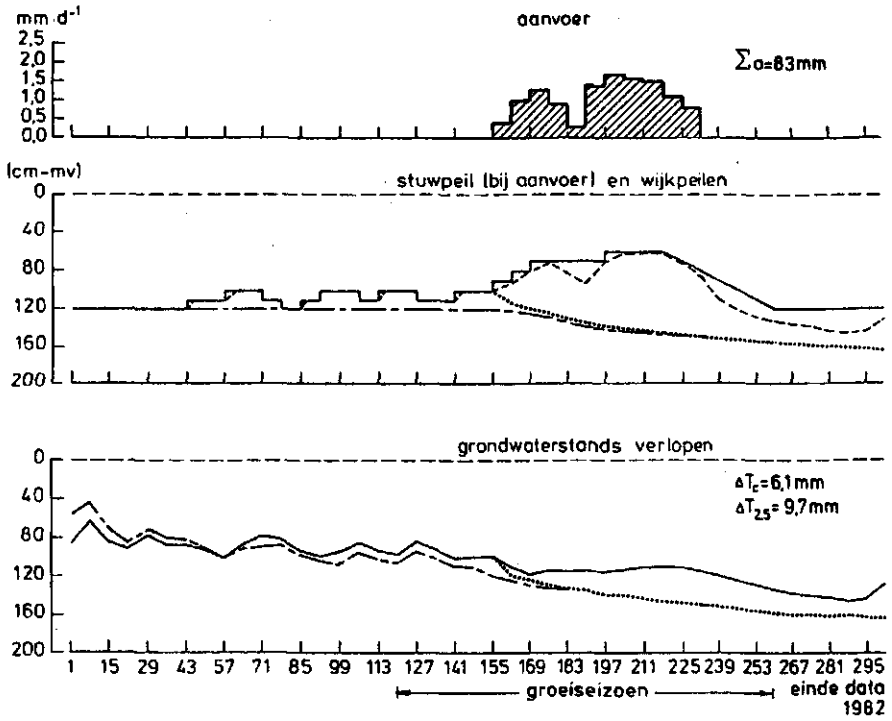


Fig. C.8 Prof.9: Hn; T = 400d; kwel = -0,5 mm/d

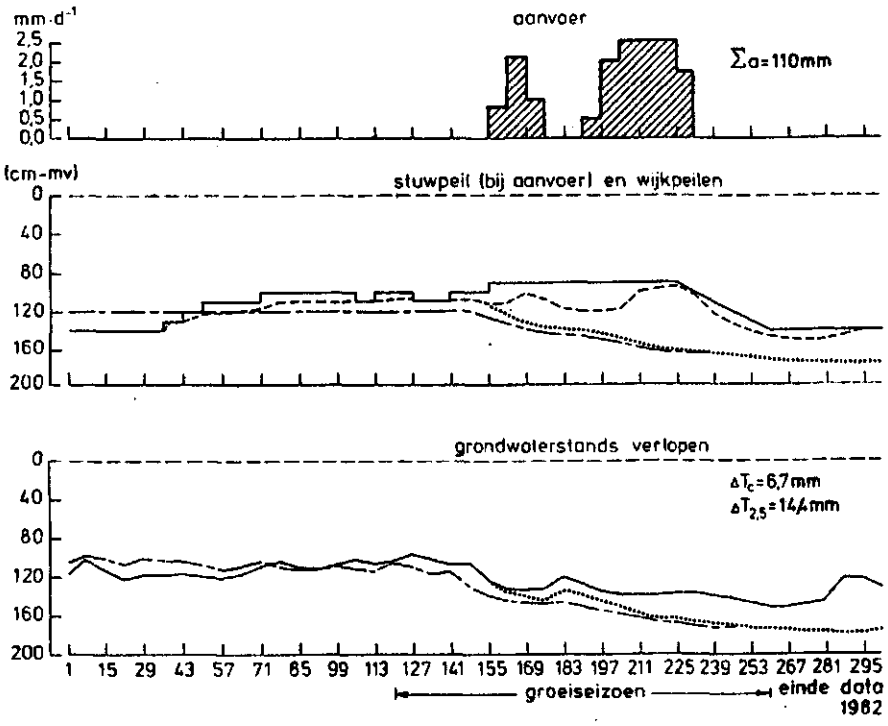


Fig. C.9. Prof.2: iWp; T = 200d; kwel =-0,5 mm/d

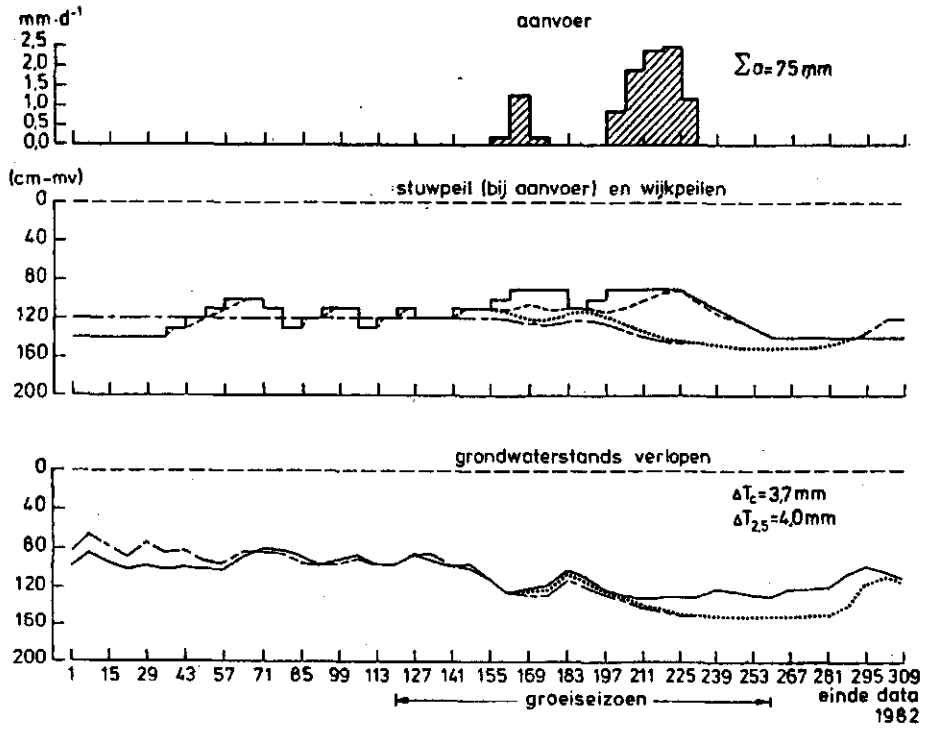


Fig. C.10. Prof.4: iWp; T = 200d; kwel = +0,5 mm/d

Bijlage C.3.

BEREKENDE Gt's

In tabel 3.2.1. zijn de berekende GHG's, GLG's en bijbehorende Gt's bijeengebracht (zie ook A.6).

Voor het gemak van de lezer worden de globale verdampingsreducties (zie ook de hoofdtekst) opgesomd:

iWp	: 9%	van	T_p
Hn23	: 10%	"	"
iWp/Hn21	: 24%	"	"
Hn21	: 21%	"	"
zVz	: 17%	"	"

Vergelijking van deze gegevens met die van Tabel C.3.1 leidt tot de conclusie dat het verband tussen Gt en verdampingsreductie ver te zoeken is. Dit wekt weinig verbazing wanneer men bedenkt dat bijvoorbeeld een hoge GLG-waarde (d.w.z. een diepe grondwaterstand aan het einde van de zomer) het gevolg kan zijn van geheel verschillende omstandigheden:

- de betreffende grond kan onderhevig zijn aan sterke wegzijging;
- de betreffende grond kan zeer goede capillaire eigenschappen hebben.

Een ander aspect betreft de omstandigheden in het najaar. Grondwatertrap IV met een GLG tussen 80 en 120 cm -mv, is bepaald niet 'ideaal' uit het oogpunt van bewerk- en berijdbaarheid tijdens de oogst.

Tabel C.3 .1. Grondwatertrappen-classificering van doorgerekende profielen

Grond	iWp						Hn23	iWp/ Hn21		Hn21		zVz	
T(d)	100		200			400	200	200		400	800	200	
Kwel (mm/d)	0	-0,5	0	+0,5	-0,5	0	0	-0,25	-0,5	0	-0,5	0	+1,0
Prof. nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
							GHG (cm -mv)						
art. 0 (constant peil)	94	89	75	60	72	44	71	103	65	36	44	78	86
1 (conservering)	96	95	84	73	79	55	81	83	58	36	44	85	70
2 (a_{cap}= 0,75 mm/d)	96	93	82	73	74	55	80	82	53	37	40	84	69
3 (a_{cap}= 1,5 mm/d)	97	92	82	73	72	52	80	81	52	33	36	83	-
4 (a_{cap}= 2,5 mm/d)	96	91	82	72	71	50	79	81	51	32	34	83	-
							GLG (cm -mv)						
0	164	172	161	142	169	152	159	160	161	137	157	148	139
1	160	170	158	140	169	156	157	147	158	135	156	145	121
2	150	159	148	134	157	145	146	138	143	122	142	135	121
3	147	155	145	133	154	143	144	137	138	122	142	133	-
4	141	148	140	129	150	141	138	137	137	121	-	133	-
							Gt						
0	VII*	VII*	VI	VI	VI	V*	VI	VII*	VI	V*	VI	VI	VI
1	VII*	VII*	VII	VI	VI	VI	VII	VII	VI	V*	VI	VII	VI
2	VII	VII	VII	VI	VI	VI	VI	VII	VI	V*	V*	VII	VI
3	VII	VII	VII	VI	VI	VI	VI	VII	VI	V*	V*	VII	-
4	VII	VII	VII	VI	VI	VI	VI	VII	VI	III*	V*	VII	-
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Bijlage D.

DE INTERNE RENTEVOET BIJ STOCHASTISCHE BATEN

Een alternatief voor het investeringseffect als maatstaf voor de economische haalbaarheid van een investering is de interne rentevoet. Stel men investeert een bedrag K en verkrijgt de daaropvolgende 30 jaar (afschrijvingstermijn, planning horizon) de reeks baten

$b, b_2, b_3, \ldots\ldots b_{30}$.

De interne rentevoet is de rente waarbij de 'gekapitaliseerde' baten gelijk zijn aan de investering, dus de r.v. (%) waarbij

$$K = \sum_{n=1}^{30} \{b_n/(1 + rv/100)^n\}$$

De interne rentevoet moet door middel van een iteratieprocedure worden gevonden: als bij een waarde van r.v. de gekapitaliseerde baten k l e i n e r zijn dan K, dan moet de r.v. v e r l a a g d worden. Gevonden werd dat de volgende procedure een redelijk snelle convergentie heeft:

- initialiseer r.v.
- bereken $B = \sum_{n=1}^{30} \{b_n/(1+rv/100)^n\}$
- neem nieuwe r.v. = r.v. * B/K

De netto baten van aanvullende vochtvoorziening variëren van jaar tot jaar zeer sterk. Deze baten hebben dus een stochastisch karakter: er zijn oneindig veel reeksen van 30 achtereenvolgende waarden mogelijk. Een aantal van de mogelijke reeksen kan gegenereerd worden indien de kansverdeling van de baten bekend is. Voor ieder van deze 'kunstmatige' reeksen kan de interne rentevoet berekend worden. Zodoende krijgt men een indruk van de kansverdeling van laatstgenoemde grootheid.

In het onderhavige geval is steeds slechts één steekproef van twaalf baten (1971 t/m 1982) beschikbaar. Door deze oude steekproef als de 'populatie' te beschouwen en er steeds trekkingen uit te verrichten zijn op een nogal ruwe wijze toch reeksen van 30 achtereenvolgende waarden te genereren.

Een rekenprogramma werd geschreven voor de HP-11C:*

P r o g r a m m a i n 'p s e u d o - c o d e'

```
DO WHILE (ABS (1-V) > 0,01)
- initieer random generator
- stel geheugen 0 op 0
DO FOR I = 1,30
- trek een waarde
- deel door (1 + rv/100)^I
- tel op bij som baten B
CONTINUE
bereken V = K/B
als ABS (1-V)  <0,01   EXIT
berekenen nieuwe rv = rv/V
CONTINUE
```

G e b r u i k v a n g e h e u g e n s

0	= som 'gekapitaliseerde' baten
1 t/m 12	= populatie van netto baten
.4	= begingetal voor randomgenerator
.5	= aanvangsinvestering (K)
.7	= (1 + rv/100)

P r o g r a m m a i n s t r u c t i e s

f LBL A	STO .3	GTO 2	RCL .3 ÷
f LBL 1	R↓	RCL .5	1+
RCL .4 STO f RAN#	f x>I	RCL 0 ÷	STO .7
0 STO 0	RCL .7	STO .3	GTO 1
1.030 STO I	1/x	1-	f LBL 3
f LBL 2	RCL I	g ABS	RCL .7
f RAN#	g INT	0.01	1- 100X
12X 1+	y^x	f x>y	g RTN
g INT	RCL .3 X	GTO 3	
f x >< I	STO +0	RCL .7	
RCL (i)	f ISG	1-	

*De HP-11C heeft slechts 20 geheugens, zodat de getrokken waarden niet opgeslagen kunnen worden. Door de random generator steeds met hetzelfde getal te initiëren wordt steeds dezelfde reeks van 30-waarden getrokken.

G e b r u i k v a n p r o g r a m m a

Per 'run' hoeft alleen het begingetal voor de randomgenerator gewijzigd te worden. Alleen voor de eerste run moet de gebruiker een getal in geheugen .7 plaatsen (b.v. 1,15). Eén run duurt 5-10 minuten.

Berekeningen werden gedaan voor een iWp-grond, met de kostenparameters voor het Drentse doel. De gebruikte cijfers zijn inmiddels a c h t e r h a a l d. De onderbeschreven resultaten dienen uitsluitend als voorbeeld.

De volgende reeks netto baten (fl/ha) zijn gebruikt:

163.1;-21.4;16.1;14.0;331.7;482.9;59.0;-1.0;-7.3;-108.1;-13.0;138.8.

Het gemiddelde van deze reeks bedraagt 87.9. De vereiste aanvangsinvestering is 593.4. Het op 'traditionele' wijze berekend investeringseffect bedraagt

$$\frac{87.9}{593.4} \times 100\% = 14.8\%$$

De interne rentevoet bij 30 jaar steeds de gemiddelde baten van 87.9 bedraagt 14.5%. (Dit is berekend door het programma te draaien met een populatie van 12 maal 87.9; het een en ander kan men ook uit tabellenboeken halen).

Met de populatie van variërende baten werd de rentevoet berekend voor 46 reeksen van 30 achtereenvolgende trekkingen (zie tabel D.1).

Fig. D.1 geeft de resultaten in een histogram. Het gemiddelde van de berekende waarden bedraagt 15.6%, hetgeen zeer weinig afwijkt van het investeringseffect.

De voorlopige conclusie is dat ook bij stochastische baten het op traditionele wijze berekend investeringseffect een goede maatstaf is voor de economische haalbaarheid van een project.

Uit fig. D.1 kan men verder afleiden dat de kans circa 90% is dat de interne rentevoet groter zal zijn dan de helft van de verwachtingswaarde.

Tabel D.1. Resultaten van 46 runs

Begingetal random generator	Interne rente-voet	Begingetal random generator	Interne rente-voet
0.892	13.0	0.867	22.5
0.247	9.8	0.399	9.5
0.777	10.5	0.096	8.6
0.210	8.7	0.542	6.1
0.007	8.8	0.288	9.7
0.479	7.3	0.864	8.9
0.308	30.5	0.712	11.6
0.178	17.1	0.949	2.4
0.971	20.8	0.986	43.0
0.222	6.6	0.053	3.2
0.816	52.1	0.027	15.5
0.109	15.4	0.500	8.3
0.435	21.8	0.166	21.8
0.601	27.0	0.619	12.4
0.299	8.2	0.182	16.9
0.517	11.4	0.153	12.7
0.755	5.1	0.680	12.7
0.860	12.1	0.100	32.5
0.427	26.7	0.580	26.0
0.386	15.4	0.930	14.6
0.196	11.4	0.282	12.3
0.703	12.8	0.492	10.6
0.547	11.9	0.691	31.0

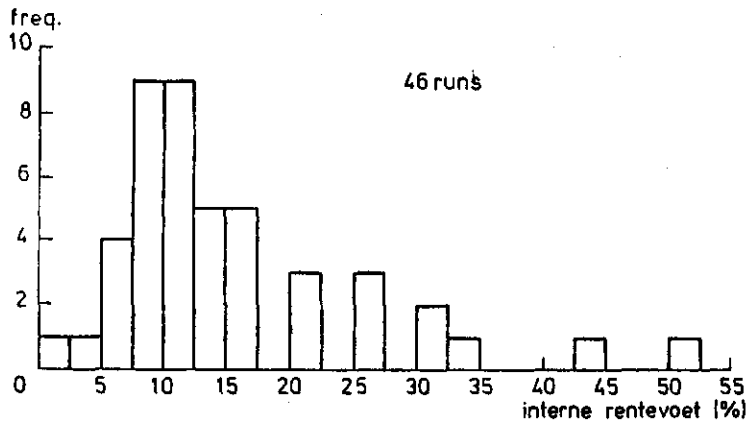


Fig. D.1. Frequentiehistogram