

G. v. Bakel

ICW nota 1623

mei 1985



nota

instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen

BEREKENING VAN LANGJARIGE AANVOEREFFECTEN EN -EFFICIENCIES
TEN BEHOEVE VAN DE BEPALING VAN DE LANDBOUWKUNDIGE BATEN
VAN WATERAANVOER NAAR HET 'TUSSEN-10-PLAN' GEBIED

ir. K.J. Keesman*, ir. P.J.T. van Bakel, ir. J. Kreling**,
ing. B.M. Haayer***

* van 15/7/'84 - 8/4/'85 medewerker aan dit onderzoek.
Momenteel werkzaam bij TH-Twenthe

** medewerker Provinciale Waterstaat, Drenthe

***van 11/2/'84 - 16/5/'84 medewerker aan dit onderzoek.
Momenteel werkzaam bij Prov. Waterstaat Utrecht

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

I N H O U D

	blz.
VOORWOORD	
SAMENVATTING	
1. INLEIDING	1
1.1. Algemeen	1
1.2. Modelberekeningen	2
2. GRONDWATERSTROMING	5
2.1. Modelbeschrijving	5
2.2. Locale grondwaterstroming	7
2.3. Kwel/wegzijging	10
2.3.1. Regionale kwel/wegzijging	10
2.3.2. Subregionale kwel/wegzijging	11
3. PEILBEHEER	12
3.1. Modelbeschrijving	12
3.2. Sub-infiltratie	18
3.3. Berekening	25
4. VERDAMPING	28
4.1. Aardappelen	29
4.2. Gras	33
5. MODELLERING VAN DROOGTE- EN NATSCHADE	34
5.1. Droogteschade	35
5.2. Natschade	36

	blz.
6. INVENTARISATIE HYDROLOGISCHE INVOERGEGEVENS	40
6.1. Drainageweerstand	41
6.2. Regionale kwel/wegzijging	49
6.3. Subregionale kwel/wegzijging	50
6.4. Combinaties	51
7. BEREKENINGSRESULTATEN	53
7.1. Algemeen	53
7.2. Effecten van peilbeheer	55
7.2.1. Conserveringseffect	55
7.2.2. Aanvoereffect en -efficiëncy	57
7.2.3. Berekeningseffect en -efficiëncy	62
7.3. Andere hydrologische effecten	66
8. GEVOELIGHEIDSANALYSES	67
8.1. Peilbeheersingsstrategie	67
8.2. Aanvoercriteria	71
9. CORRECTIES	78
9.1. Algemeen	78
9.2. Subregionaal effect	79
9.3. Ongelijke maaiveldsligging	82
10. EVALUATIE	87
LITERATUUR	91
SYMBOLENLIJST	93
BIJLAGE A. Berekeningsresultaten per onderscheiden eenheid	96
BIJLAGE B. Voorbeelden van jaarlijkse berekenings- resultaten	114

VOORWOORD

Dit rapport is het verslag van een opdracht van Provinciale Waterstaat Drenthe aan het ICW om de landbouwkundige effecten van wateraanvoer naar het zogenaamde 'tussen-10-plan' gebied te bepalen. Anders dan deze aanhef zou doen vermoeden, is de uitvoering van deze opdracht een co-productie geworden van ICW en Provinciale Waterstaat. Met name de manier waarop bij de Provinciale Waterstaat de gegevens zijn opgeslagen en toegankelijk zijn, vormt een onmisbare schakel in het tot uitvoer brengen van een dergelijke opdracht. Vermeldenswaard is bovendien, dat een groot deel van de computerberekeningen zijn uitgevoerd op de computer van de provincie. Dit experiment kan zeker als geslaagd worden beschouwd en illustreert daarmee dat het gebruik van computerprogramma's steeds meer gedecentraliseerd zal gaan plaatsvinden.

Aangezien het een verslag betreft van toepassing van een relatief ingewikkeld simulatiemodel, zijn de auteurs zich ervan bewust een voor niet-ingewijden relatief moeilijk toegankelijk rapport te hebben geproduceerd. Ondanks deze handicap hopen zij toch, dat de in dit rapport beschreven resultaten een weg zullen vinden in de besluitvorming omtrent water naar Drenthe.

De Projectleider

SAMENVATTING

De haalbaarheid van wateraanvoer hangt in sterke mate af van de effecten ervan op de opbrengst van landbouwgewassen. Daar de gewasopbrengst afhankelijk is van de vochtvoorziening tijdens het groeiseizoen, kunnen de meeropbrengsten van wateraanvoer berekend worden met een model, dat de effecten van wateraanvoer ten behoeve van peilbeheer en berekening op de verandering van de vochttoestand in de wortelzone kan nabootsen. Zulk een model is het computerprogramma SWADRE (SWATRE-DRENTHE), dat speciaal ten behoeve van dit onderzoek werd samengesteld uit de reeds bestaande computerprogramma's SWATRE en PEILBEHEER.

De toegepaste methode komt in het kort hierop neer. Het voor wateraanvoer in aanmerking komende gebied wordt opgedeeld in een groot aantal bodemkundig-hydrologische eenheden. Deze onderscheiden zich door bodemtype, interactie tussen grondwater en oppervlaktewater en kwel of wegzijging. Per eenheid wordt met het één-dimensionale model SWADRE gedurende 30 historische jaren (1954-1983) de verdamping berekend voor zowel de situatie waarin alleen waterconservering plaatsvindt, als de situatie waarin wateraanvoer plaatsvindt. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen wateraanvoer ten behoeve van peilbeheer en wateraanvoer ten behoeve van berekening met oppervlaktewater. Het langjarig gemiddelde verschil in verdamping is nu het effect van wateraanvoer, waarbij dient te worden vermeld, dat de gevolgen van wateroverlast in de hoogte van de verdamping zijn verdisconteerd. Door een variatie aan te brengen in de maximale capaciteit kan het effect van wateraanvoer worden bepaald als functie van de aanvoercapaciteit, hetgeen noodzakelijk is om te komen tot de keuze van de meest gewenste aanvoercapaciteit. Bovenstaande procedure is toegepast voor zowel grasland als aardappelen.

1. INLEIDING

1.1. A l g e m e e n

Uit het rapport van de WERKGROEP WATERVOORZIENING DRENTHE (1979) blijkt dat in een 10% droog jaar ongeveer 90% van de aanvoerbehoefte voor rekening komt van de landbouw en van verliezen door wegzijging en verdamping uit het open water en van verliezen bij infiltratie en beregening.

In een 50% droog jaar beslaan deze drie posten nog ongeveer 65% van de totale waterbehoefte. Wateriaanvoer is daarom ook in de eerste plaats van belang voor de landbouw. De haalbaarheid van een aanvoerplan moet getoetst worden aan de hoogte van de interne rentevoet. Deze interne rentevoet wordt afgeleid uit de investeringskosten van het aanvoersysteem en de (landbouwkundige) baten minus de exploitatiekosten van dit systeem.

Daar de gewasopbrengst afhankelijk is van de vochtvoorziening tijdens het groeiseizoen kunnen de landbouwkundige baten (meeropbrengsten) berekend worden met een model, dat het vochttransport door de bodem naar de plant simuleert. Door deze berekeningen uit te voeren over een langjarige historische reeks meteorologische gegevens kan een langjarig gemiddelde waarde voor de interne rentevoet worden verkregen. Deze rentevoet kan dan geoptimaliseerd worden voor diverse aanvoercapaciteiten.

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de simulatiemethode met betrekking tot de grondwaterstroming en bodemvochttransport. Daarnaast wordt in hoofdstuk 3 de koppeling tussen open water en grondwater beschreven. Doordat het open waterpeil te sturen is met behulp van landbouwkundige stuwen en wateriaanvoer zal de hele peilbeheersingsstrategie ook gesimuleerd moeten worden. Een toelichting op dit peilbeheer zal eveneens in hoofdstuk 3 worden gegeven.

De verdampingsberekeningen voor zowel bouwland (aardappelen) als grasland worden uiteengezet in hoofdstuk 4. Ook bij conserveringsmaatregelen (het aanbrengen en benutten van voorzieningen om op verantwoorde wijze de afvoer van water te beperken ten behoeve van een betere vochtvoorziening tijdens het groeiseizoen) en eventueel wateraanvoer zal er nog steeds een verdampingstekort ten opzichte van de potentiële gewasverdamping blijven bestaan. De oorzaak hiervan wordt beschreven in hoofdstuk 5.

De methodes waarmee de hydrologische invoergegevens ten behoeve van de modelberekeningen zijn vastgesteld, worden weergegeven in hoofdstuk 6.

In hoofdstuk 7 worden de resultaten samengevat en toegelicht. De verschillende gevoeligheidsanalyses met betrekking tot de modelberekeningen worden in hoofdstuk 8 toegelicht. Ten gevolge van de doorgevoerde schematisaties in berekeningswijzen en invoergegevens ten behoeve van de modelberekeningen worden zogenaamde modelfouten gemaakt. In hoofdstuk 9 wordt daaraan een overzicht gegeven van deze onvolkomenheden, die eigen zijn aan modelmatige berekeningen.

Waar mogelijk zullen correctiefactoren worden vastgesteld, om de fouten enigszins te beperken.

Tenslotte zullen in hoofdstuk 10 enkele conclusies worden weergegeven.

1.2. Modelberekeningen

De berekeningen van het vochttransport door de bodem ten behoeve van de bepaling van de landbouwkundige baten worden uitgevoerd met het niet-stationaire simulatiemodel SWADRE (KEESMAN en VAN BAKEL, 1985). Dit model simuleert de waterbalans van een met gewas begroeid bodemprofiel bij ondiepe grondwaterspiegel in combinatie met een peilbeheer, dat het open waterpeil stuurt.

Het hydrologische systeem dat met dit model wordt gemodelleerd staat schematisch weergegeven in fig. 1.1. Hieruit blijkt, dat zowel de verzadigde en onverzadigde grondwaterstroming als de stroming van water in het oppervlaktewaterstelsel wordt meegenomen, terwijl de atmosfeer als randvoorwaarde fungeert. Aangezien het een 1-dimensionaal model betreft dienen alle onderdelen en stromingsprocessen te worden beschouwd per eenheid van oppervlakte. Zo zal bijvoorbeeld bij

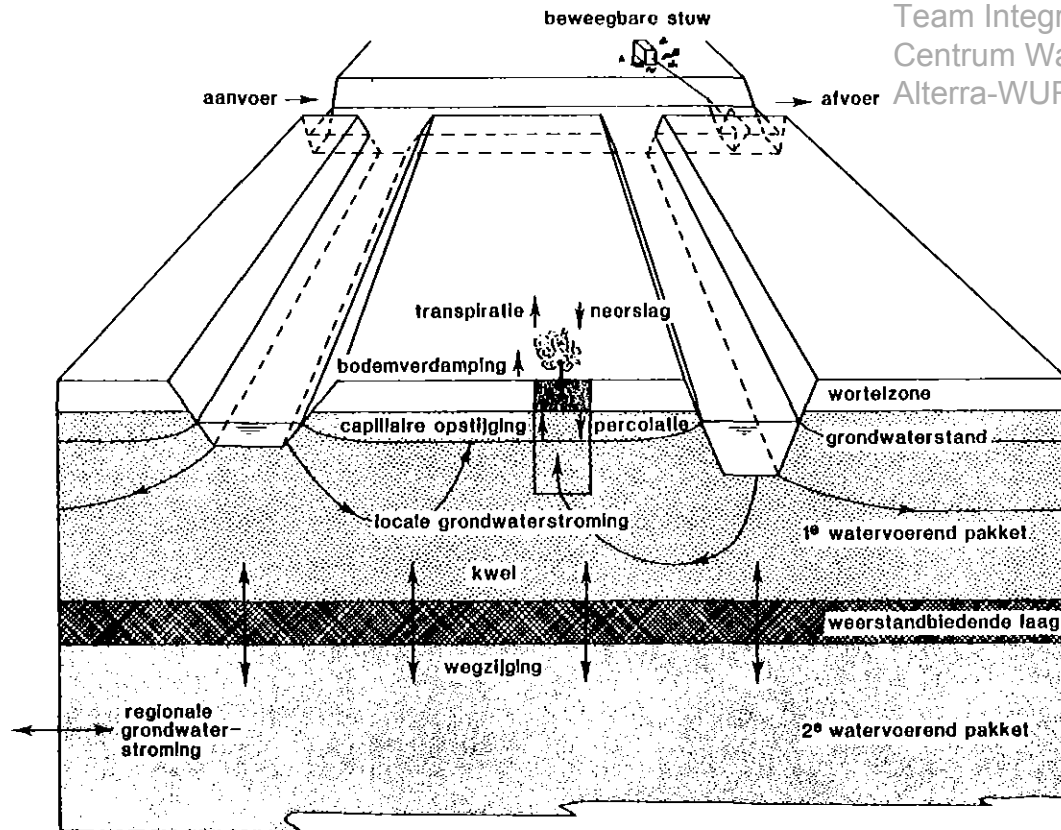


Fig. 1.1. Schematische weergave van het hydrologische systeem, gemodelleerd met het model SWADRE

de berekening van het oppervlaktewaterpeil het aandeel van de oppervlakte open water in de totale oppervlakte bekend moeten zijn en moeten aan- en afvoeren worden uitgedrukt per eenheid van oppervlakte.

Alle onderdelen van het hydrologische systeem zijn in het model SWADRE op een interactieve manier met elkaar verbonden. De uitkomsten van één onderdeel dienen weer als randvoorwaarde voor het aangrenzende onderdeel en omgekeerd. Met behulp van een iteratieve rekenprocedure (dit wil zeggen steeds herhalende berekeningen binnen een tijdstip) is deze interactie rekentechnisch op te lossen.

Effecten van ingrepen in het hydrologische systeem (zoals een ander peilbeheer) kunnen worden berekend door het effect uit te drukken in veranderingen in randvoorwaarden of door veranderingen aan te brengen in de daartoe geëigende relaties en parameters die het gehele hydrologische proces bepalen.

Bij de modelmatige berekeningen van effecten van ingrepen in het hydrologisch systeem op met name de gewasverdamping binnen het 'tussen-10-plan' gebied moeten de volgende problemen worden opgelost:

- a. schematisering van de bodemkundig-hydrologische gesteldheid van het gebied;

- b. vanwege het 1-dimensionele karakter van het simulatiemodel moet er een voorschrift gegeven worden hoe de grondwaterstand beïnvloed wordt door de verzadigde grondwaterstromingen als infiltratie/drainage en kwel/wegzijging;
 - c. vaststellen van een representatief jaar of reeks van jaren met betrekking tot de meteorologische variatie in de tijd.
- ad a. De schematisering van de bodemkundige gesteldheid en het daarmee samenhangende bodemfysisch onderzoek (vaststellen van pF-curve en $K(h_p)$ -relatie) is beschreven door BANNINK en STOFFELSEN (1984). De bodemkundige eenheden in combinatie met de hydrologische kenmerken (kwel/wegzijging en infiltratie-(drainageweerstand), zijn na selectie vastgesteld op circa 200 basiseenheden.
- ad b. De interacties tussen het freatisch grondwater en oppervlaktewater respectievelijk diep grondwater, die de situatie aan de onder-rand van het bodemsysteem karakteriseren, worden beschreven in de paragrafen 2.2 en 2.3.
- ad c. Om de klimaatkenmerken zo goed mogelijk in de rekenresultaten te verdisconteren, wordt een simulatieperiode van 30 jaar (1954-1983) gebruikt.

Ten behoeve van de eventuele bepaling van de meest gewenste aanvoer capaciteit worden 4 alternatieve aanvoercapaciteiten doorgerekend. Namelijk een situatie waarbij geen aanvoer plaatsvindt (nul-situatie) doch alleen conservering en conservering + aanvoer met een capaciteit van respectievelijk 0,75, 1,50 en 2,50 mm.d⁻¹.

Tengevolge van het wezenlijke verschil in vochtbehoefte bij bouwland (aardappelen) en grasland worden voor elke basiseenheid deze twee cultuurtoestanden doorgerekend, tenzij een bepaalde eenheid eigenlijk slechts met één cultuurgewas voorkomt. Op deze manier worden er circa 200 combinaties van bodemkundig-hydrologische basiseenheid en cultuurgewas gevonden. Voor iedere combinatie moeten er dus 4 alternatieven over perioden van 30 jaar doorgerekend worden.

2. GRONDWATERSTROMING

2.1. Modelbeschrijving

De grondwaterstroming kan beschreven worden met behulp van de continuïteitsvergelijking gecombineerd met de wet van Darcy. Als de drukhoogte h_p als afhankelijke variabele gekozen wordt, dan ontstaat de zogenaamde Richardsvergelijking (RICHARDS, 1931). Deze vergelijking is zowel boven als beneden het freatisch vlak geldig. FEDDES et al. (1978) maken gebruik van deze vergelijking voor de beschrijving van de verticale stroming van bodemvocht in een bodemprofiel met vochtonttrekking door de wortels, namelijk:

$$\frac{\partial h_p}{\partial t} = \frac{1}{C_w} \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h_p) \left(\frac{\partial h_p}{\partial z} + 1 \right) \right] - \frac{S}{C_w} \quad (2.1)$$

waarin:

- h_p = drukhoogte (cm)
- $K(h_p)$ = hydraulische doorlatendheid (cm.d⁻¹)
- C_w = dθ/dh_p, de differentiële vochtcapaciteit (cm⁻¹)
- θ = volumetrisch watergehalte (-)
- S = vochtonttrekkingsterm door wortels, 'sink'term (d⁻¹)
- t = tijdsvariabele (d)
- z = verticale coördinaat (positief naar boven gericht) (cm)

De sinkterm S neemt daarbij de volgende uitdrukking aan (FEDDES, et al., 1978):

$$S(h_p) = \alpha(h_p) \cdot S_{\max} \quad (2.2)$$

Hierin stelt α een dimensieloze sinktermvariabele voor, die een functie is van de drukhoogte.

De maximale vochtonttrekking door de wortels wordt gedefinieerd als:

$$S_{\max} = E_{tp}/d_r \quad (2.3)$$

waarin:

$$\begin{aligned} E_{tp} &= \text{potentiële gewasverdamping} & (\text{cm.d}^{-1}) \\ d_r &= \text{dikte van de wortelzone} & (\text{cm}) \end{aligned}$$

Vergelijking (2.1) kan worden opgelost als de randvoorwaarden bekend zijn. De bovenrandvoorwaarde wordt uitgedrukt in een flux door het maaiveld. De potentiële flux bestaat uit twee componenten namelijk de effectieve neerslag (neerslag minus interceptie verdamping) en de gereduceerde potentiële bodemverdamping E_{sp}^r ,

$$q_{sp} = E_{sp}^r - (P - E_i) \quad (2.4)$$

waarin P de bruto neerslag en E_i de interceptieverdamping voorstellen.

Aan de onderkant gelden ook zogenaamde Neumann- of Cauchy-omstandigheden. De flux door de onderrand bestaat uit drie onafhankelijk veronderstelde componenten namelijk, een locale grondwaterstroming naar de ontwateringsmiddelen, een regionale kwel/wegzijging, en een subregionale kwel/wegzijging tengevolge van peilbeheer in combinatie met wateraanvoer (fig. 2.1). De laatste twee componenten worden alleen ten behoeve van de modelberekeningen onderscheiden. In feite veroorzaakt de subregionale component een verandering in de bestaande kwel/wegzijgingssituatie.

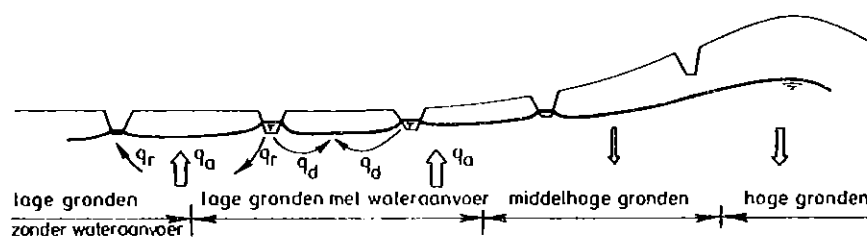


Fig. 2.1. Schematische weergave van de grondwaterstromingen

Tengevolge van het lineair veronderstellen van het verzadigde grondwatersysteem mag het superpositiebeginsel worden toegepast, zodat de fluxen gesommeerd mogen worden tot één flux door de onderrand (ERNST, 1983). Dus geldt:

$$q_m = q_d + q_a + q_r \quad (2.5)$$

waarin:

- q_m = flux door onderrand (cm.d^{-1})
- q_d = flux naar ontwateringsmiddel (cm.d^{-1})
- q_a = flux naar diepe grondwater (cm.d^{-1})
- q_r = flux tengevolge van verhoogd peil door wateraanvoer (cm.d^{-1})

De koppeling tussen het verzadigde en onverzadigde systeem vindt dus plaats via deze flux. Met behulp van de fluxen door onder- en bovenrand kan nu de grondwaterstand worden berekend uit de waterbalans van de onverzadigde zone.

Naast de beschreven boven- en onderrandvoorwaarde moet nu ook nog een beginvoorwaarde gedefinieerd worden. Hiervoor wordt een gegeven begingrondwaterstand gebruikt, waarmee het initiële vochtprofiel in evenwicht wordt verondersteld.

Door middel van een eindige differentiemethode zal vergelijking (2.1) opgelost kunnen worden voor bepaalde tijdstippen en knooppunten.

De verschillende componenten van de flux door de onderrand zullen in het hierna volgende afzonderlijk worden besproken.

2.2. L o c a l e g r o n d w a t e r s t r o m i n g

De grondwaterstroming van en naar de ontwateringsmiddelen q_d (cm.d^{-1}) wordt beschreven door de volgende vergelijking:

$$q_d = (h_o - h_f) \underline{\gamma} \quad (2.6)$$

waarin:

- h_o = open waterpeil in de ontwateringsmiddelen (cm)
- h_f = grondwaterstand midden tussen de sloten (cm)
- $\underline{\gamma}$ = drainageweerstand (d)

Uit de waterbalans van de onverzadigde zone zal de grondwaterstand voor iedere tijdstap berekend kunnen worden. Door de koppeling van een simulatiemodel voor het open waterpeil aan het grondwaterstromingsmodel zal tevens h_o bekend zijn.

Voor het vaststellen van q_d zal de drainageweerstand bekend moeten zijn. Deze weerstand is echter een nog vast te stellen invoerparameter. De manier waarop deze kan worden afgeleid uit de door de TECHNISCHE WERKGROEP GRONDWATERPLAN (1984) per vierkante kilometer berekende voedingsweerstand, staat beschreven in hoofdstuk 6. In

dit verband is voedingsweerstand gedefinieerd als de weerstand tegen stroming tussen oppervlaktewater en grondwater in het 1e watervoerende pakket.

Als er naast een waterlopenstelsel ook nog buisdrainage aanwezig is, dan zal de relatie tussen de lokale grondwaterstroming q_d en open waterpeil h_o bij diverse grondwaterstanden kunnen worden weergegeven als in fig. 2.2. In fig. 2.2 komt de tangens van de hoek α overeen met de drainageweerstand van het slotenstelsel (γ_c). De tangens van hoek β is gelijk aan de substitutieweerstand van het buizen- en slotenstelsel (γ_s). Deze buisdrainage is gelegen op d cm beneden maaiveld. In de berekening wordt voor d 100 gekozen.

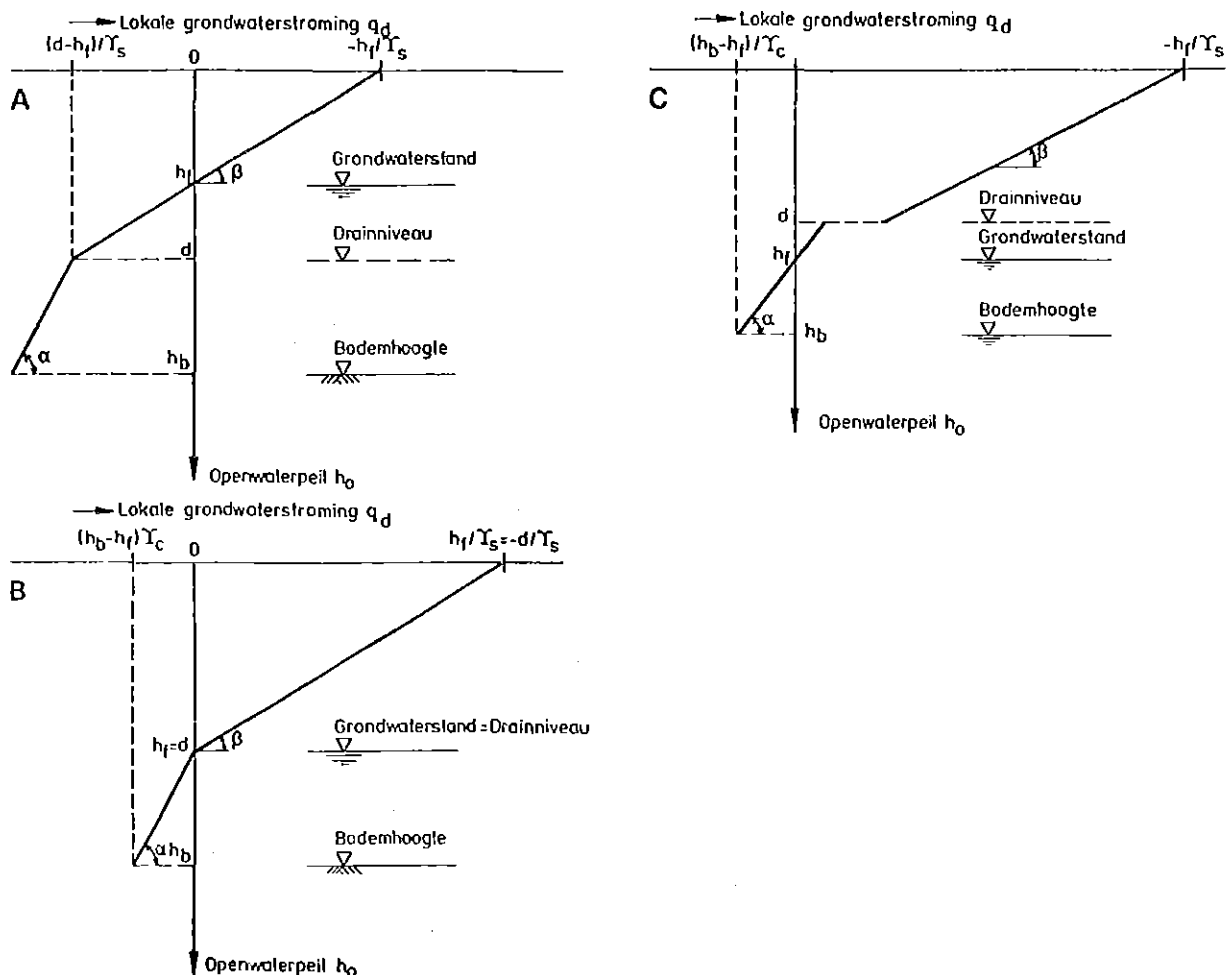


Fig. 2.2. Relaties tussen de lokale grondwaterstroming en open waterpeil voor de situaties met de grondwaterstand boven, gelijk en onder drainniveau (resp. fig. 2.2a, 2.2b en 2.2c)

Zodra het ontwateringsmiddel droogvalt, wordt er modelmatig gesteld, dat het 'oppervlaktewaterpeil' in evenwicht zal zijn met de grondwaterstand. Met andere woorden de lokale grondwaterstroming wordt dan nihil verondersteld zoals ook in fig. 2.2 schematisch is weergegeven.

Uit de per tijdstap berekende waarden voor h_o en h_f en de gegeven drainageweerstand is nu q_d volgens vergelijking (2.6) te bepalen. Voor het geval er een gecombineerd drainagestelsel aanwezig is, moet vergelijking (2.6) worden aangepast, zodra h_o en/of h_f boven het drainniveau komen (fig. 2.3). Dan geldt (indien h_o , h_f , h_b en d worden uitgedrukt in hoogtes t.o.v. maaiveld):

$$q_d = q_d^c + q_d^d \quad \left\{ \begin{array}{l} = \frac{(h_o - h_f)}{\gamma_c} + \frac{(d - h_f)}{\gamma_d} ; h_o < d, h_f \geq d \quad (2.7a) \\ \text{(fig. 2.3a)} \\ = \frac{(h_o - h_f)}{\gamma_c} + \frac{(d - h_f)}{\gamma_d} ; h_o \geq d, h_f < d \quad (2.7b) \\ \text{(fig. 2.3b)} \\ = (h_o - h_f) \left(\frac{1}{\gamma_c} + \frac{1}{\gamma_d} \right) ; h_o \geq d, h_f \geq d \quad (2.7c) \\ \text{(fig. 2.3c)} \\ = \frac{(h_o - h_f)}{\gamma_c} ; h_o < d, h_f < d \quad (2.7d) \\ \text{(fig. 2.3d)} \end{array} \right.$$

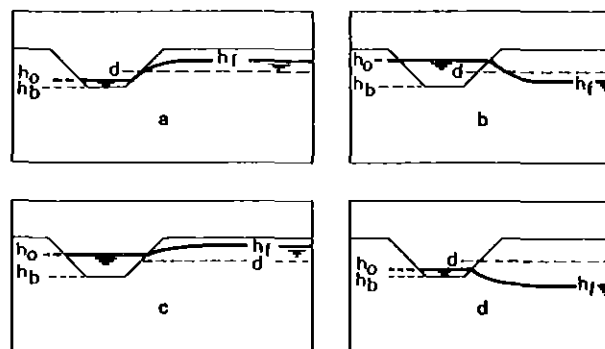


Fig. 2.3. Diverse stromingstoestanden nabij de ontwateringsmiddelen midden tussen de drains

Hierin is:

- q_d^c = grondwaterstroming naar de sloten (cm.d^{-1})
 q_d^d = grondwaterstroming naar de drains (cm.d^{-1})
 γ_c = drainageweerstand van het slotenstelsel ($= \alpha$) (d)
 γ_d = drainageweerstand van het buizenstelsel (d)
 d = drainniveau (cm)

2.3. K w e l / w e g z i j g i n g

De kwel respectievelijk wegzijging bestaat uit twee componenten namelijk een regionale en een subregionale component. Deze twee componenten worden onafhankelijk van elkaar bepaald ten behoeve van modelberekeningen. Zoals reeds gesteld vormen zij echter één kwel/wegzijgingsterm, zodat het onderscheid enigszins kunstmatig is.

2.3.1. Regionale kwel/wegzijging

Voor de regionale kwel wordt aangenomen, dat deze constant blijft over het gehele jaar. Deze kwel treedt op bij de lager gelegen gronden en ontstaat door wegzijging vanuit de middelhoge en hoge gronden. Deze wegzijging wordt echter uitgedrukt als functie van de optredende grondwaterstand, zoals is weergegeven in fig. 2.4.

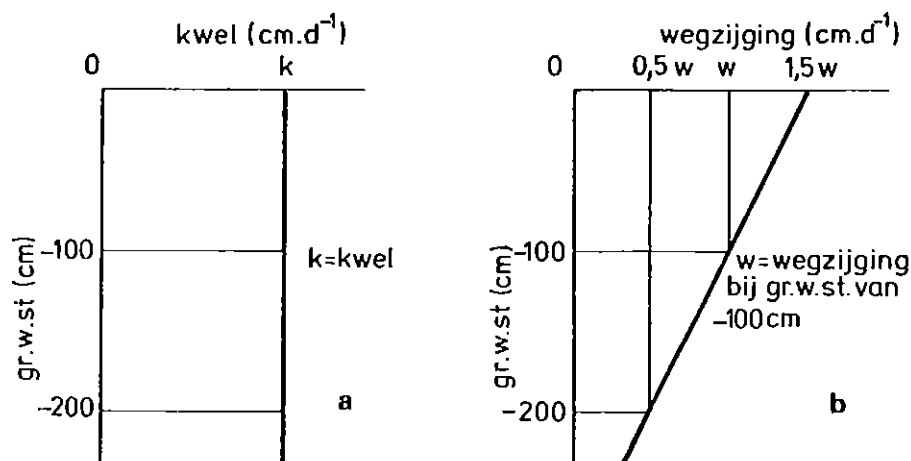


Fig. 2.4. Relatie tussen kwel, respectievelijk wegzijging en grondwaterstand

De regionale kwel-/wegzijgingsterm q_a neemt dus de volgende vorm aan:

$$q_a = k \quad ; \quad q_a \geq 0 \quad (2.8a)$$

$$q_a = w * (h_f + 300)/200; \quad q_a < 0 \quad (2.8b)$$

waarin:

q_a = regionale kwel/wegzijging (cm.d⁻¹)

h_f = grondwaterstand (cm)

Doordat h_f voor iedere tijdstap berekend wordt, is ook de regionale wegzijging te berekenen, zij het dan dat hier een expliciete rekenwijze wordt toegepast.

Daar komt nog bij dat deze wegzijgingsterm in wezen, tengevolge van de veronderstelde onafhankelijkheid, een functie behoort te zijn van de te berekenen grondwaterstand in de nulsituatie, dit wil zeggen in de toestand met alleen conserveringsmaatregelen. De onafhankelijkheid volgt uit het gegeven, dat de grondwaterstromings-termen niet in elkaar zijn uit te drukken. Zodra er water-aanvoer plaatsvindt zal de grondwaterstand met name in het groei-seizoen gaan stijgen ten opzichte van de situatie met alleen conservering. Deze verhoging van de grondwaterstand tengevolge van water-aanvoer is tevens van invloed op de regionale wegzijging, zoals blijkt uit vergelijking (2.8b). De wateraanvoer brengt dus een oneigenlijke extra hoeveelheid wegzijging met zich mee, omdat deze invloed van de wateraanvoer al ondergebracht wordt in de subregionale kwel-/wegzijgingsterm. In verband met rekentechnische problemen wordt deze fout niet opgeheven. Er blijkt bovendien dat deze afwijking van nagenoeg geen invloed is op de verdere modelberekeningen.

2.3.2. Subregionale kwel/wegzijging

De subregionale kwel/wegzijging tengevolge van peilbeheer met wateraanvoer zal optreden tijdens het groeiseizoen, nadat er water-aanvoer heeft plaatsgevonden. Deze flux is op te vatten als een verandering van de bestaande kwel/wegzijging onder invloed van een verandering (i.e. vergroting) van de wateraanvoer.

Er wordt verondersteld, dat deze subregionale kwel/wegzijging constant is en pas zal optreden nadat er een bepaalde hoeveelheid water is aangevoerd. Aan het einde van het groeiseizoen wordt deze term weer nul verondersteld tengevolge van de uitdamping van het aanvoereffect op de grondwaterstand.

3. PEILBEHEER

Er worden twee typen van peilbeheer onderscheiden namelijk peilbeheer ten behoeve van het verminderen van de stroming naar de ontwateringsmiddelen (conservering) dan wel het realiseren van stroming vanuit de ontwateringsmiddelen (sub-infiltratie) en dit peilbeheer in combinatie met beregening uit oppervlaktewater. Eerst zal een algemene modelbeschrijving met betrekking tot simulatie van dit beheer worden gegeven, waarna bovengenoemde typen verder worden toegelicht.

3.1. Modelbeschrijving

Voor het simuleren van het waterbeheer zijn twee zaken van groot belang, namelijk een rekenvoorschrift voor het beheer (gewenst oppervlaktewaterpeil = streefpeil en de hoogte van wateraanvoer) en simulatie van het open waterpeil. In fig. 3.1 wordt een stroomschema van het gecombineerde rekenmodel voor de grondwaterstroming door de onverzadigde zone en het peilbeheer gegeven.

Eenmaal per week wordt hierin een nieuw streefpeil met of zonder wateraanvoer vastgesteld aan de hand van een drie dagen oude grondwaterstand en een momentane waarde van de vochtinhoud van de wortelzone. Met behulp van dit streefpeil kan het open waterpeil gestuurd worden. Door met name de flux q_d (vgl. 2.6) vindt de koppeling plaats tussen open water en onverzadigde zone, waardoor de vochtverdeling in de bodem in principe te beïnvloeden is met behulp van het open waterpeil.

Voordat zal worden ingegaan op de rekenvoorschriften voor het beheer zal de modelmatige voorstelling van de daadwerkelijke manipulatie van het open waterpeil in het kort worden beschreven. Het peilbeheer is gedacht te worden uitgevoerd met automatisch werkende stuwen (fig. 3.2). Het streefpeil wordt ingesteld door twee voelers enkele meters bovenstrooms van de stuw. In het geval de waterstand ter plaatse van deze voelers hoger is dan het ingestelde streefpeil gaat de stuw omlaag en wordt het overtollige water - althans in het model - direct afgevoerd (fig. 3.2a). In het geval de waterstand lager is gaat de stuw omhoog, zodat geen afvoer plaatsvindt (fig. 3.2b).

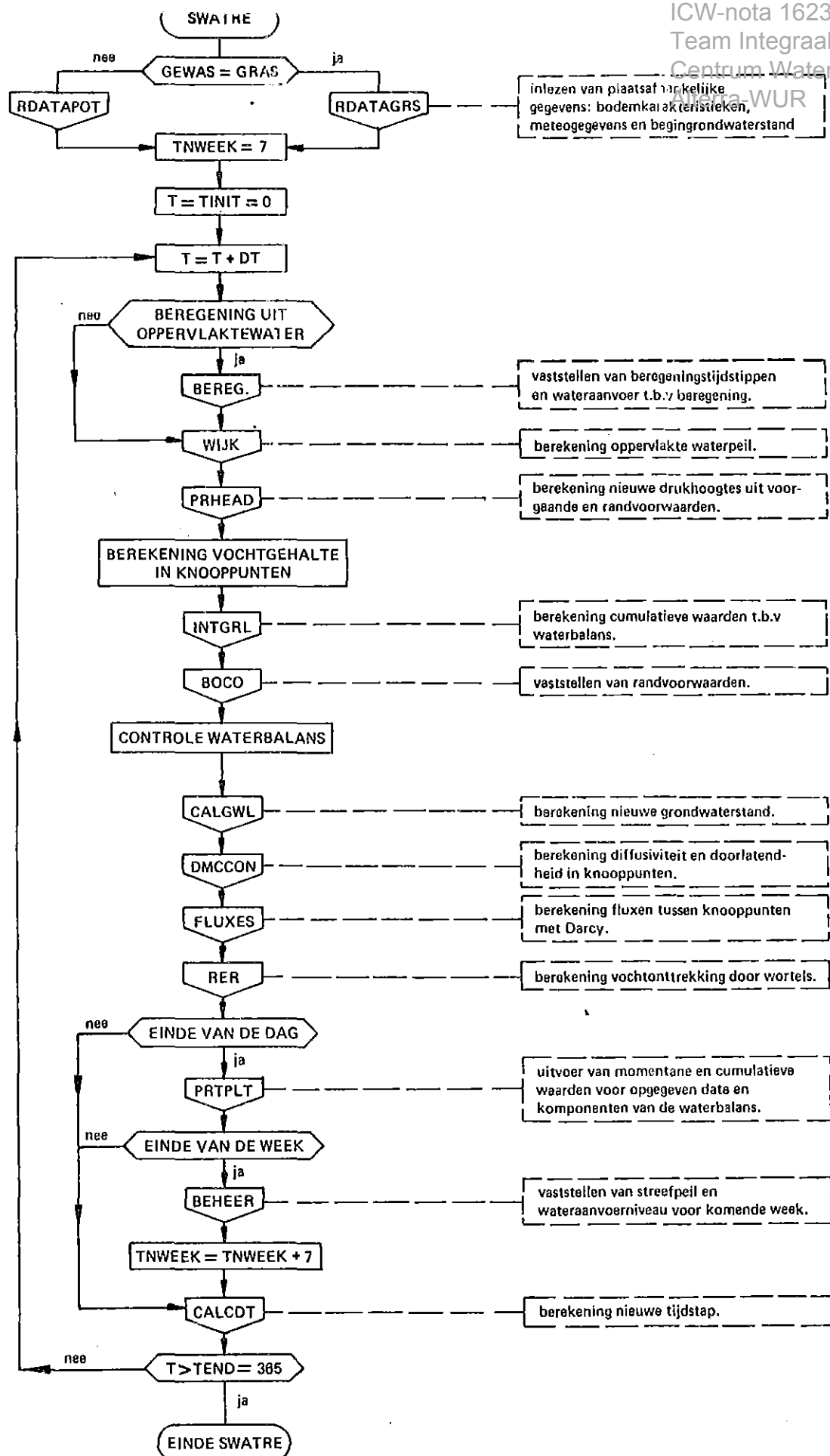


Fig. 3.1. Stroomschema van het gecombineerde simulatiemodel SWADRE

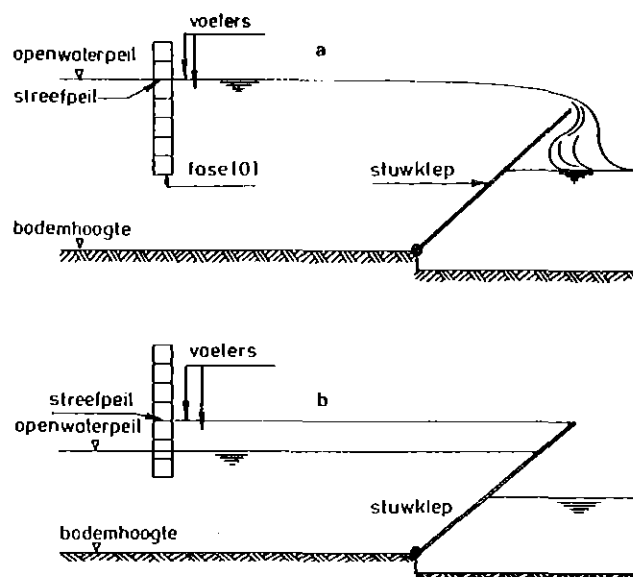


Fig. 3.2. Schematische voorstelling van de werking van een automatisch werkende (klep)stuw

Voor wat het rekenvoorschrift betreft, is er zoveel mogelijk aansluiting gezocht met de peilbeheersingsstrategieën, die in het kader van het onderzoek in het waterschap De Veenmarken zijn ontwikkeld (VAN BAKEL, 1984 en 1985). Dit houdt in dat, naast de gegeven beperkingen, het totale peilbeheer erop gericht is om enerzijds het gewas optimaal van water te voorzien, terwijl anderzijds natschade aan het begin en einde van het groeiseizoen dient te worden voorkomen.

Overeenkomstig met wat thans in het waterschap De Veenmarken gebeurt en gegeven het maximale verschil tussen hoogste en laagste peil dat daarbij wordt aangehouden is het in te stellen streefpeil ingedeeld in 8 fasen: fase 0 voor het laagste (winter)peil en vervolgens oplopend met 10 cm. De indeling in fasen heeft een aantal praktische redenen:

- het continu bijstellen van het streefpeil zou vereisen dat elke dag alle stuwen bezocht zouden moeten worden, hetgeen de kosten voor bediening sterk zou doen oplopen;
 - indeling in fasen werkt de overzichtelijkheid sterk in de hand.
- Zo is bijvoorbeeld bij het invullen van het door het waterschap ontwikkelde zogenaamde waterweekrapport door het plaatsen in de juiste kolom in een oogopslag te zien in welk stadium het peilbeheer in de diverse peilvakken verkeert.

Voor het verloop van het streefpeil gedurende het jaar is in eerste instantie een standaardverloop vastgesteld (laag in de winter, hoog tijdens perioden met een neerslagtekort (zie fig. 3.3)).

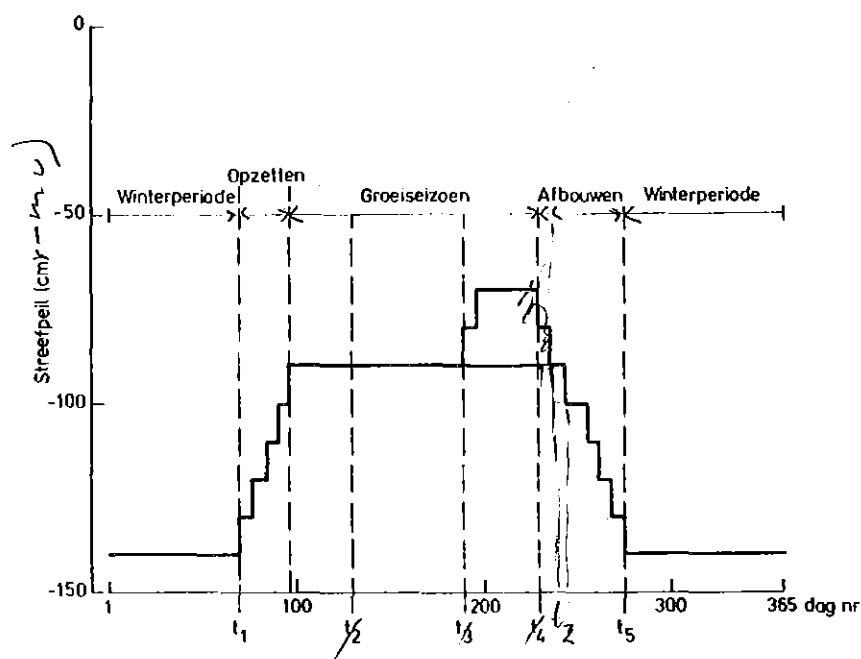


Fig. 3.3. Schematisch verloop van het streefpeil en indeling in een aantal perioden

Daarnaast is in perioden waarin dit relevant is, het instellen van een bepaalde fase gekoppeld aan de berekende grondwaterstand en aan het berekende vochttekort in de wortelzone. Met tekort wordt hier bedoeld het verschil tussen de hoeveelheid vocht in de wortelzone behorende bij evenwichtstoestand bij een grondwaterstand van 1,00 m -mv en de werkelijke aanwezige (berekende) hoeveelheid. Zo kan bijvoorbeeld het streefpeil in het voorjaar pas worden verhoogd als de grondwaterstand beneden een bepaalde waarde is gezakt en kunnen de hogere streefpeilen pas worden ingesteld als er ook daadwerkelijk een zeker tekort aan water in de wortelzone is. In de vorm van twee tabellen, waarin per fase staat gespecificeerd aan welke minimeisen grondwaterstand en tekort aan water in de wortelzone moeten voldoen, wordt aan het programma meegedeeld hoe van het standaardverloop moet worden afgeweken.

De bedoeling van het koppelen van het peilbeheer aan de grondwaterstand is dus op de eerste plaats het zorgen voor een goede ontwatering gedurende de winter door het streefpeil zo laag mogelijk te houden. In de loop van het voorjaar treedt in normale jaren een daling van de grondwaterstand op, doordat meer water naar de sloten wordt afgevoerd dan er via neerslag bijkomt. Indien het peil niet zou worden verhoogd, zou deze afvoer doorgaan totdat de grondwaterstand gelijk zou zijn aan het open waterpeil. Uit landbouwkundig oogpunt is zo'n diepe grondwaterstand niet nodig. Integendeel, er gaat water verloren wat later in het groeiseizoen gebruikt kan worden voor de gewasverdamming. De tweede doelstelling van peilbeheer is dus het conserveren van water.

Met conserveren kan slechts een beperkte hoeveelheid water worden gewonnen. In de loop van het groeiseizoen kan ook bij conservering behoefte ontstaan aan een aanvullende watervoorziening. Een van de mogelijkheden daartoe is om het peil hoger dan de grondwaterstand in te stellen, waardoor water in omgekeerde richting vanuit de sloten de grond in gaat stromen. Deze hoeveelheden zijn groter naarmate het verschil tussen grondwater en open waterpeil groter is. Vanuit dit oogpunt bezien moeten daarom in de zomer zo hoog mogelijke peilen worden nagestreefd. Om de risico's voor wateroverlast bij plotseling omslaan van het weer te beperken worden de hoogste peilen pas toegestaan als de grondwaterstand voldoende diep is of als er in de wortelzone nog voldoende buffering aanwezig is om een behoorlijke hoeveelheid neerslag op te vangen.

De wateraanvoer, die slechts gedurende bepaalde perioden mag plaatsvinden, kan ook afhankelijk worden gemaakt van de vochtvoorraad in de wortelzone.

Voor de simulatie van het open waterpeil geldt, dat voor iedere tijdstap met behulp van een waterbalans van de betreffende wijk of sloot een nieuw open waterpeil berekend wordt. Zodat

$$h_o(t+\Delta t) = h_o(t) + \Delta t \{ a/f_{ow} + q_d(1-f_{ow})/f_{ow} + P-E_o + q_a + q_r \} \quad (3.1)$$

waarin:

$$\begin{aligned} h_o(t) &= \text{openwaterpeil op tijdstip } t & (\text{cm}) \\ \Delta t &= \text{tijdstaplengthte} & (\text{d}) \\ a &= \text{wateraanvoer} & (\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}) \end{aligned}$$

q_d	= locale grondwaterstroming	(cm.d ⁻¹)
q_a	= regionale grondwaterstroming	(cm.d ⁻¹)
q_r	= subregionale grondwaterstroming bij wateraanvoer	(cm.d ⁻¹)
P	= neerslag	(cm.d ⁻¹)
E_o	= open water verdamping	(cm.d ⁻¹)
f_{ow}	= oppervlakteaandeel open water	(-)

Met bovenrandvoorwaarde:

$$h_o(t+\Delta t) \leq h_s \quad (3.2)$$

waarin:

h_s het op dat moment te handhaven streefpeil voorstelt.

In deze vergelijking (3.2) ligt tevens de koppeling tussen streefpeil en open waterpeil. Met andere woorden door middel van dit streefpeil is het openwaterpeil in de ontwateringsmiddelen te sturen.

Aan de onderrand geldt de volgende voorwaarde

$$h_o(t+\Delta t) = h_f(t) ; \quad h_o(t) < h_b \quad (3.3)$$

waarin:

h_f = grondwaterstand (cm)

h_b = bodemhoogte ontwateringsmiddel (cm)

Deze onderrandvoorwaarde geldt dus als het ontwateringsmiddel droogvalt.

Zoals uit vergelijking (3.1) blijkt, wordt er geen opstuwing in de sloten of wijken en geen waterafvoer van hoger gelegen delen in rekening gebracht. De opstuwing wordt verwaarloosd vanwege de geringe stroomsnelheden die in de ontwateringsmiddelen zullen optreden. De waterafvoer van hoger gelegen delen kan niet in rekening gebracht worden, omdat in feite het gehele systeem ééndimensionaal wordt doorgerekend.

Het ingestelde streefpeil vormt een bovengrens van het sloot- of wijkpeil, zoals uit vergelijking (3.2) blijkt. Zodra het openwaterpeil de neiging zal gaan vertonen boven dit streefpeil uit te komen, zal er afvoer over de stuw optreden, die geregeld moet worden met de

instelling van de kruinhoogte (fig. 3.1a). Met andere woorden de kruinhoogte is gekoppeld aan het te handhaven streefpeil.

De onderrandvoorwaarde (vgl. 3.3) brengt een fout met zich mee tengevolge van een tijdsvertraging van één tijdstep bij het weer watervoerend worden van het ontwateringsmiddel na droogvalling. Het ontwateringsmiddel kan pas weer watervoerend worden, als de grondwaterstand hoger is dan de bodemhoogte van het ontwateringsmiddel.

Voor de berekening van het percentage open water is uitgegaan van het schematisch profiel volgens fig. 3.4. Dit dwarsprofiel komt met deze afmetingen lang niet overal voor. Omdat het percentage open water echter pas een belangrijke rol gaat spelen als het oppervlakteaandeel 4% of meer is - hetgeen alleen voorkomt in het veenkoloniale gebied - kan zonder grote onnauwkeurigheid van een bepaald percentage worden uitgegaan.

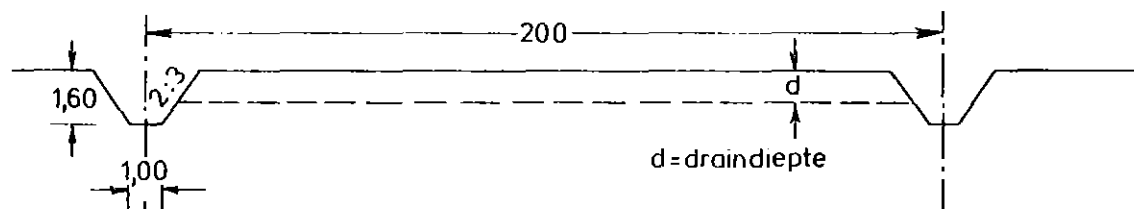


Fig. 3.4. Schematisch dwarsprofiel over een perceel met bijbehorende ontwateringsmiddelen

3.2. S u b - i n f i l t r a t i e

Ten behoeve van een betere vochtvoorziening tijdens het groei-seizoen kan ondergrondse infiltratie toegepast worden, dit wil zeggen vanuit het open water vindt doelbewust aanvulling plaats van het grondwater. Dit proces wordt aangeduid met sub-infiltratie. Hierdoor zal het grondwater gaan stijgen, waardoor op zijn beurt door capillaire opstijging vanuit dit grondwater weer een betere aanvulling van het bodemvocht in de wortelzone zal kunnen plaatsvinden (fig. 3.5).

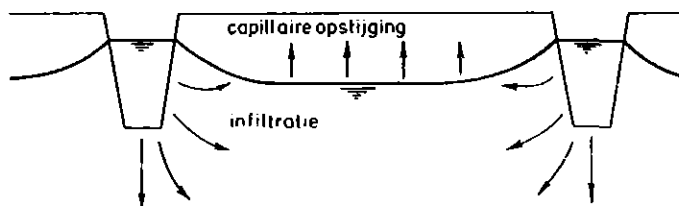


Fig. 3.5. Schematische weergave van het sub-infiltratieproces

Er zijn dus in principe twee in serie geschakelde processen te onderscheiden. Het eerste proces van infiltratie, kan worden beschreven door vergelijking(2.6). Het kan worden gestuurd door het open waterpeil en de drainage/infiltratieweerstand. Door het waterpeil op te zetten met behulp van stuwen wordt een groter niveauverschil gecreëerd, waardoor de infiltratiestroom positief wordt beïnvloed. Ook het verlagen van de infiltratieweerstand, door middel van bijvoorbeeld het aanleggen van een buisdrainage, zal een positief effect hebben.

Het tweede proces van capillaire nalevering vanuit het grondwater wordt sterk bepaald door de afstand tussen grondwater en wortelzone en doorlatendheid van de boven het grondwater liggende lagen. Bovendien wordt het uiteindelijke effect van een hogere gewasverdamping nog bepaald door de pF-curve van de wortelzone, i.e. het watervasthoudend vermogen.

Voor het simuleren van het peilbeheer worden vier typen van beheer onderscheiden, namelijk:

- een beheer met stuwen met vaste kruinhoogte. Dit wil zeggen er zijn geen middelen beschikbaar om het beheer te regelen;
- een beheer, waarbij conserveringsmaatregelen kunnen worden uitgevoerd met bijvoorbeeld beweegbare stuwen;
- een beheer met conserveringsmaatregelen in combinatie met wateraanvoer;
- een beheer met conserveringsmaatregelen, wateraanvoer en de mogelijkheid tot beregening vanuit het oppervlaktewater.

De eerder genoemde afhankelijkheid van streefpeil en grondwaterstand zal worden toegelicht aan de hand van een voorbeeld, dat als uitgangspunt wordt genomen voor het verdere peilbeheer (tabel 3.1) (zie ook fig. 3.3).

Tabel 3.1. Voorbeeld van een werkstrategie ten behoeve van peilbeheer,
*HM = grondwaterstand, die in principe het streefpeil bepaalt

	I	FASE(I)	GRONDWATERSTAND	
			stijgend	dalend
drainage	0	-140	$HM \geq -85$	$HM \geq -80$
	1	-130	$-85 \geq HM \geq -90$	$-80 \geq HM \geq -85$
	2	-120	$-90 \geq HM \geq -95$	$-85 \geq HM \geq -90$
	3	-110	$-95 \geq HM \geq -105$	$-90 \geq HM \geq -100$
infiltratie	4	-100	$-105 \geq HM \geq -115$	$-100 \geq HM \geq -110$
	5	-90	$-115 \geq HM \geq -125$	$-110 \geq HM \geq -120$
	6	-80	$-125 > HM \geq -135$	$-120 > HM \geq -130$
	7	-70	$-135 > HM$	$-130 > HM$

Het streefpeil kan in de diverse fasen, met telkens één decimeter verschil, worden ingesteld. De tabel bevat dus 8 streefpeilen, die overeenkomen met de 8 fasen van het peilbeheer. De kolom onder 'dalend', lopend van -70 t/m -140, geeft aan hoe het beheer reageert op de drie dagen oude grondwaterstand (HM). Bij een stijgende grondwaterspiegel (>5 cm/week) is het beheer wat voorzichtiger en is het schema 5 cm verschoven. Bij een stijgende grondwaterstand van bijvoorbeeld -93 cm zal het streefpeil in fase (2) terechtkomen, te weten -120 cm ten opzichte van maaiveld. Bij een dalende grondwaterstand zou het streefpeil op -110 cm ingesteld worden. Uit de tabel blijkt ook dat bij een grondwaterstand van ongeveer -105 cm het peilbeheer op een kantelpunt zit, namelijk de overgang tussen draineren bij hogere grondwaterstand en infiltreren bij een lagere. De grondwaterstand zal dus naar dit punt streven, omdat dan een soort evenwichtssituatie ontstaat.

Naast bovengenoemde afhankelijkheid zal het streefpeil nog verder bijgesteld moeten worden tengevolge van voor verschillende perioden geldende doelstellingen van peilbeheer en restricties (fig. 3.6):

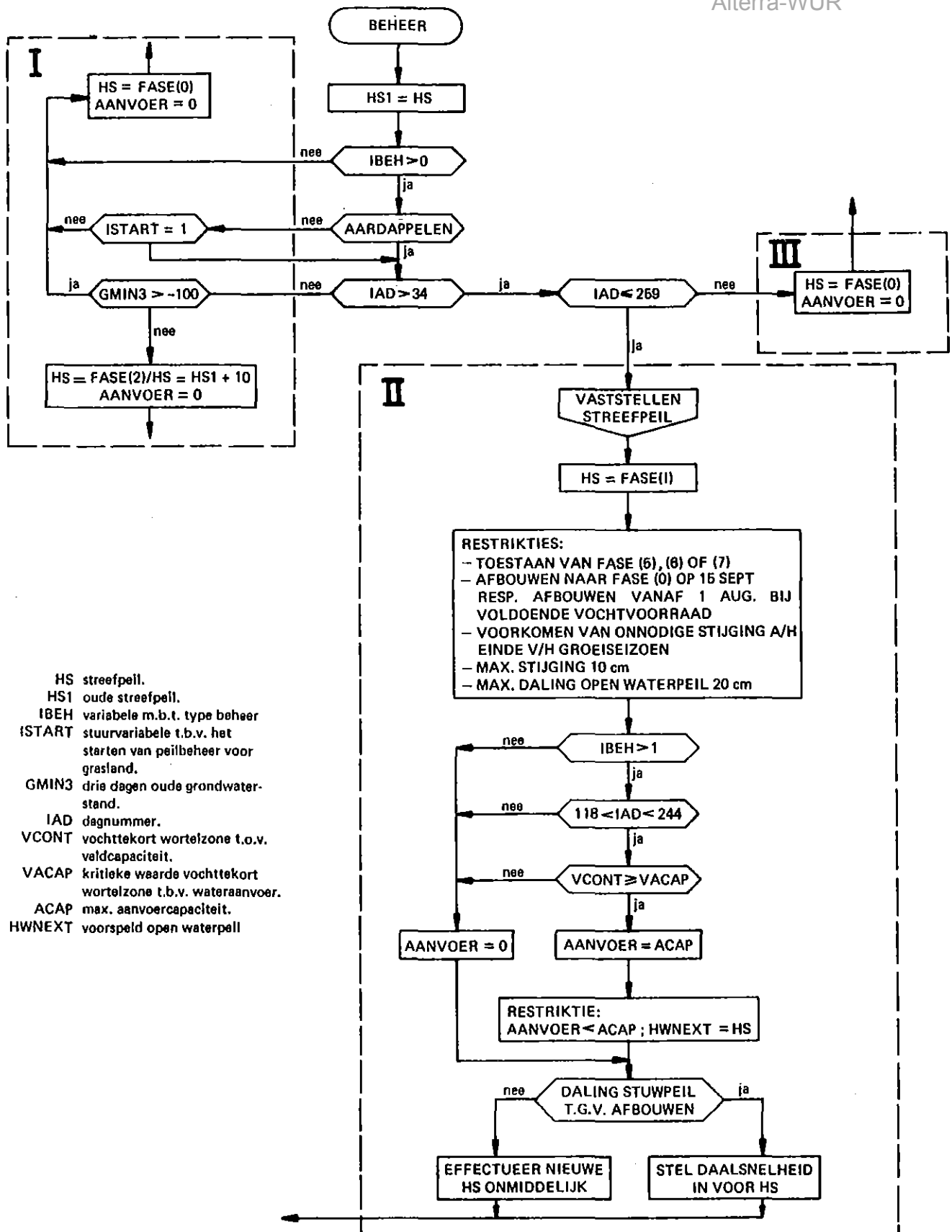


Fig. 3.6. Stroomschema van de subroutine BEHEER, waarmee wordt geïllustreerd welke restricties in welke periode effectief zijn

- de winterperiode, waarin getracht moet worden om alvast water te conserveren. Maar tevens moet er voorkomen worden, dat natschade tengevolge van te laat zaaien / poten zal optreden. Voor aardappelen duurt deze periode tot begin februari, terwijl voor gras deze periode tot ongeveer half maart kan duren. Bij grasland wordt deze periode namelijk bepaald door het temperatuursverloop in deze periode;
- het vroege voorjaar en groeiseizoen, waarin het peilbeheer erop gericht is om het (aankomende) gewas optimaal van water te voorzien onder de gegeven omstandigheden. Deze periode loopt tot begin augustus of half september, afhankelijk van de actuele situatie;
- het najaar, waarin het beheer afgebouwd wordt om natschade bij oogsten/maaien en dergelijke te voorkomen.

De conserveringsmaatregelen zullen vroeg in het voorjaar gestart moeten worden om enig effect te geven in de zomerperiode. Voor aardappelen is hier de datum van 3 februari voor gekozen, dit wil zeggen ongeveer drie maanden voor de start van het groeiseizoen. Dit betekent echter niet, dat op 3 februari ook daadwerkelijk wordt begonnen met het opzetten van het peil. Er wordt alleen vanaf deze datum bekeken of de grondwaterstand het toelaat, volgens een schema à la tabel 3.1, dat het streefpeil wordt verhoogd. Voor gras ligt deze situatie iets anders. Het gras zal na een rustperiode in de winter tengevolge van lage temperaturen en onvoldoende straling weer beginnen te groeien als er 200°d bereikt zijn (JAGTENBERG, 1961-1963).

De start van het groeiseizoen zal ook sterk afhangen van de grondwaterstand. Een nat profiel zal langer koud blijven dan een droog profiel. Om dit effect mee te nemen in de berekeningen is er verondersteld, dat er een temperatuurscorrectie zal optreden bij hoge grondwaterstanden. Een schematisch verloop hiervan wordt weergegeven in fig.3.7.

Het gevolg van bovenstaande voor het peilbeheer bij grasland is, dat dit met name in de wintermaanden en vroege voorjaar ook afhankelijk is van de temperatuur. Om aan de ene kant de temperatuurscorrectie zo klein mogelijk te houden en aan de andere kant tegemoet te komen aan de mogelijkheid te conserveren is een criterium voor de start van het peilbeheer voor grasland gesteld op 150°d.

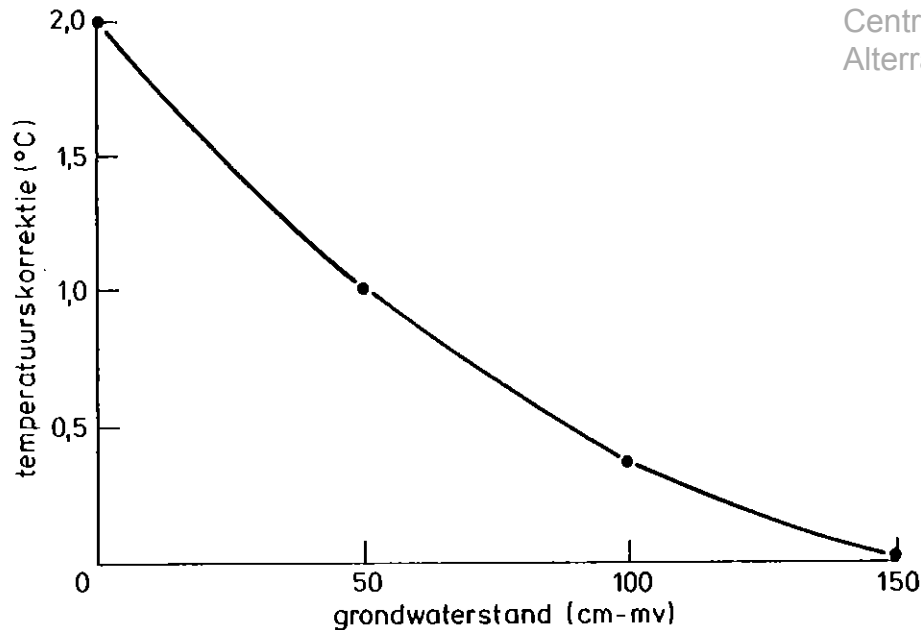


Fig. 3.7. Verloop van de temperatuurscorrectie in afhankelijkheid van de grondwaterstand volgens INTERNE WERKGROEP HELP, 1983

Het tegenstrijdige belang van conservering en voorkomen van natschade bij de start van het groeiseizoen wordt voor de winterperiode uitgedrukt in een stuwpeil van fase (0) bij grondwaterstand boven 1,0 m beneden maaiveld, respectievelijk een stuwpeil van fase (2) bij een grondwaterstand beneden die ene meter. Bij een grondwaterstand van meer dan 1,0 m beneden maaiveld wordt het stuwpeil op fase (2) gesteld om zodoende alvast te conserveren, terwijl een stuwpeil van fase (0) gehanteerd wordt om zodoende zo goed mogelijk te draineren in verband met het voorkomen van natschade.

Om zo efficiënt mogelijk om te gaan met het water worden er tijdens het groeiseizoen ook nog enkele beperkingen opgelegd aan het peilbeheer. Zo zijn de fasen (5), (6) en (7) slechts toegestaan en dan nog bij een bepaald vochttekort van de wortelzone na een bepaalde datum. Fase (5), (6) of (7) worden slechts toegestaan na 24 juni respectievelijk 1 juli, omdat na deze data tot ongeveer half augustus de kansen op een neerslagoverschot het kleinst zijn.

Zodra het vochttekort in de wortelzone na begin augustus al beneden een bepaalde grenswaarde komt, dit wil zeggen de wortelzone bevat nog voldoende vocht, zal er begonnen worden met het afbouwen van het peilbeheer naar de laagste fase. Het afbouwen van het peilbeheer zal in ieder geval zo geschieden, dat na 16 september het streefpeil gehandhaafd blijft op fase (0) om verliezen tijdens het oogsten te voorkomen.

Tenslotte gelden ook nog enkele beperkingen die verband houden met het zo geleidelijk mogelijk laten verlopen van het peilbeheer. De eis dat er een maximale daling van het wijkpeil is toegestaan van 20 cm per keer heeft te maken met het gevaar lopen van de stabiliteit van de taluds bij te grote verlagingen.

Ook voor het bepalen van het wel of niet aanvoeren van water, gedurende de periode van 28 april tot 1 september, wordt gebruik gemaakt van het vochttekort van de wortelzone, om zodoende een efficiënt beheer te verkrijgen. Als er water aangevoerd mag worden, dan zal dit nagenoeg altijd gebeuren bij de maximale aanvoercapaciteit. Slechts in het geval dat er een 'voorspelbare' afvoer over de stuw zal plaatsvinden in de loop van de komende week, zal de aanvoer gereduceerd worden. Deze afvoer wordt voorspeld met vergelijking (3.1),

waarin diverse componenten
 worden geschat aan de hand van gegevens van die afgelopen week.

Bij het hele peilbeheer tijdens het groeiseizoen speelt het vochttekort in de wortelzone naast de drie dagen oude grondwaterstand een regulerende rol. In tabel 3.2 worden enkele grenswaarden voor dit vochttekort, met betrekking tot het peilbeheer (toestaan fase (5), (6) en (7), wel/geen aanvoer, afbouwphase) gegeven. De grenswaarden zijn gegeven ten opzichte van de vochtinhoud van de wortelzone bij $pF = 2,0$.

Tabel 3.2. Grenswaarden vochttekort in wortelzone ten behoeve van peilbeheer in cm

	Aardappelen	Gras	
	veen-/zandgrond	veengrond	zandgrond
Toestaan fase (5)	-	2,0	1,0
" fase (6)	1,0	3,0	1,5
" fase (7)	1,0	-	-
Wateraanvoer	1,0	3,0	1,5
Vervroegde afbouw	2,0	2,0	1,0

3.3. B e r e g e n i n g

Door de beschreven koppeling van peilbeheer en onverzadigde grondwaterstroming is het mogelijk om zowel drainage als ondergrondse infiltratie te simuleren. Hierdoor kan een kwantitatieve uitspraak gedaan worden over de effecten van conservering en wateraanvoer op de gewasverdamming. In sommige gevallen (hoge drainageweerstanden) zullen de effecten zo laag zijn, dat overwogen kan worden om beregening toe te passen. Er zal alleen beregening uit open water (fig. 3.8) worden gesimuleerd, hetgeen een beheer vraagt dat hierop is ingespeeld.

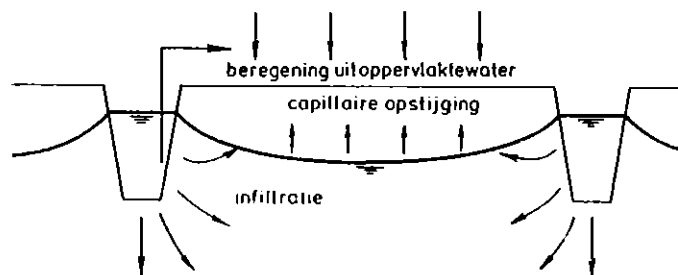


Fig. 3.8. Schematische weergave van ondergrondse infiltratie gecombineerd met beregening vanuit open water

Er zal dus telkens, als er beregend gaat worden, voldoende water beschikbaar moeten zijn. Anders zullen er toch putten geslagen worden om water te onttrekken uit het diepe grondwater. Met name de wateraanvoer zal daarom snel en flexibel moeten gebeuren.

De selectie van de gronden waarop, naar verwachting beregening plaatsvindt of de eventuele uitbreiding zal gebeuren, is als volgt gegaan. In eerste instantie is gekeken naar de bodemtypen, die door de TWG (1984) als beregenings-rendabel zijn geselecteerd voor beregening uit grondwater.

Omdat echter voor het grondwaterplan met veel meer bodemtypen is gewerkt en de modellen voor de onverzadigde zone, die zijn gebruikt voor respectievelijk het grondwaterplan (De Laat) en het tussen-10-plan (SWADRE) nogal verschillen, zijn de gegevens van de TWG niet zonder meer bruikbaar. Daarom is tevens gekeken naar de praktijk in een tweetal waterschappen. Geïnterviewd zijn de omvang van de beregening uit oppervlaktewater (circa 2,5% van het landoppervlak) en de bodemtypen waarop dit voorkomt.

Dit resulteerde uiteindelijk in een lijst van bodemkundig-hydrologische eenheden, die wellicht voor berekening uit oppervlaktewater in aanmerking zouden komen. De eenheden zijn vervolgens doorgerekend met SWADRE met berekening en aanvoer ten behoeve van peilbeheer (1,5 mm/d). Aan de hand van deze gegevens zijn tenslotte de voor berekening in aanmerking komende gronden geselecteerd. Hierbij zijn twee criteria gehanteerd:

- de effecten en de efficiëncies van de berekening;
- het totaal in aanmerking komende oppervlak.

Tabel 7.1 bevat de combinaties, die in aanmerking genomen zijn voor berekening. Deze nemen circa 8% van het tussen-10-plan gebied in.

De periode waarin berekend wordt is van 28 april tot 1 september, namelijk de periode waarin wateraanvoer kan plaatsvinden. Bij het opstellen van een beregeningsplan voor deze periode spelen voor zowel aardappelen als gras de volgende variabelen een grote rol:

- grootte van de beregeningsgift
- beregeningsinterval
- beregeningscriterium.

Voor gras en aardappelen worden de volgende cijfers met betrekking tot de beregeningsstrategie gehanteerd (tabel 3.3). Vanwege de over het algemeen grotere bewortelingsdiepte van aardappelen is hierbij de

Tabel 3.3. Beregeningsstrategie voor aardappelen en gras

	Aardappelen	Gras
Bruto gift (mm)	35	30
Beregeningsinterval (d)	10	7
Beregeningscriterium (pF)	2,5	2,5

beregeningsgift hoger gesteld dan bij gras.

De bruto-gift en het daarmee samenhangende beregeningsinterval kunnen bijgesteld worden voor bepaalde bodemtypes om percolatieverliezen te voorkomen. Nu is het wel zo dat het percolatiewater na een beregeningsgift een extra stijging van de grondwaterspiegel met zich mee kan brengen, waardoor de capillaire nalevering weer positief beïnvloed wordt.

vloed wordt, doch dit is een niet beoogd indirect effect. Er wordt naar gestreefd zo te beregenen, dat het water voornamelijk in de wortelzone blijft hangen. Om de directe percolatieverliezen te beperken moet de bruto beregeningsgift kleiner zijn dan het verschil in vochtinhoud van de wortelzone bij verzadiging en bij het beregeningscriterium. Is de gift van 35 respectievelijk 30 mm, die constant verondersteld wordt gedurende het groeiseizoen, te groot, dan wordt deze teruggebracht tot 30 respectievelijk 25 mm. Het beregeningsinterval wordt daarna ook verhoudingsgewijs bijgesteld.

Een beregeningscriterium van $pF-2,5$ wordt gehanteerd om droogteschade enigszins toe te laten. Hierdoor wordt de efficiency van beregening aanzienlijk vergroot (VAN BOHEEMEN en REULING, 1984).

Vanwege het optreden van onregelmatigheidsverliezen tengevolge van de sproeieropstelling en eventuele wind- en lekverliezen wordt met een verlies van 15% gerekend. Dit wil zeggen, dat bij een bruto gift van 35 mm respectievelijk 30 mm de netto gift, dat is de hoeveelheid water die infiltreert in het bodemprofiel, ongeveer 30 mm respectievelijk 25 mm zal bedragen.

Om onnodige beregening te voorkomen is er gesteld, dat de beregening slechts mag beginnen als de neerslagsom van die betreffende dag kleiner is dan 10 mm.

Voor het berekenen van de totale aanvoer ten behoeve van beregening moeten zowel het percentage te beregenen bouw- respectievelijk grasland als het percentage open water bekend zijn. Naar aanleiding van de eerder genoemde veronderstelling, dat het water voor de beregening direct en in voldoende mate aanwezig moet zijn, wordt er in de berekening van het open waterpeil geen stijging en daling van dit open waterpeil tengevolge van aanvoer en onttrekking doorberekend. Gezien het percentage cultuurgrond wat nu uit oppervlaktewater wordt beregend, is dit een verantwoorde aanname.

4. VERDAMPING

De flux door de bovenrand, zoals is weergegeven door vergelijking (2.4), bevat naast de neerslag ook nog twee verdampingstermen, namelijk de bodem- en interceptieverdamping.

De potentiële bodemverdamping E_{sp} wordt berekend volgens BELMANS et al., (1981):

$$E_{sp} = 0,9 E_p e^{-0,6I} \quad (4.1)$$

waarin:

$$\begin{aligned} E_p &= \text{potentiële evapotranspiratie} & (\text{cm.d}^{-1}) \\ I &= \text{bladoppervlakte-index} & (-) \end{aligned}$$

Voor deze index I wordt de volgende lineaire regressievergelijking gebruikt:

$$I = aS_c + bS_c^2 + cS_c^3 \quad (4.2)$$

Hierin stelt S_c de bodembedekkingsgraad (-) voor. De waarden voor de regressiecoëfficiënten zijn 2,6, 1,5 en 0,9.

De potentiële bodemverdamping wordt verder nog gecorrigeerd voor periodes waarin weinig neerslag valt, zodat de gereduceerde bodemverdamping E_{sp}^r te berekenen is. De interceptieverdamping wordt geschat met behulp van een niet-lineaire regressievergelijking (RIJTEMA, 1965), zodat de potentiële flux door het oppervlak in vergelijking (2.4) berekend kan worden. Deze potentiële flux wordt dus berekend met behulp van meteorologische grootheden nabij het aardoppervlak. De werkelijk optredende flux door het oppervlak, waarmee vergelijking (2.1) opgelost kan worden, wordt ook nog bepaald door de vochttoestand in de bodem nabij het aardoppervlak. Deze actuele flux door het oppervlak wordt nu bepaald uit het minimum van bovengenoemde potentiële flux en de volgens Darcy berekende flux tussen het knooppunt van het bovenste bodemcompartiment en het oppervlak.

Naast deze flux door het aardoppervlak moet er ook nog een maximale flux door het gewas worden gedefinieerd ten behoeve van de berekening van de sinkterm S (vgl. 2.2 en 2.3). Deze sinkterm geeft de vochtopname door de plantenwortels weer (FEDDES et al., 1978).

4.1. Aardappelen

Alvorens $S_{\max}$ te berekenen is het eerst noodzakelijk om de potentiële gewasverdamping E_{tp} vast te stellen. De flux door het gewas, transpiratie, wordt bepaald uit de gecombineerde flux van evaporatie en transpiratie, de evapotranspiratie E . Voor aardappelen wordt de evapotranspiratie berekend met behulp van de Monteith-Rijtema formule. Deze formule is afgeleid uit de Penman-formule, die volgt uit de gecombineerde benadering van transportvergelijkingen en energiebalans. De Monteith-Rijtema formule drukt de potentiële evapotranspiratie uit in de verdamping E_{wet} van een nat gewas gecorrigeerd met een interceptieverdampingsterm E_i , zodat

$$E = \frac{s + \gamma}{s + \gamma(1 + \frac{r_c}{r_a})} (E_{wet} - E_i) \quad (4.3)$$

waarin:

s	= helling van de verzadigde dampspanningscurve	(mbar.K ⁻¹)
γ	= psychrometerconstante	(mbar.K ⁻¹)
r_c	= gewasweerstand	(s.m ⁻¹)
r_a	= aerodynamische weerstand	(s.m ⁻¹)
E_{wet}	= verdamping nat gewas	(cm.d ⁻¹) of (kg.m ⁻² .s ⁻¹)
E_i	= interceptieverdamping	(cm.d ⁻¹) of (kg.m ⁻² .s ⁻¹)

De gewasweerstand, welke uit drie in serie geschakelde weerstanden bestaat, wordt constant verondersteld gedurende het groeiseizoen. Voor aardappelen neemt deze r_c de waarde van 30 s.m⁻¹ aan. De aerodynamische diffusieweerstand r_a is een functie van gewashoogte en windsnelheid. RIJTEMA (1965) definieert hiervoor een bepaalde windfunctie, welke gewasafhankelijk is, zodat enige voorzichtigheid geboden is bij het overnemen van de bijbehorende coëfficiënten uit de literatuur. Een andere uitdrukking voor deze diffusieweerstand kan worden afgeleid uit de zogenaamde transportvergelijkingen (DE BRUIN en KOHSIEK, 1979). Hierbij is verondersteld dat de stabiliteitsfuncties voor massa- en warmtetransport beide gelijk aan nul zijn, dit wil zeggen dat er geen stabiliteitscorrectie wordt meegenomen.

Er geldt dan voor r_a :

$$r_a = \frac{1}{k \cdot u(z_r + d)} \left\{ \ln\left(\frac{z_r}{z_o}\right) \right\}^2 \quad (4.4)$$

waarin:

k = Von Karman constante (0,41)

$u(.)$ = windsnelheid (m.s^{-1})

z_r = referentieniveau voor verdampingsberekeningen ($z = 2 \text{ m}$)

d = verplaatsingshoogte ($d = 0,7 \times \text{gewashoogte in m}$)

z_o = ruwheidslengte ($z_o = \max \{0,025; 0,13 \times \text{gewashoogte in m}\}$)

Het verloop van de gewashoogte en bedekkingsgraad met de tijd wordt weergegeven in fig. 4.1. Deze gegevens zijn ontleend aan metingen

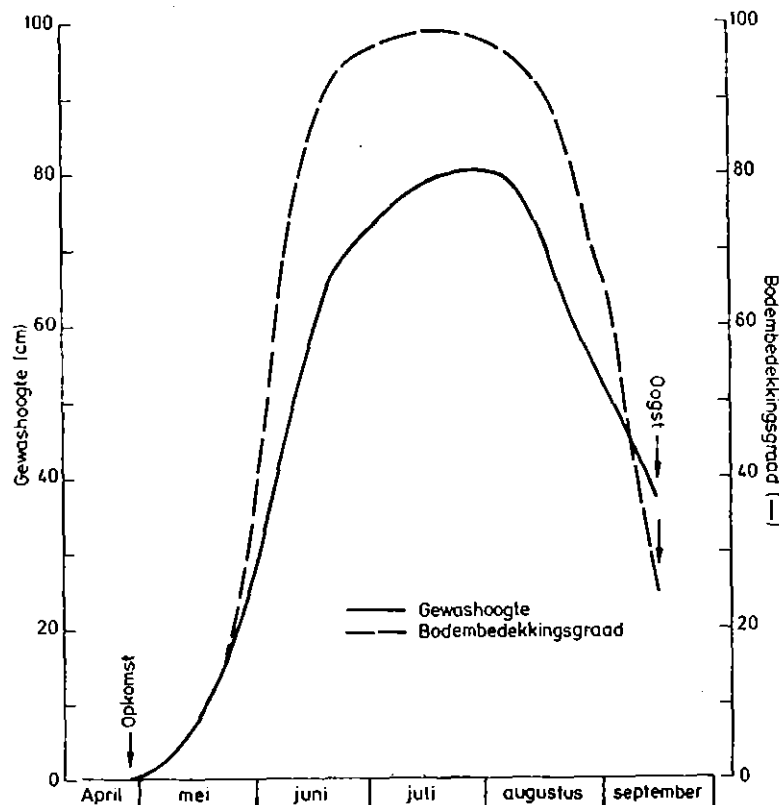


Fig. 4.1. Verloop van gewashoogte en bodembedekkingsgraad met de tijd voor aardappelen (ontleend aan HELLINGS et.al., 1982)

van een beregend aardappelgewas (HELLINGS et al., 1982). Dit houdt in dat de gewasgegevens betrekking hebben op een gewas dat optimaal van water is voorzien. Ten gevolge van een minder goede watervoorziening kan het gewas bijvoorbeeld eerder afsterven. Het is dan ook aannemelijk dat, ten gevolge van wateraanvoer, het gewas niet alleen beter verdampt maar ook beter groeit. Dit laatste (secundaire) effect is dus in de modelberekeningen n i e t meegenomen.

Het groeiseizoen van aardappelen loopt vanaf 1 mei tot 16 september. Vanaf 16 september wordt er begonnen met de oogst.

In verband met het verbouwen van aardappelen op ruggen wordt voor de ruwheidslengte z_0 een minimale waarde van 0,025 m aangehouden. Uit vergelijking (4.4) blijkt direct dat bij zeer lage windsnelheden de diffusieweerstand r_a naar oneindig gaat. Doordat bij deze lage windsnelheden het microklimaat rondom de plant juist bepaald gaat worden door de latente en voelbare warmtestroom in plaats van door het impulstransport, waardoor bepaalde turbulentiestructuren nabij het oppervlak blijven bestaan, zal de waarde van r_a niet naar oneindig gaan. Voor aardappelen heeft vergelijking (4.4) geen bevredigende resultaten voor de potentiële gewasverdamping gegeven. Daarom is er gekozen voor een uitdrukking van de r_a volgens THOM and OLIVER (1977), die overigens is afgeleid voor kort gemaaid gras, zoals in de volgende paragraaf verder wordt toegelicht. Voor een jaar als 1976 blijkt de potentiële verdamping nu ongeveer 20 mm hoger uit te komen.

Omdat de windsnelheid niet direct boven het betreffende gewas gemeten is, maar bij het meteo-station Eelde en wel op 10 m hoogte, moet deze windsnelheid gecorrigeerd worden:

$$u(z) = c_u \cdot u_s(10) \quad (4.5)$$

waarin:

$$\begin{aligned} u(z) &= \text{windsnelheid op hoogte } z & (\text{m.s}^{-1}) \\ c_u &= \text{correctiefactor} & (-) \\ u_s(10) &= \text{gemeten windsnelheid op 10 m hoogte} & (\text{m.s}^{-1}) \end{aligned}$$

Als er geen verplaatsingshoogte d wordt meegenomen (voor het geval de gewashoogte bijvoorbeeld kleiner is dan 20 cm, zodat $z = 2$ m) neemt de correctiefactor c_u (incl. beschuttingscorrectie) voor Eelde de waarde van 0,74 aan (DE BRUIN, 1979).

Bij een gewashoogte van meer dan 20 cm, zal de invloed van deze gewashoogte op de windsnelheid wel meegenomen worden, zodat $z = 2,0 + d$. Dan neemt c_u volgens het rapport van de AD HOC GROEP VERDAMPING (1984) de volgende gedaante aan

$$c_u = \frac{\ln(60/0,02)}{\ln(10/0,02)} \cdot \frac{\ln(2,0/z_0)}{\ln(60/z_0)} \quad (4.6)$$

De waarde van 0,02 is afgeleid uit de gegeven waarde van 0,74 voor meteo-station Eelde.

Uit de berekende waarden van E_{sp} (vgl. 4.1) en E_p (vgl. 4.3) is nu de potentiële gewasverdamping E_{tp} te berekenen volgens

$$E_{tp} = E_p - E_{sp} \quad (4.7)$$

waarbij de bodem- en gewasverdamping dus als twee aparte processen worden beschouwd. Deze potentiële gewasverdamping moet echter nog wel worden gecorrigeerd voor de situatie dat de turgorpotentiaal in het blad een bepaalde kritieke waarde onderschrijft. Deze turgorpotentiaal speelt naast andere factoren, zoals lichtintensiteit e.d., een belangrijke rol bij het openstaan van de huidmondjes. Bij een hoge potentiële verdampingsvraag vanuit de atmosfeer nabij het aardoppervlak zal de turgorpotentiaal afnemen om aan deze verdampingsvraag te voldoen. Bij overschrijding van de kritieke waarde van de turgorpotentiaal zullen de huidmondjes sluiten, waardoor de gewasweerstand zal toenemen. Doordat het verband tussen de gewasweerstand r_c en de bladwaterpotentiaal in vele gevallen nog niet éénduidig is vastgelegd, is hier gekozen voor een vereenvoudigde aanpak. Er wordt nu verondersteld dat bij waarde van de potentiële gewasverdamping beneden de 5 mm/dag nog geen correctie zal optreden. Bij waarden boven deze 5 mm/dag wordt de volgende correctie toegepast:

$$E_{tp}^r = 0,5 + 0,2 (E_{tp} - 0,5) \quad (4.8)$$

waarin E_{tp}^r de gecorrigeerde potentiële gewasverdamping voorstelt. Deze waarde wordt dan ook gebruikt voor de berekening van S_{max} (vgl. 2.2).

4.2. G r a s

Voor gras ligt deze situatie wat de berekening van de flux door het aardoppervlak respectievelijk gewas betreft anders. Omdat er uitgegaan wordt van een bedekkingsgraad voor gras van 100% wordt er geen bodemverdamping berekend. Bovendien wordt de interceptieverdamping nihil verondersteld.

De evapotranspiratie voor grasland wordt berekend volgens THOM and OLIVER (1977), namelijk

$$\lambda E_p = \frac{s(Q^* - G) + \frac{\rho_a c_p}{r_a} (e_s \{T(z)\} - e(z))}{s + \gamma(1 + n)} \quad (4.9)$$

waarin:		
λ	= verdampingswarmte van water	(J.kg ⁻¹)
E_p	= potentiële evapotranspiratie	(kg.m ⁻² .s ⁻¹)
Q^*	= netto stralingsstroombichtheid	(W.m ⁻²)
G	= bodemwarmtestroombichtheid	(W.m ⁻²)
s	= helling van de verzadigde dampspanningscurve	(mbar.K ⁻¹)
ρ_a	= dichtheid van lucht	(kg.m ⁻³)
c_p	= specifieke warmte van lucht	(J.hg ⁻¹ .K ⁻¹)
$e_s\{.\}$	= verzadigingsdampspanning	(mbar)
$e(.)$	= dampspanning	(mbar)
n	= r_c/r_a	(-)
r_c	= gewasweerstand	(s.m ⁻¹)
r_a	= aerodynamische diffusieweerstand	(s.m ⁻¹)
γ	= psychrometer constante	(mbar.K ⁻¹)
$T(.)$	= temperatuur	(K)

Vermeld dient te worden dat ten behoeve van de modelberekeningen alle verdampingsstromen werden omgezet in een volumeflux als volgt:

$$E_{vol} = E_{mass} \cdot 86400/g \quad (cm.d^{-1}) \quad (4.10)$$

waarin g is versnelling van de zwaartekracht (m².s⁻¹).

Voor deze aerodynamische diffusieweerstand geven Thom en Oliver de volgende uitdrukking:

$$r_a = \frac{4,72}{1+0,54 u(2)} \left\{ \ln\left(\frac{2}{z_o}\right) \right\}^2 \quad (4.11)$$

Vergelijking (4.11) is afgeleid voor kort gemaaid gras uit een windfunctie zoals Penman die voor open water heeft vastgesteld. In tegenstelling tot vergelijking (4.4) geldt hier echter wel, dat de stabiliteit in rekening is gebracht, tenminste voor lage windsnelheden.

Voor gras wordt voor de gewasweerstand r_c een waarde van 65 s.m^{-1} aangenomen. Wat de windcorrectiefactor betreft wordt er geen verplaatsingshoogte en geen invloed van een afwijkende ruwheidslengte meegenomen, zodat c_u gelijk is aan 0,74 voor meteo-station Eelde. Voor de ruwheidslengte z_0 wordt voor gras een waarde van 0,01 m verondersteld. Doordat een bedekkingsgraad van 100% verondersteld wordt, zal er geen bodemverdamping kunnen optreden. Met name gedurende de winterperiode zou er zo tengevolge van een stilstand in de gewasgroei (lage temperatuur, weinig straling) geen positieve flux door de bovenrand optreden. Om ontsporing van het model in deze situatie tegen te gaan wordt de gewasverdamping dan door het model zelf gegenereerd met behulp van meteorologische gegevens en aan het einde van het door te rekenen kalenderjaar gecorrigeerd. Daarnaast zal er ook geen interceptieverdamping in rekening worden gebracht omdat de relatie tussen bladoppervlakte-index en bedekkingsgraad niet bekend is.

5. MODELLERING VAN DROOGTE- EN NATSCHADE

Voor wat de vochtvoorziening betreft kan een gewas schade onderkennen door te droge en te natte omstandigheden. Droogteschade kan ontstaan als de wortelzone onvoldoende water bevat om aan de verdampingsvraag van de plant te voldoen. Natschade kan optreden tengevolge van twee processen. Het eerste proces speelt zich af tijdens het groeiseizoen, waardoor de schade direct doorwerkt. De plantengroei zal namelijk afnemen, zodra er onvoldoende mogelijkheden zijn voor de gasuitwisseling in de bodem. Met andere woorden, als het vochtgehalte in de wortelzone te ver is toegenomen. Het tweede proces is indirect van aard. Tengevolge van te hoge grondwaterstanden, respectievelijk drukhoogtes nabij het aardoppervlak zullen de diverse bewerkingen, zoals zaaien/poten, oogsten en dergelijke, later plaatsvinden. Hierdoor zal enerzijds het groeiseizoen verkort worden en anderzijds zal de kwantiteit en/of kwaliteit afnemen. Hierna zal de modelmatige benadering van zowel droogte- als natschade worden besproken.

5.1. D r o o g t e s c h a d e

De droogteschade die tijdens het groeiseizoen zal optreden, wordt bepaald via de $\alpha(h_p)$ -functie uit vergelijking (2.2). Deze geeft de verhouding aan tussen maximale en actuele onttrekking door de wortels. De functie neemt in het algemeen de vorm aan als in figuur 5.1.

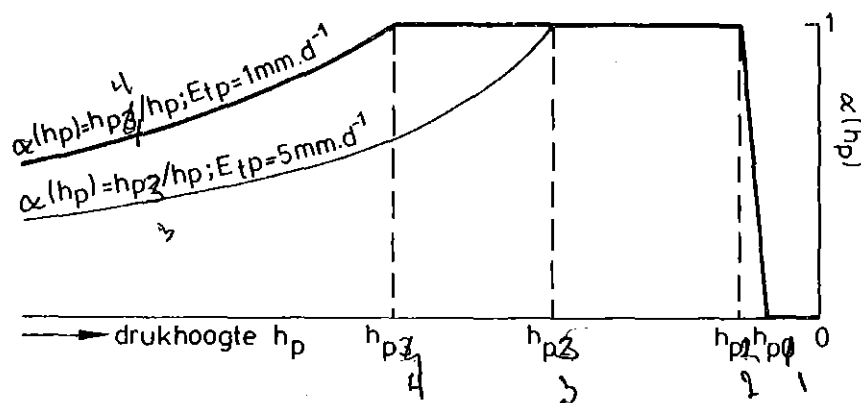


Fig. 2.1

Fig. 5.1. Algemene vorm van de dimensieloze sinktermvariabele α als functie van de drukhoogte h_p

De figuur laat zien dat er maximale wateropname mogelijk is (dus geen droogteschade optreedt) op het traject h_{p1} - h_{p2} respectievelijk h_{p3} . De grenswaarde van h_{p2} respectievelijk h_{p3} is afhankelijk van de vraag van de atmosfeer. Bij een grote verdampingsvraag zal eerder een verdampingsreductie optreden (h_{p2}) dan bij een lage verdampingsvraag (h_{p3}). In tabel 5.1. worden voor zowel gras als aardappelen de waarden voor h_{p2} en h_{p3} gegeven, die sterk bepalend zijn voor de mate van droogteschade tijdens het groeiseizoen.

Tabel 5.1. Kritieke drukhoogtes voor droogteschade voor zowel aardappelen als gras

Drukhoogtes	Aardappelen	Gras
h_{p2}	-200	-200
h_{p3}	-600	-800

Naast deze $\alpha(h_p)$ -functie spelen natuurlijk ook, zij het dan indirect, de watervoorziening en andere plaatsafhankelijke gegevens een rol in de optredende droogteschade.

5.2. N a t s c h a d e

Directe schade

De natschade tijdens het groeiseizoen zal optreden op het traject h_{po} (het zgn. anaerobiosispunt) - h_{pl} . Bij drukhoogten op het traject $0-h_{po}$, zal de gewasgroei stagneren vanwege de belemmering om CO_2 vanuit de wortels uit te wisselen. Het gewas zal dan niet kunnen verdampen, waardoor er alleen nog maar vocht uit de wortelzone onttrokken wordt door bodemverdamping en eventueel percolatie. In veel gevallen zal dit onvoldoende blijken te zijn om de hoge vochtgehaltes te doen dalen. Deze situatie gaat gepaard met hoge grondwaterstanden. In zo'n situatie gaan allerlei kleine greppeltjes, perceelsslootjes en terreindepressies bijdragen aan de ontwatering. Deze ontwateringsmiddelen zijn niet in de drainageweerstand verdisconteerd, omdat ze slechts een tijdelijke rol spelen en de hydrologische werking bovendien moeilijk is te kwantificeren. Echter bij de modelberekening is het noodzakelijk dit systeem mee te nemen, daar anders in vele gevallen in natte perioden veel hogere grondwaterstanden worden berekend, dan in werkelijkheid zullen optreden. Er wordt immers vanuit gegaan dat de waterhuishouding reeds zodanig is verbeterd (of zal worden verbeterd) dat in gebieden die in gebruik zijn als landbouwgrond deze hoge grondwaterstanden alleen in extreem natte perioden kunnen (zullen) voorkomen. Daarom is aangenomen dat bij een grondwaterstand hoger dan 60 cm beneden maaiveld de drainageweerstand afneemt tot 100 d. In verband met de gevoeligheid voor natschade bij aardappelen ($h_{po} = -40$ cm, $h_{pl} = -50$ cm) wordt deze 60 cm gehanteerd, zodat het greppelsysteem de zorg draagt dat de grondwaterspiegel niet te hoog en niet te lang boven de 60 cm beneden maaiveld zal stijgen. Op deze manier voorkomt het greppelsysteem dus het 'vollopen' van het bodemprofiel.

Ook voor grasland is deze 60 cm beneden maaiveld gehanteerd, hoewel gras minder gevoelig is voor natschade ($h_{po} = -10$ cm, $h_{pl} = -25$ cm).

Indirecte natschade

Naast de directe natschade tijdens het groeiseizoen spelen ook indirecte factoren mee.

Aan het einde van een simulatieperiode van 1 kalenderjaar worden voor bouwland de voor- en najaarscorrecties berekend. De voorjaarscorrectie wordt berekend met behulp van een aan de HELP ontleende methode.

Volgens deze methode moeten er in de periode van 20 maart t/m 10 april 10 werkbare dagen zijn. Per dag zal er $1/7$ deel van de oppervlakte bouwland bewerkt kunnen worden. Er wordt dus verondersteld dat er 30% van de tijd wordt besteed aan andere bezigheden. BEUVING (1982) stelt dat voor zand- en veenkoloniale gronden een bewerkingscriterium geldt van $h_p(5) < -70$ cm, dit wil zeggen dat er geen structuurbederf optreedt als de drukhoogte op 5 cm onder maaiveld kleiner is dan -70 cm. Voor veengronden zou eenzelfde criterium aangehouden moeten worden (Beuving, pers. meded.). Indien alle aardappels voor 11 april in de grond zitten, wordt aangenomen dat er geen reductie in verdamping tengevolge van een te late opkomst zal plaatsvinden. Voor iedere dag dat er later dan 10 april gepoot wordt zal de seizoenverdamping met 5,5 mm verminderd worden. Dit getal is afgeleid uit simulaties ten behoeve van het al eerder genoemde HELP-onderzoek, waarin ook effecten van verlate opkomst tengevolge van te koude omstandigheden (veroorzaakt door de natheid) worden meegenomen.

De berekening van de voorjaarscorrectie gaat nu als volgt:

- indien voor 11 april 10 werkbare dagen vanaf 20 maart zijn voorgekomen is de correctie nihil;
- indien geen 10 werkbare dagen zijn voorgekomen dan wordt van elk $1/7$ deel dat nog niet is gepoot bepaald hoeveel dagen na 10 april wel gepoot kan worden en wordt voor elke dag te laat $\frac{1}{7} \times 5,5$ mm in rekening gebracht. Bijvoorbeeld op 10 april bedroeg het aantal werkbare dagen 7. Dus is $\frac{7-3}{7} = 4/7$ deel gepoot. 11 April is een niet-werkbare dag, terwijl 12 en 13 april wel werkbare dagen zijn, 14 en 15 april weer niet en vanaf 16 april weer wel. De voorjaarscorrectie is nu:

$$\{2 \times 1/7 \text{ (12 april gepoot)} + 3 \times 1/7 \text{ (13 april gepoot)} + 6 \times 1/7 \text{ (16 april gepoot)}\} \times 5,5 = 8,6 \text{ mm}$$

Gebleken is echter dat bovengenoemd criterium te hoge voorjaarscorrecties met zich meebrengt, zodat het criterium is bijgesteld. Uiteindelijk is ervan uitgegaan dat een werkbare dag optreedt, als de grondwaterpiegel lager is dan 70 cm beneden maaiveld, hetgeen ook in de praktijk gehanteerd wordt. Er wordt tevens als criterium gesteld, dat de voorjaarscorrectie maximaal 40% van de totale seizoensverdamping kan bedragen. Voor de bepaling van de najaarscorrectie wordt er van uitgegaan, dat de oogst van aardappelen zal plaatsvinden in de periode van 16 september tot 1 november. In verband met de berijdbaarheid en bewerkbaarheid worden de volgende criteria gehanteerd (VAN WALSUM en VAN BAKEL, 1983):

- bij een grondwaterstand hoger dan 60 cm beneden maaiveld wordt een 'volledige niet-werkbare' dag in rekening gebracht
- bij een grondwaterstand tussen 60 en 100 cm beneden maaiveld een 'gedeeltelijk werkbare dag'
- bij een grondwaterstand dieper dan 100 cm beneden maaiveld een volledige werkbare dag.

Daarnaast wordt ook nog het criterium gehanteerd dat $h_p(15) < -50$ (BEUVING, 1982) in verband met de zeefbaarheid van de grond. Er wordt gesteld, dat er maximaal 30 dagen in bovengenoemde oogstperiode nodig zullen zijn voor het rooien van de aardappelen. Als in de praktijk zal blijken dat in verband met natschade deze 30 dagen niet gehaald kunnen worden, dan zullen boeren besluiten om een aantal dagen eerder te beginnen met rooien. Met andere woorden het groeiseizoen zal met zo'n aantal dagen verkort worden, zodat de seizoensverdamping die normaliter zou optreden wordt verminderd met de gewasverdamping van die dagen vóór 16 september. Deze gesommeerde gewasverdamping van een aantal dagen voor 16 september zal nu worden aangerekend als najaarscorrectie.

Voor grasland wordt de opbrengstdepressie tengevolge van indirecte natschade zoals vertrapping en dergelijke ontleend aan het rapport van de WERKGROEP LANDBOUWKUNDIGE ASPECTEN (1984) (fig. 5.2).

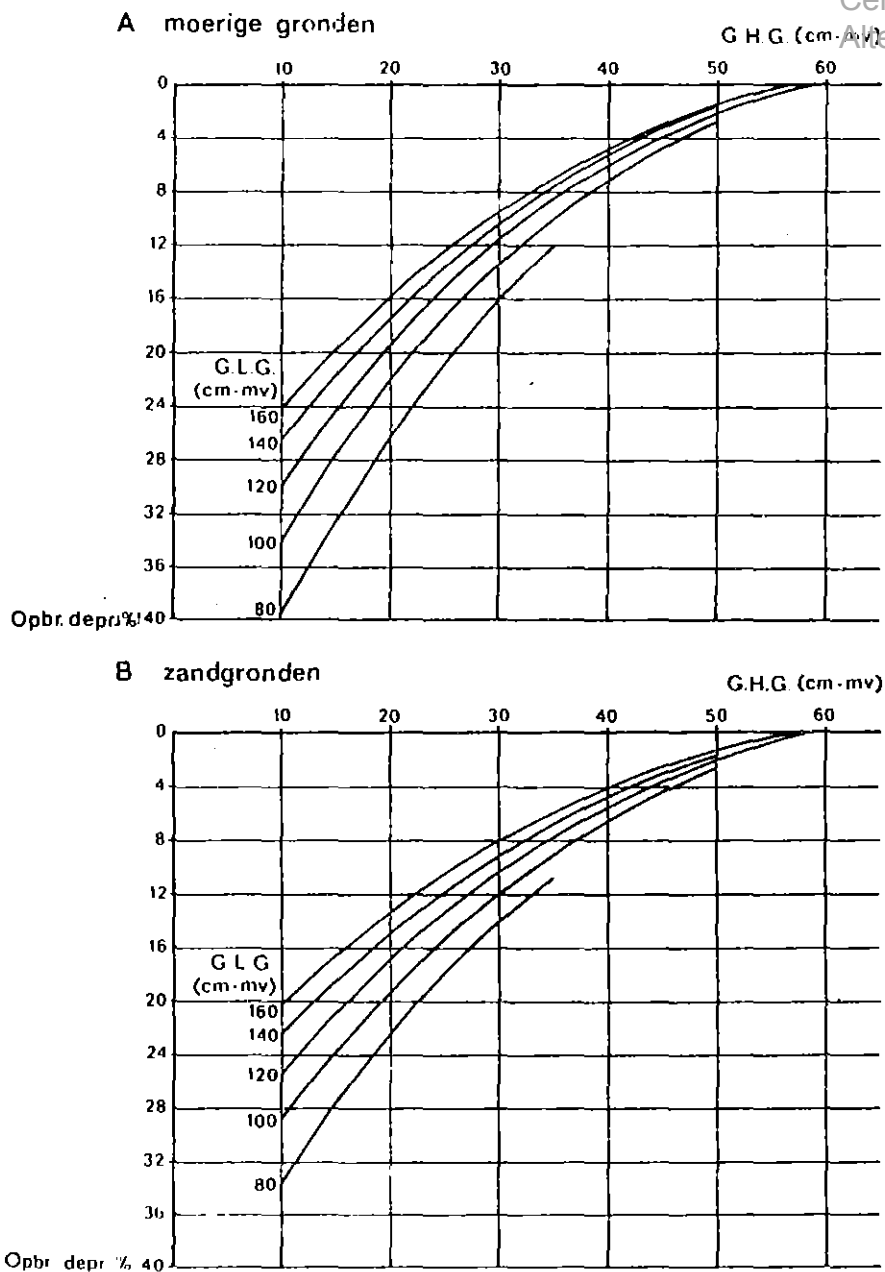


Fig. 5.2. Opbrengstdepressie door wateroverlast voor grasland op moerige gronden (A) en zandgronden (B) als functie van GHG en GLG (CoGRoWa)

Deze reductiecurven zoals weergegeven in fig. 5.2 geven de gemiddelde reductie over een reeks van jaren aan de hand van de berekende GHG en GLG, die tevens de grondwatertrap bepalen. Van jaar tot jaar kunnen echter wel aanzienlijke verschillen voorkomen afhankelijk van het grondwaterstandsverloop en meteorologische omstandigheden. Uit fig. 5.2 blijkt direct dat er reductie zal optreden bij grondwatertrappen met een GHG die kleiner is dan 40 cm -mv, namelijk bij Gt I, II, III en V. Er valt dus te verwachten, dat goed ontwaterde profielen (lage drainageweerstand), tenminste bij een gemiddelde over een reeks van jaren, geen opbrengstdepressie te zien zullen geven.

6. INVENTARISATIE HYDROLOGISCHE INVOERGEGEVENS

Voor het maken van de modelberekeningen met het computerprogramma SWADRE moeten 4 typen van invoergegevens worden vastgesteld. Namelijk:

- initiële grondwaterstandsgegevens;
- meteorologische gegevens;
- bodemfysische gegevens;
- hydrologische gegevens.

De initiële grondwaterstand wordt op 100 cm-mv vastgesteld, welke alleen voor de eerste door te rekenen dag wordt gebruikt. Het verdere verloop van de grondwaterstand wordt bepaald uit de waterbalans van de onverzadigde zone.

De meteorologische gegevens zijn ontleend aan het meteo-station Eelde (Drenthe).

BANNINK en STOFFELSEN (1984) hebben de bodemfysische invoergegevens beschreven. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat de diepte van de effectieve wortelzone afgerond is op decimeters. Dit is alleen gebeurd ten behoeve van toekenning bodemfysische eigenschappen. In de berekeningen wordt wel gerekend met de op 5 cm afgeronde diktes van de wortelzone. Dan ontstaat de volgende tabel met gewijzigde diktes van de wortelzone (Booy; pers. meded.).

Tabel 6.1. Gewijzigde diktes van de wortelzone voor aardappelen en gras

Aardappelen	Dikte wortelzone (cm)	Gras	Dikte wortelzone (cm)
Hn21 <u>v</u>	40	Hn21 <u>v</u>	30
iVc/iVz	20	ZWp	30
aVz/vZ	30	ZWp <u>x</u>	30
ZWp	30	KX	20
ZWp <u>x</u>	30	p2g23 <u>x</u>	20
cHn21	40	zVc/zVz (19)	30
p2g23 <u>x</u>	30	aVs	20
RVc/zVz (18)	20		

Bovendien is het iWp-profiel en daardoor ook iWpx vervangen door een gemengwoeld profiel, zoals dat beschreven is door VAN WALSUM en VAN BAKEL (1983).

De methode van bepaling van de hydrologische parameters ten behoeve van modelberekeningen zal worden toegelicht. Onder deze parameters vallen achtereenvolgens:

- drainageweerstanden (sloten/buisdrainage);
- regionale kwel/wegzijging;
- subregionale kwel/wegzijging.

6.1. D r a i n a g e w e e r s t a n d e n

Voor de bepaling van de drainageweerstand, weerstand tussen oppervlaktewatersysteem en freatisch pakket, is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de gegevens die reeds voor het grondwaterplan (TECHNISCHE WERKGROEP GRONDWATERPLAN (TWG), 1984) zijn verzameld. Ten behoeve van dit grondwaterplan zijn vijf zogenoemde 'voedingstypen' (fig. 6.1) onderscheiden, die gekarakteriseerd worden door een waterloopklasse en leemsituatie (leemcode en leemsoort). Voor elk van deze combinaties wordt nu de drainageweerstand berekend.

Er wordt verondersteld dat de drainageweerstand niet wordt beïnvloed door het stromingspatroon (neerslag/verdamping, kwel/wegzijging, drainage/infiltratie). De drainage/infiltratiestroming vindt deels plaats via het freatisch pakket en deels via het eerste watervoerende pakket, zodat de drainageweerstand een substitutieweerstand is voor de parallel geschakelde deelweerstanden. Figuur 6.2 geeft de weerstandscomponenten weer.

Omdat TWG (1984) de voedingsweerstanden bepaald heeft voor een éénduidige slootafstand van 100 m, gelden ook de weerstandscomponenten, waaruit de drainageweerstand bepaald wordt, voor deze afstand. Deze drainageweerstand is echter expliciet uit te drukken in de slootafstand (L). Hierdoor kan worden geprobeerd om de drainageweerstand enkel als functie van de slootafstand weer te geven voor de verschillende voedingstypen.

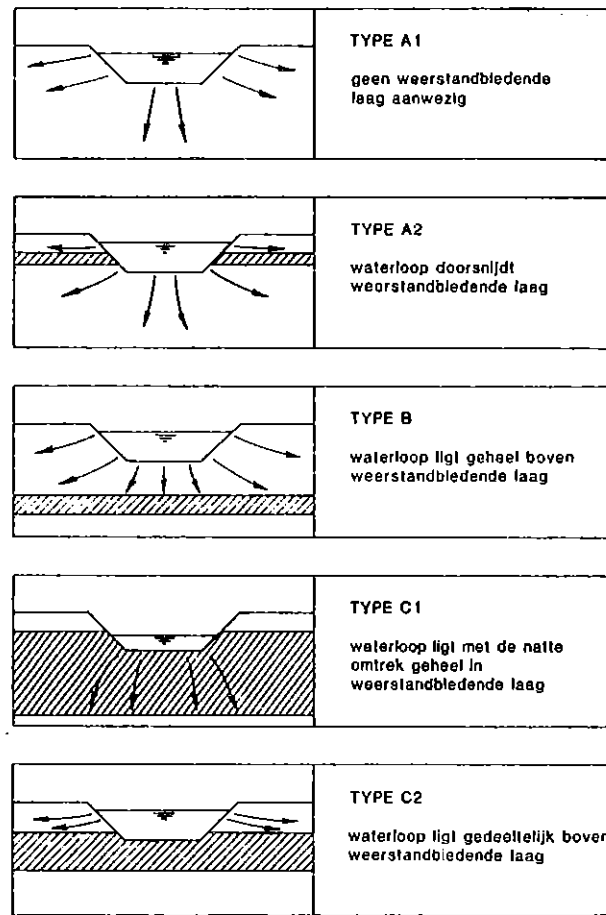


Fig. 6.1. Indeling in voedingstypen ten behoeve van het grondwaterplan
 Drenthe (ontleend aan TECHNISCHE WERKGROEP GRONDWATERPLAN, 1984)

Voor slootafstanden van 50, 250 en 500 m wordt de drainageweerstand nu berekend, gebruik makend van de volgende waarden voor de diverse parameters:

- horizontale doorlatendheid : 3 m.d^{-1}
- verticale doorlatendheid
- type A₁ en A₂ : 1 m.d^{-1}
- type B en C₂ : 3 m.d^{-1}
- bodemweerstand waterloop : 2 d
- doorlaatvermogen le watervoerende pakket: $100 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$

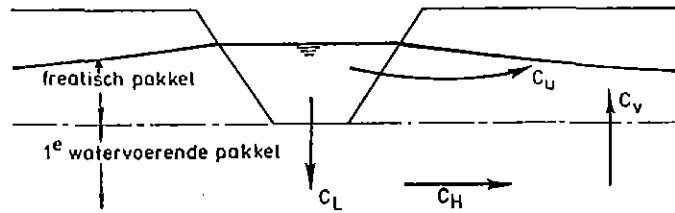


Fig. 6.2. Schematische weergave van de verschillende weerstandscomponenten van de drainageweerstand. Voor verklaring zie tekst

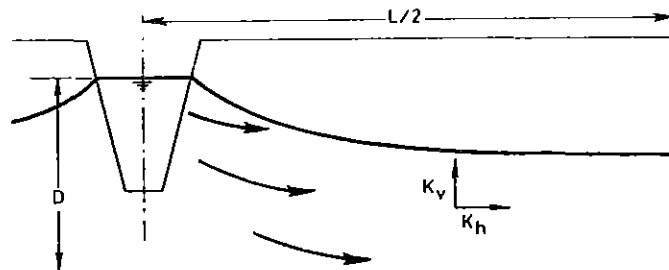


Fig. 6.3. Schematische weergave van de stromingstoestand bij voedings-type A₁

Voor voedingstype A₁ (fig. 6.3) is de drainageweerstand $\underline{\gamma}$ berekend met de formule van BRUGGEMAN (1978):

$$\underline{\gamma} = \frac{aL^2}{2\pi BK_v} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \cdot \sin^2 \left(\frac{n\pi B}{L} \right) \cdot \tanh \left(\frac{2n\pi D}{aL} \right) \quad (6.1)$$

waarin:

$a = (K_v/K_h)$, factor tengevolge van anisotropie

L = slootafstand (m)

B = natte omtrek (m)

K_v = hydraulische verticale doorlatendheid (m.d⁻¹)

K_h = hydraulische horizontale doorlatendheid (m.d⁻¹)

D = dikte watervoerende laag (m)

Voor de waarde van D wordt 5 m genomen omdat verg. (6.1) eigenlijk de voeding beschrijft vanuit het freatisch pakket naar de daaronder gelegen 1e watervoerende laag, wordt er nog een extra weerstand toegevoegd voor de horizontale stroming in het 1e watervoerende pakket, zodat $\underline{\gamma}$ volgens vergelijking (6.1) hiervoor nog wordt gecorrigeerd.

Bij type A_2 (fig. 6.4a en 6.4b) doorsnijdt de waterloop de leemlaag en ligt de waterloop gedeeltelijk in het le watervoerende pakket. Voor de stroming tussen het freatisch pakket en de waterloop via het le watervoerende pakket is dezelfde formulering van toepassing als voor type A_1 . Nu echter wordt gerekend met de effectieve natte omtrek B^* . De leemweerstand (c_1) met als extra verticale weerstand in rekening worden gebracht. De uiteindelijke weerstand via het le watervoerende pakket c_1 is de som van de weerstand berekend met verg. (6.1) en de leemweerstand.

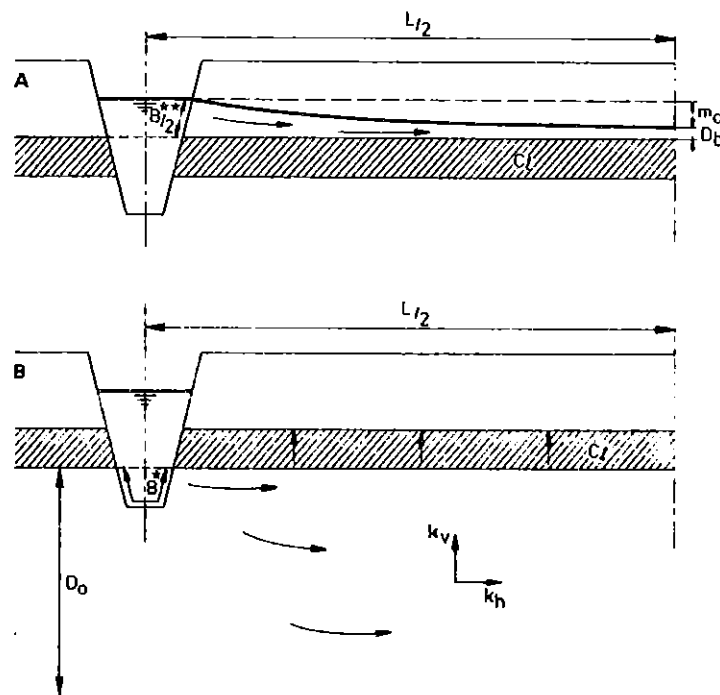


Fig. 6.4. Schematische voorstelling van de stromingsweerstand bij voedingstype A_2 opgesplitst in stroming onder en boven de weerstandbiedende laag

De weerstand voor de stroming boven de leemlaag is te berekenen met de formule van ERNST (1962), namelijk

$$\gamma_u = \frac{R \cdot L}{B^{**}} + \frac{L^2}{8K_h (D_b + \frac{1}{2}m_o)} \quad (6.2)$$

waarin:

- R = bodemweerstand (d)
 B^{**} = natte omtrek gelegen boven de leemlaag (m)
 D_b = laagdikte, waarin de stroming plaatsvindt (m)
 m_o = opbolling (m)

Omdat de waterlopen voor deze deelstroming als 'volkomen' zijn te beschouwen, speelt de radiale weerstand hier geen rol.

De verticale weerstand is verwaarloosd omdat D_b relatief klein is, zodat er nauwelijks sprake kan zijn van een verticale stromingscomponent. Juist omdat deze laagdikte klein is, levert de opbolling een niet te verwaarlozen bijdrage in de grootte van de horizontale weerstandscomponent. Bij de berekening van de drainageweerstand is dan ook uitgegaan van een grotere opbolling naarmate de slootafstand groter wordt.

De drainageweerstand wordt nu bepaald uit de substitutieweerstand voor de parallel schakeling van γ_l en γ_u .

Bij voedingstype B ligt de leemlaag op een zekere diepte beneden de bodem van de waterloop (fig. 6.5). Ook deze stromingssituatie wordt goed beschreven door de formule van Bruggeman. De vraag is of de geldigheid van de formule niet gevaar komt bij geringe laagdiktes ($D = 0,5$ m - 1,5 m). Bij de afleiding is namelijk verondersteld dat de opbolling gering is ten opzichte van de dikte van de top laag, danwel dat deze dikte vrijwel constant is en onafhankelijk van de plaats. Door de TWG (1983) is dit echter onderzocht en is geconcludeerd dat ook bij geringe diktes van de top laag, de formule tot redelijke resultaten leidt.

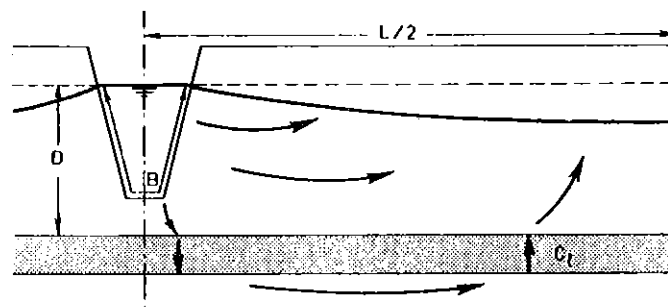


Fig. 6.5. Schematische voorstelling van de stromingstoestand bij voedingstype B

In het geval van voedingstype C₁ ligt de waterloop, althans het natte profiel, helemaal opgesloten in de leemlaag (fig. 6.6). De drainageweerstand kan nu berekend worden als een sommatie van de weerstand tussen waterloop en le watervoerende pakket (bodemweerstand + gecorrigeerde leemweerstand), de weerstand voor horizontale stroming in het le watervoerende pakket én de verticale weerstand over de leemlaag. In formule:

$$\underline{\gamma} = \underline{\gamma}_1 = c^* \cdot L + \frac{L^2}{8K_1 D_1} + c_1 \quad (6.3)$$

waarin:

- K_1 = doorlaatfactor le watervoerende pakket (m.d⁻¹)
 D_1 = dikte watervoerende pakket (m)
 c_1 = weerstand leemlaag (d)

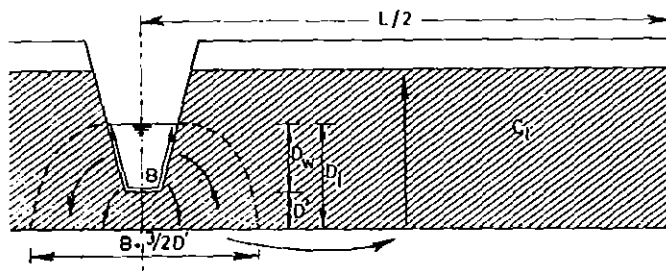


Fig. 6.6. Schematische weergave van de stromingstoestand bij voedings-type C₁

De weerstandsterm c^* wordt als volgt berekend:

$$c^* = \left[R + \frac{D_1 + 1/3 D_w}{D_1} \cdot c_1 \right] \frac{1}{B + 3/2 D_1} \quad (6.4)$$

waarin:

- R = bodemweerstand (d)
 D_1 = dikte doorstromende leemlaag (m)
 D_w = waterhoogte in waterloop (m)
 D_1 = dikte leemlaag
 B = natte omtrek

De getalwaarden van de diverse geometrische variabelen zijn af te leiden uit de gegevens van de waterloopklassen en leemcodes.

Zoals bij type A_2 soms mogelijk is, zo is bij type C_2 in principe altijd stroming langs twee wegen mogelijk, namelijk boven de leemlaag in het freatisch pakket en onder de leemlaag in het le watervoerende pakket (fig. 6.7). De berekeningswijze van de beide weerstandscomponenten is reeds eerder beschreven (vgl. 6.2 en 6.3, 6.4).

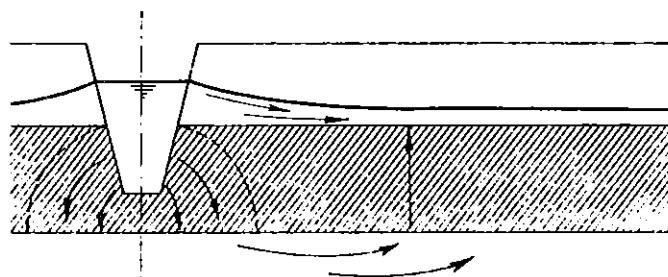


Fig. 6.7. Schematische weergave van de stromingstoestand bij voedings-
 type C_2

Voor de typen A_1 , A_2 en C_1 blijkt te gelden, dat de drainageweerstand als een lineaire functie van de slootafstand is uit te drukken. Namelijk:

$$\underline{\gamma} (L) = \frac{\gamma_{100} - \gamma_0}{100} \cdot L + \underline{\gamma}_0 \quad (6.5)$$

waarin:

γ_{100} = drainageweerstand bij $L = 100$ m (d)

γ_0 = drainageweerstand bij $L = 0$ m (d)

De drainageweerstand γ_{100} is direct bepaald uit de weerstandscomponenten, zoals die ten behoeve van het grondwaterplan (TWG, 1984) zijn berekend. Deze waarde voor γ_{100} wordt nu als uitgangspunt gekozen, naast de drainageweerstand γ_0 (intercept). Hiermee kan de drainageweerstand voor iedere willekeurige afstand berekend worden.

De drainageweerstand voor de typen B en C₂ blijkt niet te benaderen te zijn als een lineaire functie van de slootafstand. Hiervoor kan echter wel een machtsfunctie van de vorm

$$\gamma(L) = \gamma_1 \cdot L^{\frac{\ln \gamma_{100} - \ln \gamma_1}{\ln 100}} \quad (6.6)$$

gekozen worden.

In dit geval geldt het intercept bij $L = 1$ m, omdat $\ln(1) = 0$. Ten einde de drainageweerstand op een eenvoudige wijze te kunnen afleiden uit de voedingsweerstandens zoals die door de TWG zijn berekend voor elk voedingstype bij een slootafstand van 100 m zijn per leemcode, leemsoort en per waterloopklasse voor verschillende slootafstanden de verhoudingen berekend van de drainageweerstand en de voedingsweerstand. Hierbij is de voedingsweerstand c_v rechtevenredig verondersteld met de slootafstand.

$$c_v(L) = \frac{L}{100} \cdot c_{100} \quad (6.7)$$

Hierin stelt c_{100} de genormeerde voedingsweerstand bij een slootafstand van 100 m voor.

Met behulp van vergelijking (6.5) of (6.6) én vergelijking (6.7) is nu de verhouding $\gamma(L)/c_v(L)$ te berekenen voor verschillende slootafstanden.

Door te veronderstellen dat per vierkante kilometer, de eenheid waarvoor de voedingsweerstandens zijn berekend, een éénduidige gemiddelde slootafstand bestaat bij één bepaalde leemsituatie, kan de drainageweerstand enkel als functie van de waterloopklasse voor dit kilometervak worden uitgedrukt. Een verdere schematisatie wordt nog verkregen door een zeker gewicht toe te kennen aan het voorkomen van bepaalde waterloopklassen. Hiermee kan dan per leemsituatie en slootafstand een gewogen gemiddelde verhouding van drainageweerstand en voedingsweerstand worden bepaald. Per kilometervak is de drainageweerstand dan simpel te bepalen uit de voedingsweerstand, namelijk

$$\gamma = \alpha_v \cdot c_v \quad (6.8)$$

De grootte van de gewichtsfactoren voor het voorkomen van de verschillende waterloopklassen is feitelijk niet bekend. Er is nu van de veronderstelling uitgegaan, dat bij een kleine gemiddelde slootafstand

relatief weinig waterlopen met grotere afmetingen voorkomen. De factor α_v blijkt nu voor een bepaalde leemsituatie en slootafstand te variëren van 0,40 tot 2,50.

De drainageweerstand van buisdrainageselsel zijn bepaald aan de hand van berekeningen volgens de drainageformule van Ernst of Hooghoudt. Voor het geval een leemlaag ontbreekt, zal bij een drainafstand van 25 m (veel voorkomende drainafstand in Drenthe) de drainageweerstand 70 à 75 d bedragen. Als de drains op de leemlaag liggen, dan zal de drainageweerstand ongeveer tweemaal zo groot worden (ongeveer 160 d). Bij een leemdtepte van 1,60 m en 2,50 m bedraagt de drainageweerstand 90 respectievelijk 75 d.

6.2. Regionale kwel / wegzijging

De regionale kwel/wegzijging is op de hieronder beschreven wijze vastgesteld.

Als eerste stap is een verbredingskaart gemaakt. Deze is aanvankelijk gebaseerd op de isohypsen-kaart, die voor het grondwaterplan zijn gemaakt (RAPPORT TWG, 1984). Er zijn echter situaties, waarbij kwel of wegzijging niet in het isohypsenbeeld tot uitdrukking komt. Daarom is ook gebruik gemaakt van andere gegevens namelijk de grondwatertrappen van de bodemkaart, een kaart met de verspreiding van kwelindicatoren, topografische kaarten en lokale kennis.

Al deze gegevens zijn met elkaar gecombineerd. Als kwel of wegzijging op grond van deze gegevens aangenomen kon worden en ook strookte met het algemene hydrologische beeld werd aan het patroon, dat gebaseerd was op de isohypsenkaart, uitbreiding gegeven.

Voor het kwantificeren van de kwel- of wegzijgingsstanden is gebruik gemaakt van de volgende uitgangspunten en gegevens:

- aangenomen is dat in de hoogste delen van de provincie (diepe grondwaterstanden en geen oppervlaktewaterstelsel) een wegzijging aanwezig is ter grootte van het gemiddelde neerslagoverschot (± 1 mm/dag);
- in het kader van het vervolg van de PAWN-studie (PAWN-II) is voor een deel van Drenthe de kwel en wegzijging berekend aan de hand van de isohypsenkaart voor het tweede watervoerende pakket. Deze berekeningen geven waarden per 4 km^2 . Van deze waarden is gebruik gemaakt om de kwel- en wegzijgingsgebieden op de verbredingskaart nader te "kwantificeren";

- met eenvoudige modelletjes is een afschatting gemaakt van de kwel/wegzijging in een aantal karakteristieke situaties.

Uiteindelijk is er één kaart samengesteld. Er resulteert een netto-wegzijging. Deze ligt in de orde van grootte van de totale grondwaterwinning en de afstroming over de provinciegrens.

Voor de modelberekeningen is besloten de kwel en wegzijging weer te geven als in paragraaf 2.3 is aangegeven.

6.3. S u b r e g i o n a l e k w e l / w e g z i j g i n g

Als gevolg van een verbeterde en uitgebreide wateraanvoer zal een verandering van de grondwaterstroming plaatsvinden.

Als straks, bij uitvoering van het tussen-10-plan, over een groot gebied het oppervlaktewater in een droog jaar op peil gehouden kan worden, in tegenstelling tot de huidige situaties, dan zal de grondwaterstand ten opzichte van de vroegere tijd een tijdlang hoger liggen. Dit zal zich binnen het van water voorziene gebied uiten in een afname van de kwel of een toename van de wegzijging. In superpositie gedacht betekent dit een extra voeding van het grondwatersysteem. Deze zal afstromen naar gebieden zonder wateraanvoer en wellicht een toename van de verdamping kunnen bewerkstelligen op enkele plaatsen.

Dit zogenaamde subregionale effect is berekend met modellen, die gemaakt zijn voor het grondwaterplan.

Omdat van te voren moeilijk in te schatten is, wat de grootte van de verandering zal zijn, is gekozen voor het doorrekenen van een drietal situaties waarbij onderscheid is gemaakt tussen het zogenaamde minimumplangebied (d.i. het gebied dat nu van water kan worden voorzien) en het tussen-10-plangebied:

- a. een verandering van het oppervlaktewaterpeil in het minimum plangebied van 0 cm en in het tussen-10-plangebied minus het minimum plangebied van 20 cm;
- b. een verandering van het oppervlaktewaterpeil in het minimum plangebied van 10 cm en in het tussen-10-plangebied minus het minimum plangebied van 20 cm;
- c. een verandering van het oppervlaktewaterpeil in het gehele tussen-10-plangebied van 20 cm.

De berekeningsresultaten wijzen uit dat de veranderingen over het algemeen gering zijn en in eerste instantie geen rol behoeven te spelen bij de modelberekeningen. Naderhand zal wel door gevoeligheidsanalyses de invloed van dit effect op de verdamping worden ingeschat en eventueel door een correctie in rekening worden gebracht (par. 9.2).

6.4. C o m b i n a t i e s

De inventarisatie van bodemkundige en hydrologische invoergegevens heeft het volgende opgeleverd:

- a. per km^2 -vak (van het tussen-10-plangebied) is bekend welk bodemkundige hoofdeenheden daarbinnen voorkomen en hoeveel hectare deze in beslag nemen;
- b. per km^2 -vak is bekend of het hoofdtype voorkomt in combinatie met grasland dan wel bouwland;
- c. per km^2 -vak is een drainageweerstand bekend betreffende de waterlopen;
- d. per km^2 -vak is een drainageweerstand bekend betreffende het stelsel drainbuizen;
- e. per km^2 -vak is bekend de grootte van kwel of wegzijging.

Combinatie van deze bestanden moet leiden tot de zogenaamde bodemkundig-hydrologische eenheden.

Om het aantal combinaties beperkt te houden is de volgende werkwijze gekozen:

- de gegevens c, d en e zijn tot klassen gegroepeerd. De drainageweerstanden voor de open waterlopen zijn ingedeeld in 5 klassen, namelijk: 0-150 d, 150-400 d, 400-800 d, 800-2000 d en meer dan 2000 d. Per klasse is het gemiddelde bepaald. Bij de modelberekeningen zullen deze gemiddelden als representanten van de klassen worden gehanteerd.

De drainageweerstanden voor de stelsels drainbuizen worden ingedeeld in 3 klassen: 0-150 d, 150-700 d en "geen drainagestelsel". Uiteindelijk worden ook hiervoor gemiddelde waarden gehanteerd bij de berekeningen.

De kwel/wegzijgingsgegevens zijn in de volgende 5 klassen verdeeld:

wegzijging	0,4 - 1,0 mm/d
wegzijging	0,1 - 0,4 mm/d
weinig tot geen kwel/wegzijging	0 mm/d
kwel	0,1 - 0,4 mm/d
kwel	0,4 - 1,0 mm/d

Ook hiervan zijn gemiddelden bepaald, die bij de berekeningen worden gehanteerd.

Om het aantal door te rekenen eenheden te beperken is de volgende selectieprocedure toegepast:

- er zijn "hydrologisch-onwaarschijnlijke" combinaties, bijvoorbeeld een sterke wegzijging in combinatie met intensieve drainage, of bijvoorbeeld kwel in combinatie met zeer weinig waterlopen. Zulke combinaties kunnen ontstaan doordat de schematisering per km²-vak op een aantal plaatsen te grof is;
- er zijn combinaties met grote drainageweerstand. Deze kunnen werkelijk voorkomen doch wateraanvoer zal, indien alleen rekening gehouden wordt met infiltratie, geen effect hebben. In zo'n geval is doorrekenen niet zinvol.
Het betreft hier dan combinaties, die een drainageweerstand voor de open waterlopen hebben in de klasse 4 of 5;
- er zijn combinaties die slechts een beperkt oppervlak innemen. Combinaties met een totaal oppervlak kleiner dan 150 ha worden ondergebracht bij de dichtstbijzijnde combinatie.

Het resultaat van deze stappen was tenslotte een lijst van 158 bodemkundig-hydrologische eenheden. Wel bleken bij deze bewerkingen een aantal hoofdbodemtypen uit de lijst verdwenen te zijn, hetgeen ongewenst werd geacht. Deze 158 combinaties worden nu zo aangevuld dat alle hoofdbodemtypen een of meer keer voorkomen. Uiteindelijk zijn zo'n 200 combinaties vastgesteld.

7. BEREKENINGSRESULTATEN

7.1. A l g e m e e n

De weergegeven resultaten in bijlage A hebben betrekking op een representatief bodemprofiel met bijbehorende hydrologische kenmerken. Bovendien is de ongelijke maaiveldsligging, zowel op micro- als op mesoschaal, niet in deze resultaten verwerkt, zodat ook hier uitgegaan is van een representatieve maaiveldsligging.

Alvorens de verkregen resultaten nader toe te lichten worden eerst enkele algemene opmerkingen gegeven met betrekking tot de resultaten.

- Bij lagere drainageweerstanden zijn relatief hoger effecten te verwachten. Enerzijds zal het profiel goed ontwateren, zodat er minder natschade te verwachten valt. Anderzijds kan er ook effectiever geïnfiltreerd worden, waardoor de droogteschade beperkt wordt.
- II. Bij hoge drainageweerstanden zal het effect zeer beperkt blijven.
- III. Afhankelijk van de drainageweerstand zal meer of minder kwel een optimale efficiëntie van wateraanvoer te zien geven. Bij wegzijging zal namelijk een deel van het aangevoerde water gebruikt moeten worden om het open waterpeil op een bepaald niveau te handhaven, terwijl de verhoging van de grondwaterstand een versterkte wegzijging tot gevolg kan hebben.
- IV. Naast de positieve effecten van wateraanvoer (verhoging van de gewasverdamping) kunnen ook negatieve effecten tengevolge van toenemende natschade een rol spelen.
- V. De combinatie van kwel/wegzijging en drainageweerstand is, zoals uit hierboven genoemde opmerkingen volgt, dus sterk bepalend voor de effecten van wateraanvoer. De drainageweerstand is direct door de mens te beïnvloeden waardoor de berekende effecten eventueel nog te vergroten zouden zijn.

- VI. Naast bovengenoemde externe factoren met betrekking tot het bodemsysteem zijn ook interne factoren, zoals $K(h_p)$ -relatie, pF-curve en bewortelingsdiepte van groot belang. Deze factoren bepalen mede in grote mate de uitkomst.
- VII. Bij het vergelijken van de effecten van wateraanvoer voor de diverse profielen is het ook van belang om de gewasverdamping bij een peilbeheer met alleen conservering (nulsituatie) in ogenschouw te nemen. Dit geeft aan hoeveel valt er nog te 'verdienen' door toepassing van wateraanvoer.
- VIII. Profielen met grondwatertrap IV of VI en $hg_3 < 60$ cm-m zijn sterk beïnvloed geweest door het in par. 5.2 genoemde greppelsysteem. De onderkant van dit greppelsysteem (60 cm -mv) en de lage drainageweerstand hebben duidelijk de uiteindelijke waarde van hg_3 bepaald en daardoor ook die van de grondwatertrap. Door het "ondieper" maken van dit greppelsysteem zullen bij deze profielen een Gt II, III of V berekend kunnen worden.
- IX. De resultaten in bijlage A zijn het resultaat van berekeningen gedurende 30 jaar (1954-1963). Om te illustreren hoe effecten en efficiëncies in de verschillende jaren kunnen verschillen worden in bijlage B voor een bouwland en grasland op respectievelijk een $Hn21$ -profiel en een aVz/Vz profiel de jaarlijkse gegevens omtrent gewasverdamping, aanvoer en dergelijke weergegeven, bij zowel conservering als aanvoer met maximale capaciteit van $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$. Deze bijlage is tevens bedoeld als illustratie voor de vorm waarin de berekeningsresultaten werden uitgevoerd.

In de volgende paragraaf zal nader worden ingegaan op de effecten van peilbeheer en berekening op gewasverdamping. Een aparte paragraaf zal worden gewijd aan andere hydrologische effecten van peilbeheer zoals verandering in grondwaterstand en voorjaars- en najaarscorrectie.

7.2. Effecten van peilbeheer

7.2.1. Conserveringseffect

Onder het conserveringseffect wordt verstaan: de toename van de langjarige gemiddelde gewasverdamping over het groeiseizoen ten gevolge van conservering middels beweegbare stuwen ten opzichte van de verdamping bij vaste stuwen. Oftewel,

$$\overline{\Delta T_c} = \overline{T}_{\text{cons}} - \overline{T}_o \quad (7.1)$$

$\overline{\Delta T_c}$ = langjarig gemiddeld conserveringseffect (mm)
 $\overline{T}_{\text{cons}}$ = langjarige gemiddelde gewasverdamping bij conservering (mm)
 $\overline{T}_o$ = langjarige gemiddelde gewasverdamping bij constante kruinhoogte (vaste stuw) (mm)

De verdampingsreductie bij constante kruinhoogte, die veelal een maat is voor de droogtegevoeligheid van het profiel wordt als volgt berekend:

$$R_E = \left(1 - \frac{\overline{T}_o}{\overline{E}_{tp}}\right) * 100\% \quad (7.2)$$

$\overline{T}_o$ = langjarige gemiddelde gewasverdamping bij vaste stuw (mm)
 $\overline{E}_{tp}$ = langjarige gemiddelde potentiële gewasverdamping (mm)

Voor de profielen Hn21, Hn23 is het conserveringseffect voor zowel aardappelen als gras uitgerekend. Daarnaast worden deze effecten voor gras respectievelijk aardappelen nog berekend voor een aVz/Vz- en zVc/zVz-grond respectievelijk iWp- en iVz/iVc-grond. Het niveau van de vaste kruinhoogte is vastgesteld op grond van berekeningsresultaten met SWADRE. Door telkens een andere vaste kruinhoogte door te rekenen kan namelijk worden bepaald bij welke hoogte de hoogste $\overline{T}_o$ -waarde behoort. Tabel 7.1 geeft een overzicht van deze resultaten voor een periode van 12 jaar (1972-1983) naast de grootte van de verdampingstermen in mm.

Tabel 7.1a. Resultaten van conservering op de evapotranspiratie bij grasland

Profiel	Drainage- weerstand (d)	Kwel-/ weg- zijging	Peilbeheer grasland			
			constante kruin- hoogte (-110 cm)	alleen conser- vering	conser- verings- effect (mm)	verdam- pings- reductie (%)
Hn21	260/∞*	0,0	395,2	402,8	7,5	8
Hn23	260/∞	0,0	415,9	417,3	1,4	3
aVz/Vz	260/∞	0,0	399,6	402,5	2,9	7
zVc/zVz	260/∞	0,0	400,3	402,5	2,2	7

*1e getal: drainageweerstand van het open waterstelsel; 2e getal drainageweerstand van het drainagesstelsel

Tabel 7.1b. Resultaten van conservering op de gewasverdamping bij bouwland (aardappelen)

Profiel	Drainage- weerstand (d)	Kwel-/ weg- zijging	Peilbeheer bouwland			
			constante kruin- hoogte (-120 cm)	alleen conser- vering	conser- verings- effect (mm)	verdam- pings- reductie (%)
Hn21	260/∞	0,0	262,4	266,4	4,0	14
Hn23	575/∞	-0,024	279,9	281,2	1,3	8
iWp	260/∞	0,0	277,1	280,6	3,5	9
iVz/iVc	260/∞	0,0		245,6		

Uit tabellen 7.1a en 7.1b valt direct op dat deze verdampingsreductie en het conserveringseffect positief gecorreleerd zijn. Een hoog conserveringseffect komt overeen met een hoge verdampingsreductie bij een constante kruinhoogte.

Tevens blijkt het op het ideale tijdstip gemengwoelde iWp-profiel praktisch overeen te komen met het Hn23-profiel wat de verdampingsreductie betreft. Dat het conserveringseffect verschilt, kan veroorzaakt zijn door de afwijkende hydrologische gesteldheid. Deze profielen bezitten namelijk goede capillaire eigenschappen, zodat de nalevering vanuit het grondwater zich nog lang kan voortzetten gedurende het groeiseizoen.

Het Hn21-profiel blijkt het meest droogtegevoelig te zijn. Het conserveringseffect bedraagt in alle gevallen enkele mm's. Deze effecten van conservering zijn terug te vinden in vermindering van natschade tengevolge van de mogelijkheid om dieper te ontwateren en vermindering van droogteschade tijdens het groeiseizoen ten gevolge van de mogelijkheid het peil op te zetten.

7.2.2. Aanvoereffect en -efficiënces

Onder het aanvoereffect (effect van wateraanvoer op de gewasverdamping) wordt verstaan het verschil tussen langjarig gemiddelde gewasverdamping bij conservering in combinatie met wateraanvoer en bij alleen conservering.

Dus

$$\Delta T_{1,5} = \bar{T}_{1,5} - \bar{T}_{\text{cons}} \quad (6.2)$$

waarin:

$$\Delta T_{1,5} = \text{wateraanvoereffect bij aanvoercapaciteit van } 1,5 \text{ mm.d}^{-1} \quad (\text{mm})$$

$$\bar{T}_{1,5} = \text{langjarig gemiddelde gewasverdamping over het groeiseizoen bij aanvoercapaciteit van } 1,5 \text{ mm.d}^{-1} \quad (\text{mm})$$

De aanvoerefficiëncy is nu als volgt te berekenen:

$$e_{1,5} = \frac{\Delta T_{1,5}}{a_{1,5}} * 100\% \quad (6.3)$$

waarin:

$$e_{1,5} = \text{aanvoerefficiëncy bij aanvoercapaciteit van } 1,5 \text{ mm.d}^{-1} \quad (-)$$

$$a_{1,5} = \text{gemiddelde seizoensaanvoer bij aanvoercapaciteit van } 1,5 \text{ mm.d}^{-1} \quad (\text{mm})$$

Er komt dus $e\%$ van de seizoensaanvoer direct ten goede aan het gewas. Het gedeelte van de aanvoer dat niet effectief is, de overige $100 - e\%$, wordt voornamelijk aan het einde van het seizoen teruggevoerd als extra berging in de sloten en in de grond. Deze berging is nodig om enerzijds een potentiaalverschil op te bouwen tussen open water en grondwater (vgl. 2.6) om anderzijds nalevering vanuit het grondwater, door middel van verhoging van de grondwaterstand, mogelijk te maken. Dat gedeelte dat als extra berging in de sloten voorkomt, zal eventueel als afvoer tijdens het groeiseizoen en aan het einde van het seizoen over de stuw verdwijnen.

Uit de resultaten (bijlage A) blijkt in het algemeen dat voor zowel aardappelen als gras het vergroten van de aanvoercapaciteit een steeds kleiner effect op de gemiddelde gewasverdamping heeft. Met andere woorden de wet van de afnemende meeropbrengsten geldt. Dit geldt echter in mindere mate voor de stap $0,75 \rightarrow 1,5 \text{ mm.d}^{-1}$ dan voor $1,5 \rightarrow 2,5 \text{ mm.d}^{-1}$. In sommige gevallen is het zelfs zo dat bij een hogere aanvoercapaciteit de effecten afnemen, hetgeen een gevolg is van toenemende natschade. Hieruit is de conclusie te trekken dat er een optimale aanvoercapaciteit gekozen kan worden.

Hieronder volgen enkele opmerkingen met betrekking tot de invloed van gewas- en bodemtype, drainageweerstand en kwel/wegzijging op de effecten en efficiëncies.

I . In de meeste gevallen geeft grasland ten opzichte van aardappelen zowel een hoger aanvoereffect als een hogere efficiëncy. Het hogere aanvoereffect kan verklaard worden uit het feit dat gras veel ongevoeliger is voor natschade (par. 5.2) dan aardappelen. Hieruit volgt tevens dat de efficiëntie ook hoger zal zijn. Daar komt echter nog bij dat het aanvoercriterium, dat gebaseerd is op een bepaalde uitdroging van de wortelzone, voor grasland hoger ligt (tabel 3.2). Er wordt dus langer gewacht met wateraanvoer ten behoeve van grasland, waardoor er uiteindelijk ook minder verloren gaat. Hierbij treedt wel het gevaar op dat er te lang gewacht kan worden met wateraanvoer, waardoor de doorlatendheid van de ondergrond naar de wortelzone zover afneemt dat er nog nauwelijks vochttransport naar de wortelzone mogelijk is. Bij de bespreking van de resultaten van de gevoeligheidsanalyse (hoofdst. 8) wordt hier nader op ingegaan.

II. Zowel bij bouw- als grasland treden nogal grote verschillen op in aanvoereffecten. De Hn21-profielen blijken gunstige bodemfysische eigenschappen te hebben voor wat wateraanvoer betreft, in tegenstelling tot bijvoorbeeld aVs-gronden. Met name de capillaire eigenschappen van de ondergrond spelen hierbij een grote rol. Zijn deze eigenschappen gunstig (Hn23, Hn23x, KX e.a., BANNINK en STOFFELSEN, 1984) dan kan er ook voldoende nalevering vanuit het grondwater plaatsvinden. Enerzijds zal dit een effectief peilbeheer met zich meebrengen, maar anderzijds zal ook zonder peilbeheer voldoende nalevering mogelijk zijn om het verdampingstekort te reduceren. Zijn deze capillaire eigenschappen ongunstig (iV_c/iV_z , zW_p , zW_{px} , zV_c/zV_z en aVs) dan zou in principe peilbeheer effectief kunnen zijn door het grote verdampingstekort dat ontstaat, als er geen conserveringsmaatregelen en wateraanvoer zouden plaatsvinden. Echter nu vormen dezelfde ongunstige capillaire eigenschappen ook een belangrijke belemmering voor de opstijgingsmogelijkheden. Op grond van bovengenoemde argumenten zou de verwachting gewettigd zijn dat de variatie in effecten en efficiëncies niet zo groot zal zijn.

Er zijn echter gronden die aan de ene kant, omdat de grondwater-spiegel beneden een bepaald niveau zakt, onvoldoende vocht kunnen blijven naleveren, terwijl deze gronden aan de andere kant de nalevering wel in voldoende mate in stand kunnen houden als het grondwater door middel van voeding vanuit het open water, maar boven het kritieke niveau gehandhaafd kan blijven. Het Hn21-profiel is zo'n voorbeeld van een vanuit het oogpunt van peilbeheer gezien ideale grond.

Naast de hierboven genoemde capillaire eigenschappen spelen ook de bewortelingsdiepte, de pF-curve van de bovengrond en het aanvoercriterium een grote rol. Juist in de bovenste laag waar de plantwortels zich bevinden, wordt de vochtvoorziening van de plant geregeld. Profielen met een grote bewortelingsdiepte hebben een grotere buffer, waar vocht uit geput kan worden. Wat het aanvoercriterium betreft worden de effecten en efficiëncies sterk bepaald door de combinatie van fysische eigenschappen van wortelzone en ondergrond. Namelijk in welke toestand bevindt de ondergrond zich, als op grond van de vochtvoorraad in de wortelzone besloten wordt om water aan

te voeren. De invloed van het aanvoercriterium op de effecten is, door de complexiteit van het geheel, voor ieder profiel afzonderlijk moeilijk te voorspellen.

III. De invloed van de drainageweerstand is zoals te verwachten valt. Namelijk een lage drainageweerstand geeft relatief hoge effecten. De grootte van het verschil in effecten respectievelijk efficiënties wordt naast het verschil in drainageweerstand mede bepaald door de capillaire eigenschappen van de grond. Bij gronden waar de drainageweerstand de beperkende factor is, zal een duidelijker samenhang tussen drainageweerstand en effecten te zien zijn dan bij gronden waar de capillaire opstijging juist de beperkende factor is (bv. iV_c/iV_z). Bij deze laatstgenoemde gronden zal de efficiëntie echter wel sterk teruglopen als de drainageweerstand boven een bepaalde waarde komt.

IV. Voor aardappelen geldt dat afhankelijk van de drainageweerstand de aanwezigheid van meer of minder kwel een maximale efficiëntie te zien geeft.

Bij lagere drainageweerstanden (< 260 d.) geeft een grotere kwel een hogere efficiëntie, terwijl bij hoge drainageweerstanden juist een bepaalde hoeveelheid wegzijging een hogere efficiëntie zal geven. In deze situatie spelen voornamelijk de effecten als droogte- en natschade een belangrijke rol.

Omdat bij gras natschade nauwelijks een rol speelt, zal een grotere kwel ook een hogere efficiëntie te zien geven.

Als er gekeken wordt naar de effecten van wateraanvoer, dan blijkt dat in situaties met wegzijging de aanvoereffecten het grootst zijn. In geval van kwel zal het langjarig verdampingsstekort tengevolge van droogteschade bij conservering namelijk veelal kleiner zijn. Dit verdampingstekort zal echter weer groter worden naarmate de natschade tijdens het groeiseizoen groter wordt. In dat geval zal wateraanvoer alleen maar nadeliger werken, zodat er negatieve effecten kunnen optreden.

Bovenstaande opmerkingen hebben betrekking op de langjarige gemiddelde aanvoereffecten en -efficiëncies. Om te illustreren hoe de variatie van jaar tot jaar is worden in tabel 7.2 voor aardappelen op een

Tabel 7.2. Voorbeeld van jaarlijks berekende effecten en efficiëncies van wateraanvoer

Jaar	Aardappelen op Hn21 met drainageweerst. 260/00 en kwel/ wegzijging - 0,024 cm.d ⁻¹			Grasland op aVz/Vz met drainageweerst. 260/110 en kwel/ wegzijging 0,023 cm.d ⁻¹		
	$\Delta T_{1,5}$ (mm)	$a_{1,5}$ (mm)	$e_{1,5}$ (mm)	$\Delta T_{1,5}$ (mm)	$a_{1,5}$ (mm)	$e_{1,5}$ (mm)
1954	0,0	0,0	0,0	-0,4	10,5	-3,8
1955	12,3	66,1	18,6	-0,1	48,4	-0,2
1956	-0,1	9,4	-1,1	0,0	0,0	0,0
1957	0,0	35,6	0,0	0,6	42,0	1,4
1958	0,0	21,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1959	27,3	80,4	34,0	25,3	66,3	38,5
1960	2,3	10,5	22,1	0,5	52,5	1,0
1961	0,5	37,1	1,3	0,0	21,0	0,0
1962	-0,1	51,4	-0,2	0,2	10,5	1,9
1963	4,3	50,0	8,6	0,0	0,0	0,0
1964	28,6	86,4	33,1	0,4	10,5	4,6
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1966	0,1	34,3	0,3	0,0	21,0	0,0
1967	12,3	72,3	17,0	0,2	10,5	1,9
1968	-1,9	11,6	16,4	0,0	0,0	0,0
1969	2,9	45,6	6,4	0,2	10,5	1,9
1970	15,3	61,9	24,7	0,4	21,0	1,9
1971	21,1	61,6	34,3	19,1	84,0	22,7
1972	0,0	2,3	0,0	-3,3	0,0	-
1973	15,1	51,0	29,6	0,5	21,0	2,4
1974	5,6	34,7	16,1	0,0	10,5	0,0
1975	20,5	59,4	34,5	2,0	26,9	7,4
1976	30,5	85,3	35,8	46,0	131,2	35,1
1977	3,1	72,3	4,3	-0,1	31,5	-0,3
1978	0,8	25,6	3,1	0,3	10,5	2,9
1979	0,0	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	-0,2	0,0	-	-1,2	39,7	-3,0
1981	0,7	15,5	4,5	0,0	0,0	0,0
1982	8,0	51,6	15,5	0,3	41,0	0,7
1983	27,2	63,8	42,6	6,2	49,9	12,4
Gem.	7,6	40,2	18,9	3,3	25,7	12,8

9,6
1971-1980 26% meer

Hn21-profiel en grasland op een aVz/Vz-profiel de jaarcijfers weergegeven. Deze tabel geeft aanleiding tot de volgende opmerkingen:

- het 'gunstige' Hn21-profiel geeft in de meeste jaren een behoorlijk effect en een behoorlijke efficiëncy te zien, met als uitschieters de 'bekende' jaren 1959, 1971, 1975, 1976 en 1983, maar ook 1964. De aanvoerefficiëncy in dergelijke jaren is 30 à 40%. Doordat bij dit profiel in een groot aantal jaren er weinig effect is van wateraanvoer is het gemiddelde effect (7,6 mm) en de gemiddelde efficiëncy (18,9%) duidelijk veel lager;
- het aVz/Vz-profiel geeft in de meeste jaren geen of zelfs een klein negatief effect van wateraanvoer te zien. In de jaren 1959, 1971 en 1976 is er echter een aanzienlijk effect en ook de aanvoerefficiëncy is dan hoog. Het lijkt er dus op dat bij dit profiel wateraanvoer met name zorgt voor een beperking van de droogteschade in droge jaren.

7.2.3. Beregeningseffect en -efficiëncy

Het beregeningseffect ΔT_b wordt als volgt berekend:

$$\Delta T_b = \bar{T}_b - \bar{T}_{1,5} \quad (7.5)$$

waarin:

- $\bar{T}_b$ = langjarig gemiddelde gewasverdamping bij beregening uit oppervlaktewater gecombineerd met wateraanvoer (max. 1,5 mm.d⁻¹) (mm)
- $\bar{T}_{1,5}$ = langjarig gemiddelde gewasverdamping bij wateraanvoer met aanvoercapaciteit van 1,5 mm.d⁻¹ (mm)

Door dit beregeningseffect te delen door de benodigde wateraanvoer voor beregening wordt de beregeningsefficiëncy verkregen. In tabel wordt een overzicht gegeven van deze resultaten voor zowel aardappelen als gras.

Enkele opmerkingen met betrekking tot de invloed van het gewas- en bodemtype op de beregeningseffecten en -efficiëncies volgen hieronder:

- (i) Voor alle gevallen blijkt grasland een hogere beregeningsefficiëncy bouwland met zich mee te brengen, terwijl dit niet voor de effecten geldt. Enerzijds is gras minder gevoelig

voor natschade, waardoor de beregeningsgiften effectiever benut zullen worden. Anderzijds geeft gras ook een kleiner verdampings-tekort bij wateraanvoer (aanvoercapaciteit $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$) te zien, zodat er minder te 'verdienen' valt.

- (ii) Voor grasland geldt dat een aVs-grond de hoogste beregenings-efficiëncy oplevert. De oorzaak hiervan wordt gevonden in het gegeven dat de aanvoerefficiëncy bij deze grond nihil is. De effecten blijven beperkt, omdat er weinig beregend wordt op deze gronden. Door de bij deze gronden veelal optredende kwel zal het beregeningscriterium van $pF=2,5$ dan ook nauwelijks gehaald worden.

Het zW_{px} -profiel geeft een hogere efficiëncy te zien ten opzichte van het $Hn21$ -profiel, omdat er meer te verdienen valt en er wordt minder vaak beregend. Naarmate het optredende beregeningsinterval (tenminste 7 dagen) kleiner is, zal de kans dat de beregeningsgift effectief is ook kleiner worden. Voor bouwland blijkt $Hn21$ het meest effectief te zijn. De effectiviteit wordt sterk bepaald door de gevoeligheid van aardappelen voor natschade. Bij gronden met hoge grondwaterstanden zal het opheffen van droogteschade door beregening weer gedeeltelijk teniet-gedaan worden door een toename van de natschade. Een andere factor, die de effectiviteit bepaalt, is de dikte van de wortelzone en de bijbehorende pF -curve. De bruto beregeningsgift wordt weliswaar aangepast aan de bovengrond (par. 3.3), maar toch zal meer of minder percolatie plaatsvinden. Deze hoeveelheid percolatie wordt onder andere teruggevonden in een verhoogde afvoer (iW_p , iV_z/iV_c , zW_{px} , zV_c/zV_z , aV_s en kV_c/kV_z). Uit berekeningen blijkt dat ook de doorlatendheid van de bovengrond van belang is. Bij een slecht doorlatende bovengrond kan namelijk de situatie optreden dat het aangevulde vocht zich slecht verdeeld, waardoor bovenin natschade zal optreden terwijl onder in de wortelzone nog steeds droogteschade optreedt. Vooral in de grootte van de doorlatendheid en de verandering van de helling van de $k(h_p)$ -relatie bij $pF 2,5$ (beregeningcriterium) is hier van belang (iV_z/iV_c en $pZg23$ resp. $pZg23_x$). Onder droge omstandigheden kan dan ook de boven in de wortelzone geborgen hoeveelheid voor een groot deel verloren gaan ten gevolge van bodemverdamping. Omdat het beregeningscriterium ($pF=2,5$) vertaald wordt naar een vochtinhoud van de wortelzone zal het verschijnsel zich kunnen voordoen dat bij een dikke bewortelingszone dit criterium nauwelijks of niet gehaald wordt (zW_p en $cY23$). Het vocht in het

Tabel 7.3. Beregeningsresultaten voor bouwland ($T_p = 306,3$ mm) en
grasland ($T_p = 430-435$ mm)

Profiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ wegzijging (cm.d ⁻¹)	$T_{1,5}$ (mm)	ΔT_b (mm)	a_b (mm)	e_b (%)
Bouwland						
Hn2l	260/∞	- 0,024	283,6	15,9	35,6	45
	575/∞	- 0,053	276,3	22,7	44,8	51
Hn2lx	575/360	- 0,024	278,3	18,5	48,3	38
iWp	575/∞	0,063	274,3	1,4	7,8	18
iVz/iVc	120/∞	- 0,024	253,5	19,0	74,8	25
		0,0	253,9	18,4	72,5	25
		0,063	253,8	16,1	71,4	23
	260/110	0,0	254,1	18,3	71,3	26
	260/360	0,0	253,6	18,5	73,7	25
	260/∞	- 0,053	251,0	22,0	78,2	28
		0,024	252,5	20,1	75,9	26
		0,0	253,0	18,1	76,0	24
		0,063	254,4	15,8	69,1	23
	575/∞	- 0,053	251,3	22,1	77,1	29
		- 0,024	252,2	19,6	72,5	27
		0,0	253,2	17,0	71,4	24
		0,063	254,8	15,1	58,8	26
aVz/Vz	260/∞	0,063	267,7	7,2	17,2	42
	575/∞	0,063	266,1	6,0	17,3	35
zWp	575/∞	0,0	254,2	0,0	0	-
zWpx	575/110	- 0,053	239,3	39,0	105,9	37
	13000/360	- 0,053	237,2	38,6	100,1	39
KX	575/∞	0,0	271,5	20,3	44,4	46
pZg23	260/∞	0,023	256,3	4,9	19,6	25
	575/∞	- 0,024	255,7	9,3	31,1	30
pZg23x	575/∞	0,0	255,0	15,8	43,8	36
zVc/zVz	260/∞	- 0,024	255,7	15,5	65,6	24
		0,063	255,0	12,7	50,6	25
	575/∞	0,0	245,5	35,3	83,9	42
		0,063	252,6	13,5	46,1	29
aVs	260/∞	0,0	228,7	39,1	123,5	32
hVc/hVz	575/360	0,023	231,6	15,5	79,5	19
cY23	575/∞	0,0	278,2	0,3	1,2	25
Grasland						
Hn2l	260/∞	- 0,053	399,9	30,8	75,1	41
zWpx	260/∞	0,0	391,3	22,0	50,4	44
	575/∞	- 0,053	385,1	31,1	62,6	50
aVs	120/∞	0,023	383,5	9,9	19,1	52
	260/∞	0,0	381,4	10,1	19,8	51
		0,023	382,3	9,0	17,1	53
		0,063	382,4	7,7	15,1	51
	575/∞	0,0	380,4	9,2	18,4	50
		0,063	385,1	5,9	11,2	53
	1250/360	0,023	380,8	8,9	17,7	50

Toelichting bij tabel 7.3:

- profieltype : voor beschrijving zie BANNINK en STOFFELSEN, 1984
- drainageweerstand : 1e getal drainageweerstand oppervlaktewaterstelsel, 2e getal drainageweerstand drainagestelsel (indien ∞ , dan geen drainagestelsel aanwezig)
- kwel/wegzijging : positief getal is kwel; negatief getal is wegzijging
- T_p : langjarig gemiddelde potentiële (evapo)transpiratie
- $T_{1,5}$: langjarig gemiddelde verdamping bij conservering + wateraanvoer met maximaal aanvoercapaciteit van $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$
- ΔT_b : langjarig gemiddelde toename van de verdamping ten gevolge van berekening uit oppervlaktewater
- a_b : langjarig gemiddelde aanvoer ten behoeve van berekening uit oppervlaktewater
- e_b : efficiëntcy van wateraanvoer ten behoeve van berekening ($\frac{\Delta T_b}{a_b}$)

onderste gedeelte van de wortelzone zal namelijk over een langere periode aangevuld kunnen worden vanuit het grondwater bij een niet al te diepe grondwaterstand. Hierdoor zullen de berekeningseffecten respectievelijk -efficiëntcies bij deze 'goede' gronden ook beperkt blijven.

Opgemerkt dient te worden dat geen zogenaamde secundaire effecten van berekening zijn meegenomen. Dat betreft hier met name de invloed van berekening op de gewasgroei. Zo kan bij grasland na maaien of beweiden een snellere hergroei plaatsvinden door inregening van stikstof en kan bij aardappelen het afsterven van het gewas met name in droge jaren aanzienlijk worden verlaet (VAN DER SCHANS, e.a., 1984).

7.3. A n d e r e h y d r o l o g i s c h e e f f e c t e n

Naast de gegeven hydrologische kenmerken drainageweerstand en kwel/wegzijging, wordt de grondwatertrap en de daarmee samenhangende reductietermen als voor- en najaarsreductie berekend. Uit de resultaten blijkt, dat voor zowel bouw- als grasland alleen de grondwatertrappen IV, VI, VII en VII* uitgerekend worden. Het greppelsysteem met zijn onderkant op 60 cm-mv is hier de oorzaak van, zodat er geen GHG van 40 cm-mv meer gehaald kan worden. Er zijn aanwijzingen dat in gebieden na ruilverkaveling bovengenoemde grondwatertrappen overwegend voorkomen (EBBERS en VISSCHERS, 1985).

Bij een grondwatertrap IV of VI met $GHG < 60$ cm -mv treedt veelal een langjarig gemiddelde voorjaarsreductie op van meer dan 30 mm. Deze GHG zal ook voornamelijk in het voorjaar, tenminste bij profielen met hoge drainageweerstand, optreden. Tijdens deze periode worden ook de aardappelen gepoot, zodat dit een kritieke periode is voor wat betreft de wateroverlast. Aan de andere kant zal er helemaal geen reductie berekend worden als $GHG > 80$ cm -mv. Bij een GLG < 120 cm -mv zal in vele gevallen een langjarig gemiddelde najaarscorrectie van meer dan 10 mm optreden. Hieraan ligt de veronderstelling ten grondslag, dat de GLG aan het einde van het groeiseizoen zal optreden, hetgeen ook veelal vanuit de praktijk wordt bevestigd.

Uit de resultaten blijkt dat met name in de jaren 1967 en 1983 duidelijke voorjaarsreducties optreden. Voor de jaren met hoge najaarsreducties kunnen 1954, 1957 en 1968 worden aangemerkt.

De verandering in de grondwatertrap voor zowel bouw- als grasland tengevolge van wateraanvoer is zoals te verwachten viel. Namelijk bij hoge drainageweerstanden en/of sterke kwel zullen de GHG en GLG nauwelijks beïnvloed worden, terwijl bij lage drainageweerstanden en/of sterke wegzijging met name de GLG het duidelijkst beïnvloed wordt.

Bij grasland treedt in geen van de gevallen een opbrengstdepressie op. De oorzaak hiervan ligt enerzijds in het al eerder genoemde greppelsysteem en anderzijds in de langjarig gemiddelden voor wat de GHG en GLG betreft.

De waterafvoer over de stuw is duidelijk afhankelijk van de hoeveelheid kwel/wegzijging, die ook een belangrijke post in de waterbalans voor het open water inneemt. Voor het geval zonder kwel/wegzijging gecombineerd met hoge drainageweerstand, waarbij de infiltratie respectievelijk drainage een kleine post is, zal de hoeveelheid water die over de stuw verdwijnt ongeveer gelijk moeten zijn aan het neerslagoverschot gedurende de periode van 1 april tot 1 oktober. Voor aardappelen wordt hierbij dan ook een gemiddelde waterafvoer berekend van 105 mm.

8. GEVOELIGHEIDSANALYSES

Om een beter inzicht te krijgen in de invloed die sommige parameters dan wel berekeningswijzen hebben op de resultaten, zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Hier zullen met name de invloed van de peilbeheersingsstrategie en onderkant greppelstelsel nader bekeken worden.

8.1. Peilbeheersingsstrategie

Bouwland

De uiteindelijke berekeningen voor bouwland zijn uitgevoerd met behulp van onderstaand schema (tabel 8.1).

Tabel 8.1. Werkstrategie ten behoeve van peilbeheer bouwland

I	Fase (I)	Grondwaterstand	
		stijgend	dalend
0	-140	HM $\geq$ - 85	HM $\geq$ - 80
1	-130	- 85 > HM $\geq$ - 90	- 80 > HM $\geq$ - 85
2	-120	- 90 > HM $\geq$ - 95	- 85 > HM $\geq$ - 90
3	-110	- 95 > HM $\geq$ -100	- 90 > HM $\geq$ - 95
4	-100	-100 > HM $\geq$ -105	- 95 > HM $\geq$ -100
5	- 90	-105 > HM $\geq$ -110	-100 > HM $\geq$ -105
6	- 80	-110 > HM $\geq$ -110	-105 > HM $\geq$ -105
7	- 70	-110 > HM	-105 > HM

In tegenstelling tot het in tabel 3.1 weergegeven schema kan bij dit schema bij een ondiepere grondwaterspiegel een hogere fase worden ingesteld. Met andere woorden er wordt een attenter beheer gevoerd met name ten behoeve van infiltratie. Bij een peilbeheer met alleen conservering zal deze wijziging nauwelijks effect hebben, omdat veelal fase (6) en (7) niet gehaald worden, vanwege de beperkte aanvulling van het open waterpeil. Tijdens het groeiseizoen zal het open waterpeil namelijk alleen aangevuld kunnen worden door neerslag, hetgeen in vele gevallen onvoldoende is. Omdat er dus geen water beschikbaar is om het stuwpeil een fase te verhogen, zal het streefpeil van die afgelopen week gehandhaafd blijven. Op deze manier blijft het streefpeil tijdens het groeiseizoen bij conservering meestal steken op fase (4) of (5).

De najaarscorrectie zal er ook weinig door veranderen, omdat een natter profiel aan het einde van het groeiseizoen ook een grotere doorlatendheid met zich meebrengt. Bij hevige neerslag zal het water dan ook sneller percoleren, waardoor de kans op natschade tijdens oogsten beperkt zal blijven.

Voor zowel zand- als veengronden wordt een beheer, zoals dat weergegeven is door tabel 8.1, gehanteerd. Op grond van de slechts capillaire eigenschappen van sommige zandgronden zou een natter peilbeheer gevoerd kunnen worden. Daar staat echter tegenover dat de natschade in vele gevallen zal toenemen. Om dit te testen zijn berekeningen uitgevoerd met een "natter" schema. Dit nattere peilbeheer wordt gecreëerd door de betreffende fasen (0) tot en met (7) met 10 respectievelijk 20 cm te verhogen. Tabel 8.2 geeft een overzicht van de uiteindelijke resultaten voor een ongedraineerd Hn21-profiel met $\gamma = 260$ d en een wegzijging van $0,24 \text{ mm.d}^{-1}$ bij conservering.

Tabel 8.2. Resultaten gevoeligheidsanalyse met peilbeheersingsschema voor bouwland op een Hn21-profiel met $\gamma = 260$ d en wegzijging $0,24 \text{ mm.d}^{-1}$

Peilbeheersingsschema	1*	2*	3*
Actuele gewasverdamping**	275,48	279,44	279,54
Voorjaarscorrectie	0,34	3,62	10,71
Najaarscorrectie	0,01	0,54	1,40
Gecorrigeerde verdamping	275,13	275,28	267,43
Grondwatertrap	VII(83/140)	VI(74/136)	VI(66/132)
*Schema 1: (tabel 8.1)	**resultaten in mm/groeiseizoen		
Schema 2: fasen met 10 cm verhoogd			
Schema 3: fasen met 20 cm verhoogd			

Uit tabel 8.2 kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- bij een droger peilbeheer zal er meer droogteschade tijdens het groeiseizoen optreden. Hier staat echter tegenover dat de natschade tijdens het groeiseizoen aanzienlijk lager is. Er vindt als het ware een verschuiving plaats van nat- naar droogteschade tengevolge van het voeren van een droger peilbeheer
- de voor- en najaarscorrecties zullen veel lager zijn bij een droger beheer
- de GHG, die een maat is voor de natschade, wordt 9 respectievelijk 17 cm verhoogd bij een verschuiving van het schema met 10 respectievelijk 20 cm. Met andere woorden deze verschuiving werkt heel direct door onder omstandigheden met hoge grondwaterstanden. De grootte van de stroming naar de ontwateringsmiddelen is namelijk evenredig met de potentiaalgradiënt, die onder deze omstandigheden sterk bepaald wordt door de laagste fase
- de GLG wordt slechts met de helft verhoogd namelijk 4, respectievelijk 8 cm, vanwege het complementaire proces van vochttransport vanuit de verzadigde zone naar de onverzadigde zone door de grondwaterspiegel. Verhoging van de grondwaterspiegel zal namelijk een toename van de capillaire opstijging naar de wortelzone met zich meebrengen, waardoor de verhoging weer gedeeltelijk te niet gedaan wordt.

Natuurlijk geldt hier ook, dat de bergingscoëfficiënt groter wordt naarmate de grondwaterspiegel dieper komt, waardoor de invloed van verhoging van het openwaterpeil op deze grondwaterstandsveranderingen ook steeds meer beperkt zal blijven.

Er is uiteindelijk gekozen voor schema 1, dat ook voor veengronden gehanteerd is.

Grasland

Voor grasland zal een andere peilbeheersingsstrategie toegepast moeten worden, omdat de start van het groeiseizoen sterk bepaald wordt door de natheid van het profiel. Ofschoon gras minder gevoelig is voor natschade dan aardappelen, leidt dit ertoe dat voor grasland in het voorjaar soms een droger beheer wordt gevoerd, in die zin dat later wordt begonnen met het opzetten van het peil. In de praktijk gebeurt echter het omgekeerde, zodat tijdens het groeiseizoen voor gras een natter peilbeheer gevoerd zal worden (tabel 8.3).

Tabel 8.3. Werkstrategie ten behoeve van peilbeheer bij grasland

I	Fase (I)	Grondwaterstand	
		stijgend	dalend
0	-120	HM $\geq$ - 65	HM $\geq$ - 60
1	-110	- 65 > HM $\geq$ - 70	- 60 > HM $\geq$ - 65
2	-100	- 70 > HM $\geq$ - 75	- 65 > HM $\geq$ - 70
3	- 90	- 75 > HM $\geq$ - 85	- 70 > HM $\geq$ - 80
4	- 80	- 85 > HM $\geq$ - 95	- 80 > HM $\geq$ - 90
5	- 70	- 95 > HM $\geq$ -105	- 90 > HM $\geq$ -100
6	- 60	-105 > HM $\geq$ -105	-100 > HM $\geq$ -100
7	- 60	-105 > HM	-100 > HM

Het zal duidelijk zijn dat fase (6) uit tabel 8.3 nu in feite wegvalt, zodat er 7 fasen gehanteerd worden. Het evenwichtspeil ligt nu ook 20 cm hoger dan bij aardappelen, namelijk ongeveer 85 cm -mv.

Evenals voor bouwland is ook voor grasland gerekend met een schema dat ten opzichte van tabel 8.3 is verschoven en wel met -20 en +20 cm. De resultaten over een periode van 12 jaar (1972-1983) voor een gedraïneerd Hn21-profiel, drainageweerstanden 260/100 d en draindiepte 80 cm, en een wegzijging van $0,25 \text{ mm.d}^{-1}$ zijn weergegeven in tabel 8.4.

Tabel 8.4. Resultaten van gevoeligheidsanalyse met betrekking tot peilbeheersingsschema voor grasland op een Hn21-profiel met $\gamma = 260/100 \text{ d}$ en een wegzijging van $0,25 \text{ mm.d}^{-1}$

Peilbeheersingsschema	1*	2*	3*
Potentiële evapotranspiratie**	431,0	429,11	431,49
Actuele evapotranspiratie	407,7	405,04	386,02
Grondwatertrap	VI(78/141)	IV(65/118)	VII(86/134)

*schema 1: (tabel 8.3)

schema 2: fasen uit tabel 7.3 met 20 cm verhoogd ('nat')

schema 3: fasen uit tabel 7.3 met 20 cm verlaagd ('droog')

**resultaten in mm/groeiseizoen

Zoals uit tabel 8.4 blijkt zal bij een droger peilbeheer het groeiseizoen langer zijn, hetgeen zich uit in de grotere potentiële evapotranspiratie. Daarentegen zal de actuele verdamping sterk afnemen vanwege droogteschade.

Doordat gras niet zo gevoelig is voor natschade zal een natter peilbeheer veelal betere resultaten geven. Er vindt tevens een aanzienlijke verschuiving plaats in de berekende grondwatertrap. De mate van verandering in de GHG is nu minder eenvoudig te relateren aan de verhoging respectievelijk verlaging van het beheersschema, vanwege het niet-lineaire karakter van de drainageweerstand, die immers kleiner wordt als de grondwaterstand boven drainniveau komt. Vanwege de aansluiting met de praktijk wordt voor zowel grasland op veen- als zandgronden een peilbeheersingsschema als tabel 8.3 gehanteerd.

8.2. A a n v o e r c r i t e r i a

Met betrekking tot de aanvoercriteria dat wil zeggen het tijdstip en de aanvoerintensiteit als functie van de uitdroging van de wortelzone zijn de grenswaarden uit tabel 3.2 min of meer geoptimaliseerd naar de aanvoerefficiëntie. Er wordt dus zo zuinig en zo efficiënt mogelijk met het aangevoerde water omgegaan. Er kan echter een ander gezichtspunt gekozen worden, namelijk: maximaliseer de aanvoereffecten bij gegeven aanvoercapaciteit. In deze situatie zal er onafhankelijk van de vochttoestand in de wortelzone water aangevoerd worden om het open waterpeil op streefpeil te houden. Nu speelt niet zo zeer de efficiëntie, zoals die volgens vergelijking (6.3) gedefinieerd is, een rol, maar de efficiëntie van de extra aan te voeren hoeveelheid water ten aanzien van de reeds optredende aanvoer, de zogenaamde schijf is dan van belang. Namelijk:

$$\Delta e_{1,5} = \frac{(\Delta T_{1,5})_{i+1} - (\Delta T_{1,5})_i}{(a_{1,5})_{i+1} - (a_{1,5})_i} = \frac{\delta(\Delta T_{1,5})}{\delta(a_{1,5})} \quad (7.1)$$

waarin:

$\Delta e_{1,5}$ = efficiëntie van de schijf water, die extra aangevoerd wordt, bij aanvoercapaciteit $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$ (-)

$(\Delta T_{1,5})_i$ = aanvoereffect bij wateraanvoer $(a_{1,5})_i$ (mm)

$(a_{1,5})_i$ = wateraanvoer bij aanvoercapaciteit $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$ in beheerstoestand i (mm)

De ondergrens van de schijfefficiëncy $Ae_{1,5}$ zal, wat de rendabiliteit betreft, bepaald worden door de variabele kosten van wateraanvoer en de geldelijke opbrengst van 1 mm gewasverdamping per hectare.

In de praktijk kunnen naast de hierboven genoemde doelen met betrekking tot een optimaal waterbeheer ook nog andere motieven een rol spelen. Bijvoorbeeld handhaving van een vast zomerpeil ten behoeve van het voorkomen van klink, oxydatie en dergelijke van veengronden of handhaving van een zomerpeil ten behoeve van doorvoer van water naar benedenstrooms gelegen gebieden. Zelfs vanuit landschappelijk oogpunt kan het open waterpeil op een bepaald niveau gehandhaafd moeten blijven.

Het effect van het loslaten van het aanvoercriterium en het overgaan op alleen wateraanvoer voor peilhandhaving op de aanvoereffecten en -efficiëncies staat voor zowel bouwland als grasland voorkomend op een aantal bodemprofielen weergegeven in tabel 8.5. De resultaten geven aanleiding tot de volgende opmerking. Het uitschakelen van het aanvoercriterium blijkt voor zowel gras- als bouwland in veel gevallen een aanzienlijke verhoging van de aanvoer met zich mee te brengen. De efficiëncy van deze extra aangevoerde hoeveelheid is over het algemeen zodanig dat het zeker overweging verdient het aanvoercriterium geheel los te laten. Indien dit ook als meest gewenst wordt beschouwd dan dienen de berekende aanvoereffecten en aanvoerefficiëncies vrij aanzienlijk te worden bijgesteld. Men kan namelijk als volgt redeneren. Zolang de variabele kosten van extra wateraanvoer maar lager zijn dan de baten van deze extra aan te voeren hoeveelheid kan men doorgaan met het vergroten van de wateraanvoer. Het kan echter zijn dat wateraanvoer voor het natuurlijk milieu in een bepaald gebied te veel risico's met zich meebrengt zodat er zo zuinig mogelijk moet worden aangevoerd.

Bij wateraanvoer is niet alleen het tijdstip, waarop water aangevoerd moet worden van belang, maar ook de datum tot waarop er wateraanvoer zal plaatsvinden. Deze datum wordt sterk bepaald door de datum waarop het winterpeil (fase (0)) moet zijn bereikt.

Tabel 8.5. Resultaten van gevoeligheidsanalyse met betrekking tot aanvoercriterium, geldend voor zowel bouwland als grasland op een aantal bodemprofielen

Bodemprofielen met hydrologische kenmerken (drainageweerstand; kwel)								
Bouwland	Hn21 (260/∞; 0,0)		Hn23 (575/∞; -0,24)		iWp (260/∞; 0,0)		iVz/iVc (260/∞; 0,0)	
	referentie- waarden	geen aan- voercri- terium	referentie- waarden	geen aan- voercri- terium	referentie- waarden	geen aan- voercri- terium	referentie- waarden	geen aan- voercri- terium
E_t	273,7	276,5	284,0	284,7	285,4	289,0	247,6	247,9
Gt(GHG/GLG)	VI(76/130)	VI(75/128)	VI(65/155)	VI(62/150)	VI(72/147)	VI(72/140)	VI(70/133)	VI(70/132)
$\Sigma_{a1,5}$	32,3	47,1	32,5	49,6	37,4	62,8	29,5	32,7
$\Delta T_{1,5}$	7,3	10,1	2,8	3,5	4,8	8,4	2,0	2,3
$e_{1,5}$	23	21	9	7	13	13	7	7
$\Delta e_{1,5}$	-	19	-	4	-	14	-	9
Grasland	Hn21 (260/∞; 0,0)		Hn23 (260/∞; 0,0)		aVz/Vz (260/∞; 0,0)		zVc/zVz (260/∞; 0,0)	
E_t	411,6	416,9	418,1	421,9	405,5	408,6	402,0	407,1
Gt(GHG/GLG)	IV(65/117)	IV(64/111)	IV(62/145)	IV(59/126)	IV(59/138)	IV(58/123)	IV(60/161)	IV(55/128)
$\Sigma_{a1,5}$	29,3	67,0	19,3	87,6	33,8	70,8	9,5	73,0
$\Delta T_{1,5}$	8,8	11,1	0,8	4,6	3,0	6,1	0,0	4,6
$e_{1,5}$	30	21	4	5	9	9	0	6
$\Delta e_{1,5}$	-	14	-	6	-	8	-	8

Toelichting bij tabel 8.5

referentie: conservering + aanvoer met capaciteit van $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$	
E_t	: langjarig gemiddelde gewasverdamping (mm/groeiseizoen)
$\Sigma a_{1,5}$	: langjarig gemiddelde wateraanvoer (mm/groeiseizoen)
$\Delta T_{1,5}$	: langjarig gemiddelde effect van wateraanvoer met capaciteit $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$ op (evapo)transpiratie (mm/groeiseizoen)
$e_{1,5}$	: langjarig gemiddelde efficiëncy van wateraanvoer met capaciteit van $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$ (%)
$\Delta e_{1,5}$	: efficiëncy van de schijf water die extra wordt aangevoerd doordat het aanvoercriterium wordt losgelaten (%)

In de berekeningen zijn de data 1 en 16 september (1/16) gehanteerd, dit wil zeggen wateraanvoer is mogelijk tot 1 september en het beheer moet zo gevoerd worden dat op 16 september het streefpeil op fase (0) staat ingesteld. Deze data zijn in eerste instantie bepaald voor bouwland in verband met oogsten. In het kader van deze studie is ook gekeken naar de effecten hiervan voor grasland. Daartoe werden twee alternatieven doorgerekend, namelijk (8/23) en (15/30). Het afbouwen wordt dus met respectievelijk 1 en 2 weken uitgesteld. Een overzicht van deze resultaten met betrekking tot het aanvoercriterium wordt gegeven in tabel 8.6.

Uit tabel 8.6 kan de conclusie getrokken worden dat verschuiving van de afbouwfase naar een later tijdstip bij grasland nauwelijks een positief effect blijkt te hebben. De tendens is dat de efficiëncy ($e_{1,5}$) hierbij gelijk blijft of iets afneemt, terwijl de schijfefficiëncy, $\Delta e_{1,5}$ bij 2 van de 3 profielen zelfs negatief is.

Tabel 8.6. Resultaten van gevoeligheidsanalyse met betrekking tot aanvoercriteria bij grasland op een aantal bodemprofielen

Grasland	Referentie- waarde	Verschuiving afbouwfase	
		8/23 sept.	15/30 sept.
Hn21	drainageweerstand: 260/∞ d; kwel/wegzijging: 0,0 mm.d ⁻¹		
E	411,6	411,5	411,4
Gt	IV(65/117)	IV(64/115)	IV(64/114)
Σa _{1,5}	29,3	33,5	37,0
ΔT _{1,5}	8,8	8,7	8,6
e _{1,5}	30	26	23
Δe _{1,5}	-	- 2	- 3
Hn23	drainageweerstand: 260/∞ d; kwel/wegzijging: 0,0 mm.d ⁻¹		
E	418,1	417,9	417,9
Gt	IV(62/145)	VI(61/142)	IV(61/142)
Σa _{1,5}	19,3	21,0	22,8
ΔT _{1,5}	0,8	0,6	0,6
e _{1,5}	4	3	3
Δe _{1,5}	-	-11	- 6
aVz/Vz	drainageweerstand: 260/∞ d; kwel/wegzijging: 0,0 mm.d ⁻¹		
E	405,5	405,5	405,8
Gt	VI(59/138)	VI(58/133)	VI(58/131)
Σa _{1,5}	33,8	36,2	39,2
ΔT _{1,5}	3,0	3,1	3,3
e _{1,5}	9	9	8
Δe _{1,5}	-	0	6

referentie: conservering+wateraanvoer, max. capaciteit 1,5 mm.d⁻¹
 E : langjarig gemiddelde evapotranspiratie (mm/groeiseizoen)
 E_t : langjarig gemiddelde gewasverdamping (mm/groeiseizoen)
 Σa_{1,5} : langjarig gemiddelde wateraanvoer (mm/groeiseizoen)
 ΔT_{1,5} : langjarig gemiddelde effect van wateraanvoer met capaciteit 1,5 mm.d⁻¹ op (evapo)transpiratie (mm/groeiseizoen)
 e_{1,5} : langjarig gemiddelde efficiëntcy van wateraanvoer met capaciteit van 1,5 mm.d⁻¹
 Δe_{1,5} : efficiëntcy van de schijf water die extra wordt aangevoerd doordat het aanvoercriterium wordt losgelaten (%)

Voor het in rekening brengen van de ondiepe ontwateringsmiddelen is een greppelsysteem ingevoerd met een bodemniveau van 60 cm beneden maaiveld (par. 5.2). De volgende berekeningsresultaten dienen aan te geven hoe gevoelig de resultaten zijn voor een ondieper gelegen greppelstelsel. Deze resultaten (tabel 8.7) hebben betrekking op een periode van 12 jaar (1972-1983).

Met betrekking tot deze resultaten uit tabel 8.7 zijn de volgende conclusies te trekken:

- doordat de grondwaterspiegel tot grotere hoogte kan stijgen, zal de natschade toenemen, waardoor de evapotranspiratie respectievelijk gewasverdamping afneemt. Voor aardappelen is dit effect dan ook iets groter dan bij gras in verband met de gevoeligheid van aardappelen voor natschade;
- met name de GHG is iets hoger komen te liggen. Deze stijging van de GHG is sterk afhankelijk van de berekende referentiewaarde van de GHG. Een GHG van ongeveer 60 cm -mv, is namelijk sterk beïnvloed geweest door het greppelstelsel, zodat bij ondieper gelegen greppelstelsel deze waarde het meest zal stijgen. Dat deze stijging kleiner is dan 20 cm, wordt veroorzaakt door een verhoogde afvoer naar de ontwateringsmiddelen tengevolge van het groter worden van de potentiële aalgradiënt.

Bij het interpreteren van de resultaten dient echter nog wel een opmerking gemaakt te worden. De referentiewaarden zijn afgeleid uit de berekeningsresultaten over 30 jaar. Het gevolg hiervan is dat de beginvoorwaarde (grondwaterstand) zal afwijken, waardoor met name in het eerste jaar (1972) de afwijkingen vrij groot zullen zijn. Doordat er slechts gemiddeld wordt over 12 jaar en de effecten relatief klein zijn, kunnen deze afwijkingen significant blijven. De conclusie is nu dat verhoging van de onderkant van het greppelstelsel sterke invloed heeft op de absolute hoogte van de verdamping maar nauwelijks effect heeft op de berekende aanvoereffecten en -efficiënties.

Tabel 8.7. Resultaten gevoeligheidsanalyse met betrekking tot het greppelstelsel bij bouwland en grasland

Bodemprofielen met hydrologische kenmerken (drainageweerstand; kwel)								
Bouw- land	Hn21(260/∞; 0,0)		Hn23(575/∞; -0,24)		iWp(260/∞; 0,0)		iVz/iVc(260/∞; 0,0)	
	referentie- waarde	greppels 40cm -mv	referentie- waarde	greppels 40cm -mv	referentie- waarde	greppels 40cm -mv	referentie- waarde	greppels 40cm -mv
E _t	237,7	271,5	284,0	280,2	285,4	283,0	247,6	245,6
Gt	VI(76/130)	VI(73/130)	VI(64/155)	VI(52/154)	VI(72/147)	VI(69/145)	VI(70/133)	VI(66/132)
Σa _{1,5}	32,3	32,2	32,5	32,1	37,4	38,3	29,5	29,2
ΔT _{1,5}	7,3	7,3	2,8	3,5	4,8	5,7	2,0	1,8
e _{1,5}	23	23	9	11	13	14	7	6
Gras- land	Hn21(260/∞; 0,0)		Hn23(260/∞; 0,0)		aVz/Vz(260/∞; 0,0)		zVc/zVz(260/∞; 0,0)	
	referentie- waarde	greppels 40cm -mv	referentie- waarde	greppels 40cm -mv	referentie- waarde	greppels 40cm -mv	referentie- waarde	greppels 40cm -mv
E	411,6	410,7	418,1	417,0	405,5	404,9	402,0	
Gt	IV(65/117)	IV(59/117)	VI(62/145)	VI(54/144)	VI(59/137)	VI(50/137)	VI(60/161)	
Σa _{1,5}	29,3	31,2	19,3	20,1	33,8	33,8	9,5	
ΔT _{1,5}	8,8	8,2	0,8	1,2	3,0	3,6	0,0	
e _{1,5}	30	26	4	6	9	11	0	

*referentie: peilbeheer met conservering en wateraanvoer, max. capaciteit 1,5 mm.d⁻¹, met onderkant greppelstelsel op 60 cm -mv

Toelichting bij tabel 8.7

referentie: conservering + aanvoer met capaciteit van 1.5 mm.d^{-1}	
E_t	: langjarig gemiddelde gewasverdamping (mm/groeiseizoen)
$\lambda a_{1,5}$	: langjarig gemiddelde wateraanvoer (mm/groeiseizoen)
$\Delta T_{1,5}$	: langjarig gemiddelde effect van wateraanvoer met capaciteit $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$ op (evapo)transpiratie (mm/groeiseizoen)
$e_{1,5}$	: langjarig gemiddelde efficiëntie van wateraanvoer met capaciteit van $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$
$\Delta e_{1,5}$	: efficiëntie van de schijf water die extra wordt aangevoerd doordat het aanvoercriterium wordt losgelaten (%)

9. CORRECTIES

9.1. A l g e m e e n

Bij het rekenen met simulatiemodellen, die in feite niet meer zijn dan een vereenvoudigde geschematiseerde weergave van de ons bekende werkelijkheid, zullen altijd verstoringseffecten optreden. Deze verstoringseffecten kunnen worden ondergebracht in zogenaamde model- en meetfouten. De modelfouten zijn veelal systematisch van aard. Deze bevatten de onvolkomenheden van de modelstructuur.

Onder deze modelfouten vallen onder andere fouten ten gevolge van:

- het één dimensionale karakter van het model;
- schematisaties in profielbouw;
- discretisaties, zowel in plaats als tijd;
- oplossingsmethoden voor onder- en bovenrand;
- modellering van droogte- en natschade;
- vereenvoudigingen.

De invoergegevens, zoals de hydrologische en bodemfysische parameters, gewasparameters en meteorologische gegevens, zullen meetfouten bevatten. Deze meetfouten kunnen zowel een systematisch als toevallig karakter hebben.

Bovengenoemde fouten zullen echter vrijwel nooit instabiliteiten tot gevolg hebben in die zin dat fouten versterkt worden zodat niet-realistische inkomsten ontstaan ten gevolge van de vele negatieve

terugkoppelingsmechanismen die optreden in dit agrohydrologische systeem. Een uitzondering is de modellering van de wateroverlast. DE GRAAF (1982) toont hier enkele voorbeelden van.

In het model SWADRE worden geen effecten ten gevolge van verslemming, doorslag en dergelijke in rekening gebracht. Ook het hysteresis effect en het zwel/krimpverschijnsel worden niet meegenomen. Ten gevolge van discretisatie van het bodemprofiel moet het profiel worden opgedeeld in compartimenten. Voor deze berekeningen is een knoopafstand (afmeting van een compartiment) aangehouden van 10 cm. Dientengevolge moet de dikte van de wortelzone voor toekenning van bodemfysische eigenschappen afgerond worden op 10 cm in plaats van 5 cm, zoals BANNINK en STOFFELSEN (1984) dat weergeven.

Bovengenoemde effecten van model- en meetfouten worden verder niet gekwantificeerd. Er valt te verwachten dat het een en ander zal opheffen. Bovendien zullen, door het op de waterbalansrekening gebaseerde model zelf, diverse fouten vereffend worden. Daarentegen zullen de effecten en de daarbij behorende correctiefactoren van de subregionale stroming en ongelijke maaiveldsligging wel gekwantificeerd worden.

9.2. S u b r e g i o n a a l e f f e c t

Het subregionaal effect op zowel de gewasverdamping als de wateraanvoer wordt in eerste instantie gekwantificeerd aan de hand van twee extreme waarden namelijk een extra kwel/wegzijgingsterm van $0,02 \text{ cm.d}^{-1}$. De resultaten van deze berekeningen worden voor zowel bouw- als grasland in tabel 9.1a respectievelijk 9.1b.

Uit tabel 9.1 blijkt weer dat een extra wegzijging een groter verlies met zich meebrengt ten gevolge van verhoogde droogteschade, terwijl eenzelfde hoeveelheid extra kwel een kleinere winst oplevert.

De extra kwel vermindert weliswaar de droogteschade, maar de kans op natschade zal toenemen. In de seizoensaanvoer zijn deze subregionale effecten duidelijk terug te vinden, als een verhoogde respectievelijk verlaagde benodigde aanvoer.

Tabel 9.1a. Effecten van subregionale kwel/wegzijging op de langjarig gemiddelde (evapo)transpiratie bij aanvoer met capaciteit van $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$, $\Delta T_{1,5}$ (mm), op de langjarig gemiddelde aanvoer, $a_{1,5}$ en langjarig gemiddelde wateraanvoerefficiëncy, $e_{1,5}$ (%) voor bouwland en grasland op een aantal bodemprofielen

Bouwland	subregionale kwel/wegzijging (cm.d^{-1})		
	- 0,02	0,0	+ 0,02
Hn21	drainageweerstanden: $260/\infty \text{ d}$; kwel/wegzijging: $0,0 \text{ cm.d}^{-1}$		
$\Delta T_{1,5}$	4,9	7,3	9,8
$\Sigma a_{1,5}$	39,1	32,3	26,9
$e_{1,5}$	13	23	36
Hn23	drainageweerstanden: $260/\infty \text{ d}$; kwel/wegzijging: $0,0 \text{ cm.d}^{-1}$		
$\Delta T_{1,5}$	1,1	2,8	2,9
$\Sigma a_{1,5}$	37,7	32,5	28,4
$e_{1,5}$	3	9	10
iWp	drainageweerstanden: $260/\infty \text{ d}$; kwel/wegzijging: $0,0 \text{ cm.d}^{-1}$		
$\Delta T_{1,5}$	2,5	4,8	5,9
$\Sigma a_{1,5}$	45,4	37,4	29,5
$e_{1,5}$	6	13	20
iVz/iVc	drainageweerstanden: $260/\infty \text{ d}$; kwel/wegzijging: $0,0 \text{ cm.d}^{-1}$		
$\Delta T_{1,5}$	1,9	2,0	2,4
$\Sigma a_{1,5}$	37,6	29,5	21,8
$e_{1,5}$	5	7	11

Tabel 9.1b. Effecten van subregionale kwel/wegzijging op de langjarig gemiddelde (evapo)transpiratie bij aanvoer met capaciteit van $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$, $T_{1,5}$ (mm), op de langjarig gemiddelde aanvoer, $a_{1,5}$ en langjarig gemiddelde wateraanvoerefficiëncy, $e_{1,5}$ (%) voor bouwland en grasland op een aantal bodemprofielen

Grasland	subregionale kwel/wegzijging (cm.d^{-1})		
	- 0,02	0,0	+ 0,02
Hn21	drainageweerstand: $260/\infty \text{ d}$; kwel/wegzijging: $0,0 \text{ cm.d}^{-1}$		
$\Delta T_{1,5}$	2,0	8,8	12,7
$\Sigma a_{1,5}$	40,0	29,3	21,9
$e_{1,5}$	5	30	58
Hn23	drainageweerstand: $260/\infty \text{ d}$; kwel/wegzijging: $0,0 \text{ cm.d}^{-1}$		
$\Delta T_{1,5}$	- 1,2	0,8	1,0
$\Sigma a_{1,5}$	27,1	20,1	13,1
$e_{1,5}$	-	4	8
aVz/Vz	drainageweerstand: $260/\infty \text{ d}$; kwel/wegzijging: $0,0 \text{ cm.d}^{-1}$		
$\Delta T_{1,5}$	0,6	3,0	5,1
$\Sigma a_{1,5}$	37,1	33,8	27,8
$e_{1,5}$	2	9	18
zVc/zVz	drainageweerstand: $260/\infty \text{ d}$; kwel/wegzijging: $0,0 \text{ cm.d}^{-1}$		
$\Delta T_{1,5}$	- 2,5	0,0	0,6
$\Sigma a_{1,5}$	13,1	9,5	7,7
$e_{1,5}$	-	0	8

Bovengenoemde effecten op de verdamping en seizoenaanvoer zullen resulteren in een duidelijke af- of toename van de aanvoerefficiëncies. De partiële effecten versterken elkaar. Negatieve aanvoereffecten, zoals bij het $Hn23$ - en zVc/zVz -profiel bij grasland, zullen optreden als het effect van de subregionale wegzijging het wateraanvoereffect overtreft. Dit verschijnsel is het gevolg van het constant veronderstellen van de extra wegzijgingsterm gedurende het groeiseizoen. Vooral bij profielen met een lage seizoenaanvoer zal deze veronderstelling een vertekend beeld geven.

Bij grasland wordt soms langer gewacht voordat wateraanvoer zal plaatsvinden. Hierdoor zullen de subregionale effecten ook groter zijn, hetgeen ook uit tabel 9.1 blijkt.

Ten gevolge van het subregionale effect zal de gemiddelde seizoenaanvoer ongeveer 1,2-1,3 maal zoveel bedragen bij een extra wegzijging van $0,02 \text{ cm.d}^{-1}$ ten opzichte van de situatie zonder subregionale wegzijging.

Bedacht moet worden dat de in tabel 9.1 weergegeven resultaten het gevolg zijn van extreme waarden voor de subregionale kwel/wegzijging. In veel gevallen zal dit effect in mindere mate of in het geheel niet optreden. In het tussen-10-plangebied zal de gewasverdamping in veel gevallen negatief beïnvloed worden door de subregionale wegzijging, terwijl in het aangrenzende gebied een positief effect zal optreden. In een situatie met kwel zal deze subregionale wegzijging ook een positieve invloed kunnen hebben op de gewasverdamping.

Het is duidelijk dat het subregionale effect een rol moet spelen bij het inventariseren van de verliesposten van wateraanvoer, doch een meer beperkt effect heeft op de wateraanvoer.

9.3. O n g e l i j k e m a a i v e l d s l i g g i n g

De invloed van een ongelijke maaiveldsligging op de aanvoerefficiëncies wordt voor bouwland uitgedrukt in een reductiefactor van ongeveer 25% (VAN WALSUM en VAN BAKEL, 1983). Deze reductiefactor c_a wordt als volgt berekend:

$$c_a = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{(\Delta T_{1,5})_i}{(\Delta T_{1,5})_o}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (9.1)$$

waarin:

- i = index voor de hoogteklasse
- n = aantal hoogteklassen
- A_i = totale oppervlak, dat binnen hoogteklasse i valt
- $(\Delta T_{1,5})_i$ = wateraanvoereffect (aanvoercapaciteit: 1,5 mm/d), bij hoogteklasse i
- $(\Delta T_{1,5})_o$ = wateraanvoereffect bij die hoogteklasse waarop het peilbeheer is afgestemd

De tweede term uit het rechterlid van vergelijking (9.1) vertegenwoordigt de naar oppervlak gewogen correctiefactor voor de aanvoereffecten als functie van de maaiveldsligging.

Ten gevolge van verschillen in maaiveldsligging zullen er plaatsen zijn waar extra natschade (lagere gedeeltes) of extra droogteschade (hogere gedeeltes) zal optreden. Het peilbeheer zal namelijk afgestemd worden op de grondwaterstand op een bepaald punt, het zogenaamde referentiegrondwaterstandsmmeetpunt. De hoogteligging van het maaiveld van dit punt is meestal iets lager dan de gemiddelde maaiveldshoogte van het bijbehorende peilvak. De gevolgen van natschade zijn namelijk veelal desastreuzer van aard dan die van droogteschade. Om nu de invloed van het reliëf op de aanvoereffecten te kwantificeren wordt de volgende procedure toegepast:

- De hoogteverdeling in nader te bepalen hoogteklassen van één of meerdere peilvakken wordt vastgesteld.
- Het effect van wateraanvoer bij een bepaalde hoogteklasse wordt bepaald. Hiervoor wordt het oppervlaktewaterpeil (dat als randvoorwaarde fungeert) vermeerderd of verminderd met het aantal cm's dat de hoogteklasse afwijkt van de 'ideale' hoogteklasse voor zowel conservering als conservering en wateraanvoer. Uit de berekende verdampingscijfers is het aanvoereffect en daaruit ook de effectiviteit te berekenen.

Er wordt dus teikens eenzelfde verloop van het oppervlaktewaterpeil voor diverse hoogteklassen gehanteerd.

- Met behulp van bovengenoemde verkregen cijfers kan nu een naar oppervlak gewogen gemiddelde correctiefactor worden vastgesteld.

De resultaten van de inventarisatie van de maaiveldsligging is zichtbaar in figuur 9.1.

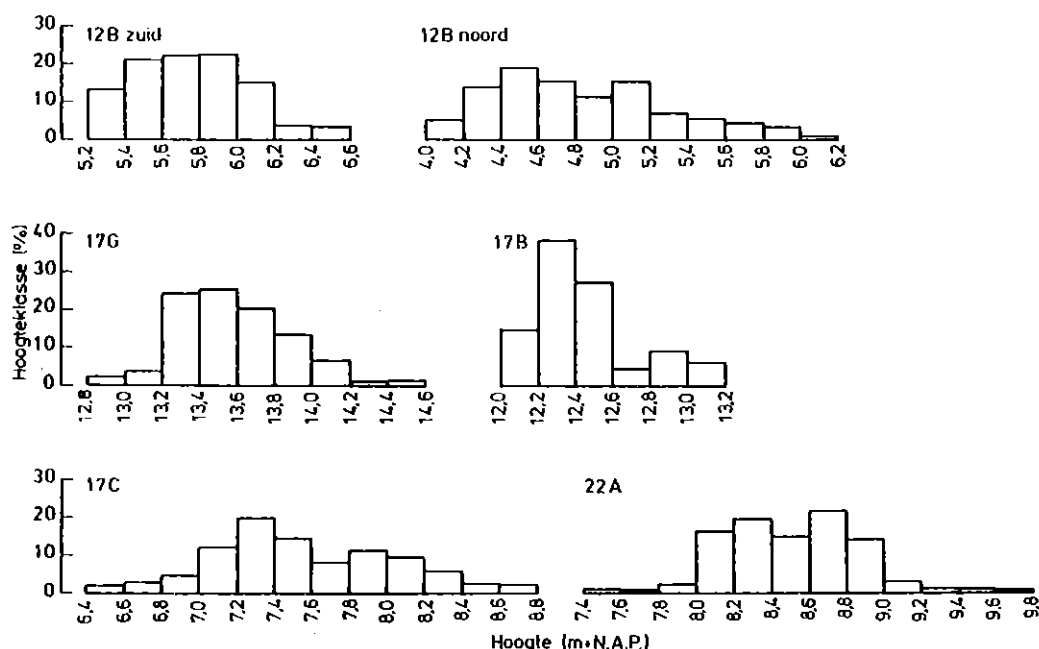


Fig. 9.1. Procentuele verdeling van de maaiveldshoogte in klassen met een zestal peilvakken in Drenthe die geheel of grotendeels in grasland liggen. Korte beschrijving van deze zes peilvakken:

- 12 B-zuid, Vries. Kaartblad 12 B, ten westen van Vries, beekdal Grote Mastloot.
- 12 B-noord, Vries. Idem, zie voorgaande, ligt echter iets noordelijker.
- 22 A, Zuidwolde. Kaartblad 22 A, ten zuid-oosten van Zuidwolde. Gebied rond een waterloop, 2 km ten oosten van de Vogelzangsche Wijk. Geen specifiek beekdal
- 17 G, Zweelo. Kaartblad 17 G, 3 km ten oosten van Oosterhesse-len. Beekdal van de Laak (zijtak van het Drostendiep).
- 17 B, Hijken. Kaartblad 17 B, ten zuiden van Hijken, ten noorden van Beilen. Gebied bij de Hijkerleek.
- 17 C, Ruinen. Kaartblad 17 C, ten oosten van Ruinen. Aan zijtak van de Ruiner Aa.

De effecten van wateraanvoer bij een bepaalde afwijking van de maaiveldsligging ten opzichte van de 'ideale' zijn voor een drietal bodemprofielen weergegeven in tabel 9.2. Daarbij dient opgemerkt dat ook voor een zVc/zVz het effect van ongelijke maaiveldsligging is bepaald. Echter de aanvoereffecten bij dit profiel zijn zo minimaal dat hieruit geen verantwoorde schatting van het effect van ongelijke maaiveldsligging kan worden afgeleid.

Tabel 9.2. Effect van ongelijke maaiveldsligging op de langjarig gemiddelde gewasverdamping, $T_{1,5}$ (mm) en efficiëncy van wateraanvoer, $e_{1,5}$ (%) voor grasland op een drietal bodemprofielen

Grasland	Afwijking maaiveldsligging (cm)					
	- 40	- 20	0	20	40	60
Hn21	$\gamma = 260/\infty \text{ d}; q_a = 0,0 \text{ cm.d}^{-1}; \text{wateraanvoer} = 29,2 \text{ mm}$					
$\Delta T_{1,5}$	9,4	10,4	10,2	6,8	4,6	2,2
$e_{1,5}$	29	36	35	23	16	8
Hn23	$\gamma = 260/\infty \text{ d}; q_a = 0,0 \text{ cm.d}^{-1}; \text{wateraanvoer} = 19,3 \text{ mm}$					
$\Delta T_{1,5}$	1,1	1,6	1,2	0,6	0,5	0,1
$e_{1,5}$	6	8	6	3	3	0
aVz/Vz	$\gamma = 260/\infty \text{ d}; q_a = 0,0 \text{ cm.d}^{-1}; \text{wateraanvoer} = 33,8 \text{ mm}$					
$\Delta T_{1,5}$	6,7	4,9	3,6	2,5	1,3	0,9
$e_{1,5}$	20	14	11	7	4	3

Figuur 9.2 geeft deze resultaten van wateraanvoereffecten grafisch weer.

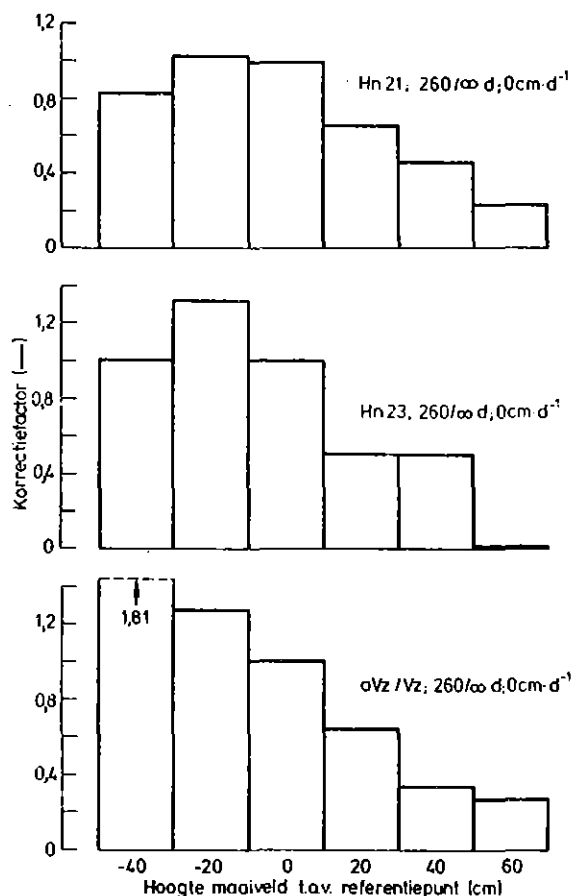


Fig. 9.2. Grafische weergave van het effect van afwijkende maaivelds-
 hoogte op het wateraanvoereffect bij grasland op een drietal
 profielen

Doordat de lagere gedeelten in veel gevallen al een hoge gemiddelde verdamping hebben bij conservering, is het te bereiken effect met wateraanvoer soms minder groot, maar bij het aVz/Vz profiel geven de lagere terreingedeelten duidelijk een hoger aanvoereffect te zien.

De hogere gedeelten zullen veelal droogteschade ondervinden, omdat de nalevering vanuit het grondwater afneemt naarmate de grondwaterstand dieper wordt. Het grondwaterstandsverloop wordt door het model zelf gegenereerd, zodat hierin de effecten die bij de lagere en hogere

gedeelten horen (bijv. grotere fluctuaties bij hogere grondwaterstanden) verdisconteerd zijn.

Tabel 9.3 geeft een overzicht van de berekende correctiefactoren per bodemprofiel voor de zes peilvakken uit figuur 9.1.

Tabel 9.3. Correctiefactoren voor ongelijke maaiveldsligging

Gewogen gemiddelde correctiefactoren							
Peilvak	1	2	3	4	5	6	
Hn21	0,75	0,70	0,78	0,78	0,88	0,76	0,78
Hn23	0,84	0,70	0,84	0,83	1,00	0,83	0,84
aVz/Vz	0,96	0,80	0,99	0,88	1,11	0,97	0,95

Uit tabel 9.3 kan voor grasland de reductiefactor geschat worden op 20% voor zandgronden, terwijl bij veengronden nauwelijks reductie (5%) optreedt. Zoals ook al uit de resultaten bleek (bijlage A) geven deze veengronden nauwelijks aanvoereffecten als gevolg van hun slechte capillaire eigenschappen van de ondergrond.

Aangezien de correctie van 25% voor bouwland ook was berekend voor een profiel met gunstige capillaire eigenschappen, zal ook bij bouwland op veengrond de correctie lager zijn en kan worden gesteld op 10%.

10. EVALUATIE

Nadat kennis is genomen van de modellering van het hydrologisch systeem, de berekeningsresultaten, de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyses en de correcties die op de resultaten moeten worden toegepast resteert de vraag in hoeverre de in de toekomst werkelijke optredende effecten van wateraanvoer zijn benaderd c.q. welke onzekerheden nog zijn overgebleven. Hieronder volgen een aantal punten die bij de beantwoording van deze vraag behulpzaam kunnen zijn.

1. De stromingsprocessen in de onverzadigde zone en in het oppervlakte-waterstelsel zijn gemodelleerd met het meest geavanceerde operationele model wat momenteel voorhanden is namelijk het model SWADRE.
2. De 'juistheid' van de uitkomsten van dit model worden het sterkst bepaald door de 'juistheid' van de modelparameters en invoergegevens.
3. Wat de modelparameters betreft: de grootste onzekerheid is de model-lering van de effecten van wateroverlast op de verdamping, temeer daar een foutieve kwantificering van de gevoeligheid kan leiden tot een zeer sterk effect op de gewasverdamping.
4. Wat de invoergegevens betreft: de bodemfysische gegevens zijn op de best denkbare manier verkregen namelijk door van een groot aantal bodemprofielen per laag de pF en $K(h_p)$ -relaties door Stiboka te laten bepalen. De hydrologische invoergegevens (drainageweerstand en kwel/wegzijging) zijn door de Provinciale Waterstaat bepaald. Met name de drainageweerstanden zijn echter moeilijk direct uit veld-gegevens af te leiden zodat is gewerkt met min of meer theoretisch bepaalde waarden. Bovendien is aangenomen dat de stroomrichting geen invloed heeft (m.a.w. drainageweerstand = sub-infiltratieweerstand).
5. In het model SWADRE worden een aantal bodemfysische processen niet gemodelleerd. Het betreft hier verslemping, doorslag (het verschijnsel dat neerslag via voorkeursbanen verder de grond indringt dan op grond van de één-dimensionale beschouwing wordt berekend), hysteresis (het verschijnsel dat het verband tussen drukhoogte en hoeveelheid vocht afhangt van de voorgeschiedenis) en zwel/krimpverschijnselen (het verschijnsel dat het volume van de grond afhangt van de vochttoestand).
6. Het toegepaste peilbeheer is ontleend aan onderzoek in de Drentse Veenkoloniën. Alhoewel de nodige aandacht is besteed aan aanpassing voor andere typen gebieden en bodemgebruik is het zeer wel mogelijk dat bij realisering van wateraanvoer in de praktijk een hiervan afwijkend peilbeheer zal worden gevoerd. Er zijn geen aanwijzingen dat de effecten hiervan systematisch lager zullen zijn. Het tegendeel is eerder waar: in de praktijk kan met typisch locale verschijnselen rekening worden gehouden evenals met een zekere kennis omtrent de te verwachten weersomstandigheden.
7. Het rekenen met een één-dimensionaal model voor ingrepen in de regionale waterhuishouding (zoals wateraanvoer is) is fundamenteel onjuist. Echter door een intelligente keuze van de onderrandvoor-

waarde is aan dit bezwaar grotendeels tegemoet gekomen. Het alternatief namelijk het rekenen met een regionaal model met daarin opgenomen de onverzadigde zone en het oppervlaktewaterstelsel (inclusief peilbeheer) is vooralsnog onmogelijk. Bovendien wordt bij dergelijke modellen eveneens uitgegaan van een eenduidige relatie tussen afvoer naar sloten en opbolling tussen de sloten.

Bovenstaande opmerkingen zijn min of meer filosofisch van aard. Ter afsluiting volgen daarom wat meer concrete opmerkingen waartoe de resultaten aanleiding geven.

1. De berekende effecten en efficiëncies van wateraanvoer ten behoeve van sub-infiltratie zijn laag te noemen. Daaruit kan niet de conclusie worden getrokken dat wateraanvoer daarom niet gewenst zou zijn. Dit laatste hangt namelijk af van de afweging tussen kosten en baten van wateraanvoer.
2. Ten gevolge van het aannemen van een situatie met conservering als referentiesituatie is de langjarig gemiddelde gewasverdamping bij de meeste bodemprofielen reeds vrij hoog. (t.o.v. het potentiële niveau). Daardoor ook is het potentiële effect van wateraanvoer vrij beperkt, gemiddeld over de jaren.
3. In droge jaren echter is een vrij groot effect van wateraanvoer mogelijk. Indien nu veel waarde wordt gehecht aan het zo weinig mogelijk variëren van de reducties in gewasverdamping van jaar tot jaar, dan is wateraanvoer hiervoor een geschikt middel (zie tabel 7.2).
4. Een aantal profielen met veen in de ondergrond hebben zulke slechte capillaire eigenschappen dat het effect van wateraanvoer ten behoeve van sub-infiltratie zeer beperkt is.
5. Het loslaten van het koppeling van de aanvoercapaciteit aan de uitdrogingsgraad van de wortelzone heeft relatief grote gevolgen (blz. 72). Aangezien in de praktijk deze koppeling ook moeilijk is te realiseren dient uitgegaan te worden van aanvoer ten behoeve van peilhandhaving.
6. Behalve een paar uitzonderingen geeft berekening uit oppervlaktewater een efficiëncy van circa 50%. Dit cijfer wordt ook in andere studies gevonden en is daarom als reëel te beschouwen.

7. Volgens de berekeningen zijn de bijbehorende grondwatertrappen uitsluitend IV, VI en VII. Dit is voornamelijk het gevolg van de ingevoerde gegevens voor de eigenschappen van het oppervlaktewater- en drainagestelsel. Momenteel komen echter in het tussen-10-plangebied ook veel grondwatertrappen III en V voor. Bij de berekeningen is dus als het ware uitgegaan van een (sterk) verbeterde landbouwwaterhuishouding.
8. Daar het berekenen betreft van de waterhuishoudkundige toestand die momenteel nog niet bestaat, is er geen verificatie uit te voeren. Verificatie door middel van het narekenen van de huidige toestand is vanwege tijdgebrek en/of onvoldoende gegevens eveneens niet uitgevoerd.

Door het uitvoeren van zeer veel berekeningen (30 jaar) van veel verschillende situaties (200 bodemkundig-hydrologische eenheden) met een geavanceerd, zelfcorrigerend hydrologisch model worden eventuele fouten in invoergegevens en/of aannames gebruikt bij de modellering van het hydrologisch systeem, min of meer vereffend. Concluderend kan gesteld worden dat de landbouwkundige effecten van wateraanvoer naar het tussen-10-plangebied op een verantwoorde manier zijn berekend.

LITERATUUR

- AD HOC GROEP VERDAMPING, 1984. Herziening van de berekening van de gewasverdamping in het hydrologisch model GELGAM. Rijkswaterstaat, dienst informatieverwerking, Arnhem.
- BAKEL, P.J.T. VAN, 1984. Analyse van het stuwpeilbeheer in 1983 zoals uitgevoerd door het waterschap De Veenmarken. ICW-nota 1485.
- Onderzoek naar effecten van peilbeheer in het wateraanvoergebied De Monden (in druk).
- BANNINK, M.H. en G.H. STOFFELSEN, 1984. Bodemfysisch onderzoek ten behoeve van tussen-10-plan. Rapport nr. 1805, Stiboka, Wageningen.
- BELMANS, C., J.G. WESSELING en R.A. FEDDES, 1981. Simulation model of the water balance of a cropped soil (SWATRE). ICW-nota 1257, Wageningen.
- BEUVING, J., 1982. Onderzoek naar bodem- en waterhuishoudkundige gegevens voor invoer in en verificatie van een model voor berekening van de effecten van de waterhuishouding. ICW nota 1378, Wageningen.
- BOHEEMEN, P.J.M. VAN en T.H.M. REULING, 1984. Rendabiliteit van berekening op melkveebedrijven en waterbehoefte van Gelderse landbouwgronden. ICW nota 1531, Wageningen.
- BRUGGEMAN, G.A., 1978. Analytical solution of the recharge of an aquifer from the overlying semi-permeable top-layer with partially penetrating ditches to be used in a numerical model. RID Quartely Report, no 15.
- BRUIN, H.A.R. DE, 1979. Neerslag, open waterverdamping en potentieel neerslagoverschot in Nederland; frequentieverdelingen in het groeiseizoen. WR 79-4, KNMI, De Bilt.
- en W. KOHSIEK, 1979. Toepassingen van de Penmanformule. In: Verdamping en gewasproductie. Basisrapport Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland, Arnhem.
- EBBERS, G. en R. VISSCHER, 1985. Vergelijking van de bodemgesteldheid voor de weidebouw voor en na een ruilverkaveling. Cult. Tijdschrift 24(4): 185-193.
- ERNST, L.F., 1962. Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Versl. Landb. Onderz., 67-15, Pudoc, Wageningen.
- 1983. Wegzijging en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden. ICW rapport 7.

- FEDDES, R.A., P.J. KOWALIK and H. ZARADNY, 1978. Simulation of field-water use and crop yield. Simulation Monographs Series, Pudoc, Wageningen.
- GRAAF, M. DE, 1982. Toepassen van het niet-stationaire model SWATRE op enkele veenprofielen. ICW-nota 1354, Wageningen.
- HAAIJER, B.M., 1984. Wateraanvoer tussen-10-plangebied: drainageweestanden (niet gepubliceerd).
- INTERNE WERKGROEP HELP, 1983. Jaarverslag 1983, ICW, Wageningen, p 73-74.
- KEESMAN, K.J. en P.J.T. VAN BAKEL, 1985. Gebruikershandleiding van het simulatiemodel voor de waterbalans van een met gewas begroeid oppervlak gekoppeld aan een peilbeheersingsmodel voor open water: SWADRE (SWATRE-DRENTHE). ICW-nota 1605, Wageningen.
- KRELING, J., 1985. Notitie met betrekking tot het verzamelen van de benodigde gegevens voor het berekenen van de landbouwaterbehoefte (tussen-10-plan). (niet gepubliceerd).
- RICHARDS, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. Physics, 1, 318-333.
- RIJTEMA, P.E., 1965. An analysis of actual evapotranspiration. Pudoc, Wageningen.
- SCHANS, D.A. VAN DER, M. DE GRAAF en A.J. HELLINGS, 1984. De relatie tussen wateraanvoer, verdamping en produktie bij het gewas aardappelen. ICW nota 1539.
- TECHNISCHE WERKGROEP GRONDWATERPLAN, 1984. Deel I en II, Assen (voorlopige uitgave).
- THOM, A.S. and H.R. OLIVER, 1977. On Penman's equation for estimating regional evaporation. Quart. J.R. Met. Soc., 103, 345-357.
- WALSUM, P.E.V. VAN en P.J.T. VAN BAKEL, 1983. Berekening van de effecten van infiltratie op de gewasverdamping in het herinrichtingsgebied, met een aangepaste versie van het model SWATRE. ICW nota 1434, Wageningen.
- WERKGROEP LANDBOUWKUNDIGE ASPECTEN, 1984. Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking; berekening van schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand. CoGroWa, Utrecht.
- WERKGROEP WATERVOORZIENING DRENTHE, 1979. Water naar Drenthe. Assen.

LIJST VAN SYMBOLEN

Symbool	Beschrijving	Eenheden
a	wateraanvoerintensiteit	cm.d^{-1}
a	coëfficiënt in lineaire regressievergelijking	
B	natte omtrek	m
b	coëfficiënt in lineaire regressievergelijking	
C_w	differentiële vochtcapaciteit ($d\theta/dh_p$)	cm^{-1}
c	coëfficiënt in lineaire regressievergelijking	
c_a	reductiefactoren in vergelijking (9.1)	-
c_l	weerstand leemlaag	d
c_p	specifieke warmte van lucht	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
c_u	correctiefactor in vergelijking (4.5)	-
c_v	voedingsweerstand	d
c_{100}	genormeerde voedingsweerstand	d
D	dikte watervoerende laag	d
D^l	dikte doorstroomde leemlaag	m
D_u	waterhoogte in waterloop	m
D_l	dikte leemlaag	m
d	drainiveau	cm
d_r	dikte van de wortelzone	cm
E	evapotranspiratie	cm.d^{-1}
E_i	interceptieverdamping	cm.d^{-1}
E_p	potentiële evapotranspiratie	cm.d^{-1}
E_{sp}	potentiële bodemverdamping	cm.d^{-1}
E_{sp}^r	gereduceerde potentiële bodemverdamping	cm.d^{-1}
E_t	gewasverdamping	cm.d^{-1}
E_{tp}	potentiële gewasverdamping	cm.d^{-1}
E_{wet}	verdamping van een nat gewas	cm.d^{-1}
E_o	open waterverdamping	cm.d^{-1}
e	efficiëntcy van wateraanvoer	cm.d^{-1}
f_{ow}	percentage open water	cm.d^{-1}
G	bodemwarmtestroomdichtheid	W.m^{-2}
g	versnelling van de zwaartekracht	m.s^{-2}
h_f	grondwaterstand in phreatisch pakket	cm
h_p	drukhoogte	cm
h_s	streefpeil	cm
h_o	open waterpeil	cm

Symbool	Beschrijving	Eenheden
I	bladoppervlakte-index	-
K	hydraulische doorlatendheid	m.d^{-1} of cm.d^{-1}
K_h, K_v	horizontale respectievelijk verticale hydraulische doorlatendheid	m.d^{-1}
k	Von Karman constante	-
L	slootafstand	m
m_o	opbolling	m
n	coëfficiënt in vergelijking (4.9) ($\approx r_c/r_a$)	-
P	bruto neerslag	cm.d^{-1}
q_a	grondwaterstroming naar diep grondwater	cm.d^{-1}
q_d	grondwaterstroming naar ontwateringsmiddel	cm.d^{-1}
q_d^c	grondwaterstroming naar de sloten	cm.d^{-1}
q_d^d	grondwaterstroming naar de drains	cm.d^{-1}
q_m	flux door onderrand van verzadigde/onverzadigde grondkolom	cm.d^{-1}
q_r	grondwaterstroming ten gevolge van verhoogd peil door wateraanvoer (het zgn. subregionale effect)	cm.d^{-1}
R	bodemweerstand	d
r_a	aerodynamische weerstand	s.m^{-1}
r_c	gewasweerstand	s.m^{-1}
S	sink term; vochtonttrekking door de wortels	d^{-1}
$S_{\max}$	maximale vochtonttrekking door de wortels	d^{-1}
s	elling van de verzadigde waterdampspanningscurve	mbar.K^{-1}
T	langjarig gemiddelde gewasverdamping van aardappels of grasland gedurende het groeiseizoen	cm resp. mm
T_b	idem bij berekening	cm resp. mm
T_{cons}	idem bij conservering	cm resp. mm
T_p	idem, potentieel	cm resp. mm
$T_{0,75}$	idem bij aanvoer met max. capaciteit van $0,75 \text{ mm.d}^{-1}$	cm resp. mm
$T_{1,5}$	idem bij aanvoer met max. capaciteit van $1,5 \text{ mm.d}^{-1}$	cm resp. mm
$T_{2,5}$	idem bij aanvoer met max. capaciteit van $2,5 \text{ mm.d}^{-1}$	cm resp. mm
T_o	idem bij vaste stuw	cm resp. mm.
t	tijdsvariabele	d
u	windsnelheid	m.s^{-1}

Symbool	Beschrijving	Eenheden
z	verticale coördinaat (positief naar boven gericht)	cm of m
z_r	referentieniveau voor verdampingsberekeningen (in vergl. 4.4)	m
z_o	ruwheidslengte	m
α	sinkterm variabele	-
α_v	factor in vergelijking (6.8)	-
γ	psychrometer constante	mbar.K ⁻¹
Δ	differentie	
θ	volumetrisch watergehalte	-
λ	verdampingswarmte van water	J.kg ⁻¹
ρ_a	dichtheid van lucht	kg.m ⁻³
$\underline{\gamma}$	drainageweerstand	d
$\underline{\gamma}_c$	drainageweerstand slotenstelsel	d
$\underline{\gamma}_s$	substitutie drainageweerstand van sloten- en drainagestelsel	d

Bijlage A

BEREKENINGSRESULTATEN PER ONDERSCHIEDEN EENHEID

T o e l i c h t i n g

- Hoewel is gerekend met een jaarrond-model hebben de getallen (behalve de gt) betrekking op het groeiseizoen (1/4 - 1/10).
- Voor de beschrijving van de profieltypen, zie BANNINK en STOFFELSEN (1984).
- Voor drainageweerstand worden 2 waarden opgegeven:
 - 1e getal: drainageweerstand oppervlaktewaterstelsel
 - 2e getal: drainageweerstand drainagestelsel.
- T_p : langjarig gemiddelde potentiële (gewas)verdamping (1954-1983).
- T_{cons} : langjarig gemiddelde actuele (gewas)verdamping (1954-1983)
 conservering wordt als referentie-situatie aangenomen.
- $\Delta T_{0,75}$, $\Delta T_{1,5}$, $\Delta T_{2,5}$ } toename van de langjarig gemiddelde actuele (gewas)verdam-
 ping, t.o.v. de referentiesituatie, t.g.v. wateraanvoer
 t.b.v. sub-infiltratie met max. aanvoercapaciteit van resp.
 0,75; 1,5 en 2,5 mm.d⁻¹
- $a_{0,75}$, $a_{1,5}$, $a_{2,5}$ } langjarig gemiddelde wateraanvoer t.b.v. sub-infiltratie
 bij max. aanvoercapaciteit van 0,75, 1,5 en 2,5 mm.d⁻¹
- $e_{0,75}$, $e_{1,5}$, $e_{2,5}$ } langjarig gemiddelde efficiëncy van wateraanvoer t.b.v.
 sub-infiltratie met max. capaciteit van resp. 0,75, 1,5
 en 2,5 mm.d⁻¹
- grondwatertrappen: volgens Stiboka-classificatie
 - 1e cijfer tussen haakjes (HG3), gem. van de 3
 hoogste grondwaterstanden die per jaar zijn bere-
 kend bij een sampling-interval van 14 dagen
 - 2e cijfer tussen haakjes (LG3), idem 3 laagste
 grondwaterstanden
- kolomaanduiding onder grondwatertrappen
 - 1 = conservering
 - 2 = conservering + aanvoer; max. cap. 0,75 mm.d⁻¹
 - 3 = conservering + aanvoer; max. cap. 1,5 mm.d⁻¹
 - 4 = conservering + aanvoer; max. cap. 2,5 mm.d⁻¹

- | | | |
|---------------------|---|---|
| - voorjaarsreductie | } | zie tekst. Deze heeft betrekking op de situatie met conservering en is bedoeld als illustratie voor de verschillen tussen de bodemkundig-hydrologische eenheden |
| najaarsreductie | | |
| waterafvoer | | |

RESULTATEN

gewas: aardappelen ($T_p = 306,3 \text{ mm}$)

Pro- fiel- type	Drainage- weerst. (d)	Kwel/ weg- zijging (cm/d)	T_{cons} (mm)	$\Delta T_{0,75}$ (mm)	$a_{0,75}$ (mm)	$e_{0,75}$ (%)	$\Delta T_{1,5}$ (mm)	$a_{1,5}$ (mm)	$e_{1,5}$ (%)	$\Delta T_{2,5}$ (mm)	$a_{2,5}$ (mm)	$e_{2,5}$ (%)
Hn21	260/ ∞	-0,024 0,0 0,063	276,0 279,9 287,5	4,2 4,0 2,7	27,3 23,2 14,7	15 17 18	7,6 6,9 3,8	40,2 34,2 19,2	19 20 20	8,5 7,1 3,6	42,7 35,7 19,2	20 20 19
	575/ ∞	-0,053 -0,024 0,0 0,063	271,6 278,2 280,7 281,0	3,8 2,6 2,2 1,0	25,9 18,9 14,6 5,6	15 14 15 18	4,6 3,2 2,6 0,9	30,0 21,2 15,7 5,6	15 15 17 16	4,6 3,2 2,6 0,9	30,0 21,2 15,7 5,6	15 15 17 16
Hn21v	575/ ∞	0,0	284,7	1,0	8,7	11	1,2	9,5	13	1,2	9,5	13
Hn21x	260/360	0,023	278,1	2,7	26,4	10	4,8	38,8	12	5,6	42,0	14
	575/360	-0,024	274,7	2,0	31,5	6	3,7	43,2	9	3,8	45,0	8
Hn23	260/360	0,023	290,2	1,0	20,1	5	1,5	34,8	4	1,7	41,1	4
	575/ ∞	-0,024	287,4	1,1	21,6	5	1,7	30,0	6	1,8	30,2	6
Hn23x	13000/360	-0,053	281,9	0,4	22,6	2	2,4	38,9	6	2,3	40,9	6
iWp	120/ ∞	-0,024 0,0	288,0 290,9	3,3 2,4	28,2 25,4	12 9	6,6 5,7	50,0 43,4	13 13	10,7 8,9	68,7 58,4	16 15
	260/110	0,0	291,3	2,4	24,1	10	4,8	39,2	12	7,1	49,9	14
	260/ ∞	-0,053 -0,024 0,0 0,063	284,6 288,0 289,5 291,0	2,6 2,0 1,9 1,4	29,7 26,3 21,6 13,8	9 8 9 10	5,2 4,6 4,1 2,5	56,2 44,1 37,3 21,3	10 11 11 12	7,7 6,3 5,5 2,8	64,7 52,9 43,8 22,9	12 12 12 12
	575/360	0,0	288,8	1,7	19,2	9	2,8	26,7	10	3,2	27,8	11
	575/ ∞	-0,053 -0,024 0,0 0,063	285,0 286,3 284,9 273,5	2,1 1,4 1,5 0,6	26,9 21,6 16,8 7,7	8 6 9 8	3,2 2,7 1,9 0,7	37,8 27,2 20,4 8,3	9 10 9 9	3,4 2,6 1,9 0,7	38,6 27,3 20,4 8,3	9 10 9 9
	1250/360	-0,053	285,2	2,0	22,5	9	2,8	29,8	9	2,8	29,6	9
	13000/360	-0,053	284,7	0,5	11,3	5	0,7	12,8	6	0,7	13,1	5

Bijlage A vervolg

Gewas: aardappelen

Profiel- type	Drainage- weerst.	Kwel/ weg- zijging	Grondwatertrappen				Voor- jaars- reduk- tie	Na- jaars- reduk- tie	Water- afvoer
			1	2	3	4			
	(d)	(cm.d ⁻¹)					(mm)	(mm)	(mm)
Hn21	260/∞	-0,024	VII(83/140)	VII(82/132)	VII(82/130)	VII(82/130)	0,3	0,0	69,2
		0,0	VI(78/133)	VI(79/127)	VI(77/126)	VI(77/125)	1,3	0,4	96,7
		0,063	IV(68/118)	IV(68/116)	IV(68/116)	IV(68/116)	4,0	1,4	175,7
	575/∞	-0,053	VI(73/148)	VI(76/140)	VI(75/139)	VI(76/139)	3,6	0,1	40,1
		-0,024	VI(68/137)	VI(67/131)	VI(67/131)	VI(67/131)	3,9	1,4	69,4
		0,0	VI(63/129)	VI(63/125)	VI(63/125)	VI(63/125)	17,7	3,5	98,5
		0,063	IV(58/112)	IV(58/110)	IV(58/111)	IV(58/111)	74,1	9,3	181,9
Hn21v	575/∞	0,0	VI(64/133)	VI(63/130)	VI(63/130)	VI(63/130)	17,3	3,4	99,3
Hn21x	260/360	0,023	VI(74/139)	VI(74/129)	VI(74/126)	VI(73/126)	0,2	0,7	116,6
	575/360	-0,024	VI(72/170)	VI(69/150)	VI(69/144)	VI(69/144)	0,7	0,9	63,5
Hn23	260/360	0,023	VI(75/148)	VI(74/143)	VI(74/138)	VI(74/137)	0,0	0,8	119,0
	575/∞	-0,024	VI(67/158)	VI(66/152)	VI(66/150)	VI(66/149)	5,3	2,3	67,7
Hn23x	13000/360	-0,053	VI(77/192)	VI(73/187)	VI(70/172)	VI(70/172)	0,5	2,2	33,2
iWp	120/∞	-0,024	VII*(91/166)	VII(91/154)	VII(91/146)	VII(91/142)	0,0	0,0	
		0,0	VII(89/156)	VII(88/146)	VII(88/141)	VII(88/138)	0,0	0,0	
	260/110	0,0	VII(85/154)	VII(85/145)	VII(85/140)	VII(85/138)	0,0	0,0	
	260/∞	-0,053	VII*(90/178)	VII*(87/166)	VII(86/156)	VII(85/153)	0,0	0,0	
		-0,024	VII*(81/164)	VI(79/152)	VI(79/146)	VI(78/144)	0,6	0,0	
		0,0	VI(76/153)	VI(75/144)	VI(75/140)	VI(74/139)	1,7	0,6	
		0,063	VI(67/131)	VI(67/127)	VI(66/126)	VI(66/126)	4,4	1,5	
		0,0	VI(67/151)	VI(68/143)	VI(68/141)	VI(68/141)	4,3	1,5	
	575/360	0,0	VI(67/151)	VI(68/143)	VI(68/141)	VI(68/141)	4,3	1,5	
	575/∞	-0,053	VI(78/176)	VI(74/163)	VI(74/159)	VI(74/159)	4,1	0,3	
		-0,024	VI(68/160)	VI(67/151)	VI(66/149)	VI(66/149)	6,5	1,9	
		0,0	VI(63/148)	VI(62/141)	VI(62/140)	VI(62/140)	16,6	3,0	
		0,063	VI(57/122)	IV(57/120)	IV(57/120)	IV(57/120)	66,2	8,9	
		-0,053	VI(78/176)	VI(75/165)	VI(74/163)	VI(75/163)	2,9	0,3	37,2
	1250/360	-0,053	VI(78/176)	VI(75/165)	VI(74/163)	VI(75/163)	2,9	0,3	37,2
	13000/360	-0,053	VI(73/173)	VI(71/169)	VI(71/169)	VI(71/169)	4,7	0,9	36,3

Bijlage A vervolg

Gewas: aardappelen

Pro- fiel- type	Drainage- weerst.	Kwel/ weg- zijging	T _{cons}	ΔT _{0,75}	a _{0,75}	e _{0,75}	ΔT _{1,5}	a _{1,5}	e _{1,5}	ΔT _{2,5}	a _{2,5}	e _{2,5}
	(d)	(cm/d)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)
iWpx	575/∞	-0,053	282,9	2,0	28,1	7	3,3	37,8	9	3,2	38,7	8
		0,0	283,1	1,1	16,9	7	2,0	20,0	10	2,0	20,0	10
iVz/iVc	1250/360	-0,053	283,4	1,7	22,2	8	3,3	35,0	9	3,9	42,1	9
	120/∞	-0,024	249,9	2,0	34,8	6	3,5	51,4	7	3,4	51,9	7
	120/∞	0,0	251,2	1,8	31,0	6	2,6	41,3	6	2,9	42,0	7
		0,063	252,6	1,0	14,2	7	1,2	14,3	8	1,4	14,5	10
	260/110	0,0	251,6	1,7	27,8	6	2,5	37,5	7	2,7	38,7	7
	260/360	0,0	251,4	1,2	26,9	4	2,2	35,3	6	2,2	36,9	6
	260/∞	-0,053	248,3	2,2	37,3	6	2,7	54,2	5	2,8	56,5	5
		-0,024	250,4	1,4	30,7	5	2,1	41,0	5	2,2	41,3	5
		0,0	251,4	1,3	26,0	5	1,6	32,3	5	1,4	32,5	4
		0,063	253,6	0,7	9,5	7	0,8	9,9	8	0,8	9,9	8
	575/∞	-0,053	249,5	1,7	29,8	6	1,9	33,0	6	1,7	33,1	5
		-0,024	251,2	0,7	22,3	3	0,9	23,5	4	0,9	23,5	4
		0,0	252,7	0,4	16,2	2	0,4	16,9	2	0,4	16,9	2
		0,063	254,7	0,2	3,7	5	0,1	3,8	3	0,1	3,8	3
aVz/Vz	260/∞	0,063	266,8	0,9	10,8	8	0,7	12,9	5	0,8	13,1	6
	575/∞	0,063	266,1	0,1	6,5	2	0,0	6,5	-	0,0	6,5	-
zWp	575/∞	0,0	254,2	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
zWpx	575/110	-0,053	236,0	1,1	40,0	3	3,3	60,3	5	3,4	60,2	6
	13000/360	-0,053	237,0	0,0	25,9	-	0,2	27,7	1	0,2	27,7	1
KX	575/∞	0,0	269,9	1,4	16,3	9	1,5	17,1	9	1,5	17,1	9
cHn23	575/∞	0,0	278,1	-0,5	18,3	-	0,2	26,4	1	-0,4	26,2	-
cHn23x	575/∞	0,0	273,6	0,1	20,7	0	-0,2	23,7	-	-0,2	23,7	-
cHn21	260/360	0,023	290,2	2,5	19,4	13	4,0	28,1	14	6,3	36,5	17
	575/∞	-0,024	283,4	1,9	17,9	11	2,7	21,2	13	2,8	21,2	13

Bijlage A vervolg

Gewas: aardappelen

Profiel- type	Drainage- weerstand	Kwel/ weg- zijging (cm.d ⁻¹)	Grondwatertrappen				Voor- jaars- reduk- tie (mm)	Na- jaars- reduk- tie (mm)	Water- afvoer (mm)
			1	2	3	4			
iWpx	575/∞	-0,053	VI(77/194)	VI(74/175)	VI(73/169)	VI(73/169)	4,0	0,3	38,4
		0,0	VI(63/154)	VI(62/143)	VI(62/142)	VI(62/142)	17,3	3,1	97,4
iVz/Vc	1250/360	-0,053	VI(78/194)	VI(74/177)	VI(74/174)	VI(74/174)	2,5	0,3	37,0
	120/∞	-0,024	VII(88/150)	VII(87/137)	VII(87/135)	VII(87/136)	0,0	3,2	84,3
	120/∞	0,0	VII(85/140)	VII(85/132)	VII(85/132)	VII(85/132)	0,0	3,8	112,9
		0,063	VII(81/126)	VII(81/125)	VII(81/125)	VII(81/125)	0,0	5,4	206,7
	260/110	0,0	VII(82/136)	VII(82/127)	VII(82/126)	VII(82/126)	0,0	4,2	109,2
	260/360	0,0	VI(76/137)	VI(75/127)	VI(75/125)	VI(75/125)	0,0	4,5	111,2
	260/∞	-0,053	VII*(84/164)	VII(81/145)	VII(81/140)	VII(81/139)	0,3	3,3	50,8
		-0,024	VI(76/147)	VI(75/134)	VI(75/131)	VI(75/131)	0,8	3,5	81,7
		0,0	VI(72/137)	VI(72/127)	VI(72/126)	VI(72/126)	1,8	4,9	112,2
		0,063	IV(64/116)	IV(64/114)	IV(64/114)	IV(64/114)	3,5	7,9	197,4
	575/∞	-0,053	VI(73/162)	VI(70/146)	VI(70/145)	VI(70/145)	3,3	4,1	48,3
		-0,024	VI(65/145)	VI(64/134)	VI(64/134)	VI(64/134)	3,8	5,6	79,2
		0,0	VI(61/133)	VI(61/126)	VI(61/126)	VI(61/126)	7,4	7,8	109,4
		0,063	IV(57/108)	IV(57/107)	IV(57/107)	IV(57/107)	55,9	13,9	192,0
		0,063	VI(63/125)	VI(62/121)	VI(62/121)	VI(62/121)	0,9	5,0	177,0
		0,063	IV(54/120)	IV(57/117)	IV(57/117)	IV(57/117)	30,2	12,0	173,0
zWp	575/∞	0,0	VI(61/132)	VI(61/132)	VI(61/132)	VI(61/132)	7,3	5,2	107,7
zWpx	575/110	-0,053	VII*(84/163)	VII(81/143)	VII(81/138)	VII(81/139)	0,0	0,5	45,9
	13000/360	-0,053	VI(66/160)	VI(64/148)	VI(64/148)	VI(64/148)	3,0	2,5	43,4
KX	575/∞	0,0	VI(61/146)	VI(60/135)	VI(60/135)	VI(60/135)	7,6	4,1	93,2
cHn23	575/∞	0,0	VI(63/156)	VI(62/151)	VI(61/148)	VI(61/148)	1,1	3,1	103,3
cHn23x	575/∞	0,0	VI(63/161)	VI(61/146)	VI(61/146)	VI(62/146)	0,8	2,7	100,6
cHn21	260/360	0,023	VI(79/133)	VI(78/128)	VI(78/126)	VI(78/125)	0,0	0,4	120,1
	575/∞	-0,024	VI(69/143)	VI(68/137)	VI(68/136)	VI(68/136)	4,6	1,1	69,6

Bijlage A vervolg

Gewas: aardappelen

Pro- fiel- type	Drainage- weerst. (d)	Kwel/ weg- zijing (cm/d)	T _{cons} (mm)	$\Delta T_{0,75}$ (mm)	a _{0,75} (mm)	e _{0,75} (%)	$\Delta T_{1,5}$ (mm)	a _{1,5} (mm)	e _{1,5} (%)	$\Delta T_{2,5}$ (mm)	a _{2,5} (mm)	e _{2,5} (%)
pZg23	260/∞	0,023	255,5	1,6	23,0	7	0,8	35,2	2	1,1	39,8	3
	575/∞	-0,024	254,6	1,2	25,1	5	1,1	32,5	3	1,2	32,8	4
pZg23x	575/∞	0,0	253,3	0,9	18,6	5	1,6	20,8	8	1,5	20,7	7
zVc/zVz	260/∞	-0,024	253,0	1,3	37,5	3	2,8	53,4	5	2,6	55,5	5
		0,063	254,6	0,8	17,8	4	0,4	19,6	2	0,3	19,6	2
	575/∞	0,0	245,3	0,3	12,8	2	0,2	12,7	2	0,2	12,7	2
		0,063	252,4	0,1	10,5	1	0,1	10,5	1	0,1	10,5	1
aVs	260/∞	0,0	228,2	0,5	18,5	3	0,4	19,0	2	0,4	19,0	2
hVc/hVz	575/360	0,023	231,0	0,4	16,6	2	0,6	18,9	3	0,6	19,0	3
cT23	575/∞	0,0	278,1	0,4	14,7	3	0,1	17,1	1	0,1	17,1	1

Gewas: aardappelen

Profiel- type	Drainage- weerstand	Kwel/ weg- zijging	Grondwatertrappen				Voor- jaars- reduk- tie	Na- jaars- reduk- tie	Water- afvoer
			1	2	3	4			
	(d)	(cm.d ⁻¹)					(mm)	(mm)	(mm)
pZg23	260/∞	0,023	VI(68/148)	VI(68/139)	VI(69/134)	VI(68/133)	1,0	2,8	138,6
	575/∞	-0,024	VI(64/165)	VI(63/153)	VI(63/149)	VI(63/149)	2,2	3,2	81,2
pZg23x	575/∞	0,0	VI(62/147)	VI(61/136)	VI(61/135)	VI(61/135)	6,5	4,3	105,8
zVczVz	260/∞	-0,024	VI(73/172)	VI(71/149)	VI(71/142)	VI(71/142)	0,2	2,1	76,4
		0,063	VI(61/124)	VI(60/120)	VI(60/120)	VI(60/120)	1,1	6,0	181,6
	575/∞	0,0	VI(60/132)	VI(60/128)	VI(60/128)	VI(60/128)	5,6→10,4	4,8	101,5
		0,063	IV(53/120)	IV(53/115)	IV(53/115)	IV(53/115)	34,9	11,7	180,4
aVs	260/∞	0,0	VI(67/134)	VI(66/131)	VI(66/132)	VI(66/132)	0,8	3,9	108,5
hVchVz	575/360	0,023	VI(62/132)	VI(62/122)	VI(62/122)	VI(62/122)	3,2	8,9	145,8
cY23	575/∞	0,0	VI(63/142)	VI(63/137)	VI(62/135)	VI(62/135)	15,4	3,2	106,1

Gewas: gras ($T_p = 430-435$ mm)

Pro- fiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ weg- zijging (cm.d ⁻¹)	T _{cons} (mm)	ΔT _{0,75} (mm)	a _{0,75} (mm)	e _{0,75} (%)	ΔT _{1,5} (mm)	a _{1,5} (mm)	e _{1,5} (%)	ΔT _{2,5} (mm)	a _{2,5} (mm)	e _{2,5} (%)
Hn21	120/∞	0,023	413,4	4,4	17,4	25	8,1	28,5	28	11,4	37,6	30
		0,063	422,9	2,7	8,8	31	4,4	14,5	30	5,8	18,1	32
	260/∞	-0,053	388,4	5,6	31,2	18	11,5	56,5	20	14,6	70,7	21
		0,0	410,0	4,0	18,0	22	7,7	30,0	26	8,6	33,2	26
		0,023	416,9	2,8	13,2	21	5,4	20,3	27	5,6	22,1	25
		0,063	422,4	1,4	5,1	27	2,4	7,5	32	2,4	7,9	30
	575/360	0,0	411,1	3,5	16,1	22	6,4	26,5	24	7,0	29,1	24
		0,023	416,5	2,8	11,2	25	5,1	17,7	29	5,4	19,0	28
		0,063	422,0	1,4	5,1	27	2,4	7,5	32	2,4	7,9	30
		-0,053	392,2	5,5	27,5	20	7,8	39,9	20	7,9	40,7	19
	575/∞	-0,024	405,6	3,5	18,7	19	5,0	25,4	20	5,1	25,6	20
		0,0	414,4	1,5	7,7	19	1,5	8,6	17	1,5	8,6	17
		0,023	418,6	0,1	2,7	4	0,1	2,7	4	0,1	2,7	4
		0,063	422,8	1,2	5,2	23	2,2	9,0	24	2,7	9,8	28
Hn21v	260/∞	0,023	422,8	1,2	5,2	23	2,2	9,0	24	2,7	9,8	28
	575/∞	0,063	424,7	0,4	1,4	29	0,6	1,8	33	0,6	1,8	33
Hn21x	260/360	0,023	416,5	2,1	20,4	10	4,6	34,4	13	6,1	43,5	14
	575/∞	-0,024	409,2	1,8	29,7	6	3,0	43,9	7	3,1	44,5	7
Hn23	260/∞	0,0	422,5	0,3	8,8	3	1,0	15,4	6	1,6	22,3	7
		0,023	423,1	0,4	6,0	7	0,8	11,9	7	1,1	16,9	7
		0,063	422,7	0,2	2,6	8	0,4	5,2	8	0,6	6,5	9
		-0,053	418,8	0,4	16,8	2	0,8	29,4	3	1,1	35,5	3
	575/∞	0,0	420,9	0,3	7,2	4	0,7	12,2	6	0,8	13,9	6
		0,023	421,1	0,1	1,5	2	0,3	8,3	4	0,4	9,3	4
		0,063	420,9	0,2	2,4	8	0,4	3,9	10	0,5	4,1	12
		0,0	420,7	1,4	21,2	7	2,7	37,1	7	3,2	45,0	7
	260/∞	0,023	422,0	1,0	16,6	6	2,1	28,2	7	2,5	33,1	8
		-0,053	416,4	0,9	30,6	3	2,4	50,9	5	2,3	57,8	4
575/∞		0,0	419,7	1,0	18,3	5	1,4	27,2	5	1,4	27,8	5
		0,023	420,2	0,6	13,5	4	1,1	19,4	6	1,1	19,4	6
	0,063	421,0	0,6	7,9	8	0,7	10,1	7	0,7	10,2	7	

Bijlage A vervolg

Gewas: gras

Profiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ weg- zijing (cm.d ⁻¹)	Grondwatertrappen				Waterafvoer (mm)			
			1	2	3	4	1	2	3	4
Hn21	120/∞	0,023	IV(80/119)	IV(79/115)	IV(78/114)	IV(78/113)	75,0	79,8	85,0	89,6
		0,063	IV(72/109)	IV(72/108)	IV(72/108)	IV(72/108)	129,3	132,6	135,7	137,9
	260/∞	-0,053	VII(88/147)	VII(84/137)	VII(81/131)	VII(81/128)	11,5	15,5	19,8	24,6
		0,0	VI(69/123)	IV(68/119)	IV(67/116)	IV(67/116)	50,4	54,4	57,7	59,1
		0,023	IV(64/115)	IV(63/111)	IV(63/111)	IV(63/110)	75,1	78,4	81,2	82,3
		0,063	IV(59/103)	IV(59/102)	IV(59/102)	IV(59/102)	128,6	130,4	131,4	131,8
	575/360	0,0	VI(66/122)	IV(65/118)	IV(65/115)	IV(64/115)	50,3	54,0	57,5	58,6
		0,023	IV(62/113)	IV(62/111)	IV(62/110)	IV(61/110)	75,2	77,1	79,2	80,0
		0,063	IV(58/102)	IV(58/101)	IV(58/101)	IV(58/101)	127,0	128,4	129,5	129,8
		-0,053	VI(77/144)	VI(73/135)	VI(72/132)	VI(71/132)	12,0	15,8	18,4	18,7
	575/∞	-0,024	VI(65/130)	VI(64/124)	VI(63/123)	VI(63/122)	29,8	33,4	35,7	35,9
		0,0	IV(61/119)	IV(60/116)	IV(59/115)	IV(59/115)	51,4	54,2	55,3	55,4
		0,0	IV(57/116)	IV(57/114)	IV(57/114)	IV(57/114)	50,8	53,5	53,7	53,7
		0,023	IV(55/105)	IV(55/105)	IV(55/105)	IV(55/105)	71,0	73,3	73,3	73,3
	13000/∞	0,023	IV(55/105)	IV(55/105)	IV(55/105)	IV(55/105)	71,0	73,3	73,3	73,3
Hn21v	260/∞	0,023	IV(64/118)	IV(64/117)	IV(64/116)	IV(64/116)	74,3	74,7	75,4	75,8
	575/∞	0,063	IV(55/100)	IV(55/100)	IV(55/100)	IV(55/100)	127,9	127,8	127,9	127,9
Hn21x	260/360	0,023	VI(65/131)	VI(64/121)	IV(64/117)	IV(64/116)	73,9	80,1	85,7	91,9
	575/∞	-0,024	VI(66/170)	VI(62/149)	VI(62/142)	VI(61/142)	27,6	33,5	37,6	38,2
Hn23	260/∞	0,0	VI(67/148)	VI(66/145)	VI(66/143)	VI(65/140)	45,4	47,6	49,4	52,0
		0,023	VI(61/135)	VI(61/135)	VI(61/133)	VI(61/132)	72,1	73,3	74,2	75,2
		0,063	IV(56/120)	IV(57/119)	IV(56/118)	IV(56/118)	123,8	123,8	124,1	124,1
		-0,053	VII*(82/169)	VII*(81/166)	VI(76/161)	VI(75/161)	11,3	12,6	14,1	14,7
	575/∞	0,0	VI(59/144)	VI(59/142)	VI(59/140)	VI(50/139)	47,0	49,2	50,3	51,0
		0,023	VI(55/133)	VI(55/131)	VI(55/130)	VI(55/130)	72,5	73,7	74,5	74,7
		0,063	IV(51/116)	IV(51/115)	IV(51/115)	IV(51/115)	122,2	122,2	122,1	122,2
		0,0	VI(67/152)	VI(65/140)	VI(64/133)	VI(64/131)	42,5	50,7	56,7	61,5
		0,023	VI(61/132)	VI(61/126)	VI(60/122)	VI(60/121)	71,1	76,0	80,0	82,4
		-0,053	VII*(92/200)	VII*(87/186)	VI(76/171)	VI(75/169)	8,1	13,7	18,2	19,1
Hn23x	260/∞	0,0	VI(60/148)	VI(58/137)	VI(57/134)	VI(57/134)	43,7	50,6	55,1	55,2
		0,023	VI(54/129)	VI(54/124)	VI(54/122)	VI(54/122)	70,7	74,8	77,3	77,2
		0,063	IV(51/111)	IV(51/109)	IV(51/109)	IV(51/109)	119,8	122,4	123,5	123,6
	575/∞	-0,053	VII*(92/200)	VII*(87/186)	VI(76/171)	VI(75/169)	8,1	13,7	18,2	19,1

Bijlage A vervolg

Gewas: gras ($T_p = 430 - 435 \text{ mm}$)

Pro- fiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ weg- zijging (cm.d^{-1})	T_{cons} (mm)	$\Delta T_{0,75}$ (mm)	$a_{0,75}$ (mm)	$e_{0,75}$ (%)	$\Delta T_{1,5}$ (mm)	$a_{1,5}$ (mm)	$e_{1,5}$ (%)	$\Delta T_{2,5}$ (mm)	$a_{2,5}$ (mm)	$e_{2,5}$ (%)
iWp	260/ ∞	0,0	425,8	0,0	1,4	—	0,2	2,8	7	0,4	4,4	9
	575/ ∞	-0,053	420,4	0,2	4,0	5	0,6	6,8	9	0,8	8,8	9
		0,0	424,8	0,1	1,2	8	0,2	2,3	9	0,8	2,8	11
iWpx	575/ ∞	0,0	424,0	0,0	1,6	—	0,1	2,9	3	0,2	3,4	6
iVz/iVc	260/ ∞	-0,024	407,4	1,6	20,1	8	3,1	36,3	9	3,7	42,9	9
		0,0	409,5	1,5	17,5	9	2,9	29,3	10	3,1	31,5	10
	575/ ∞	0,0	409,1	1,2	11,6	8	1,4	18,5	8	1,4	18,5	8
aVz/Vz	120/ ∞	0,0	409,9	1,1	17,7	6	2,9	33,0	9	4,0	44,4	9
		0,023	412,4	1,7	15,2	11	3,1	25,3	12	3,5	34,0	10
		0,063	415,9	1,6	8,6	19	2,3	12,9	18	2,4	16,4	15
	260/110	0,023	412,1	1,7	15,3	11	3,3	25,7	13	4,3	33,4	13
		0,063	415,9	1,4	8,3	17	2,2	12,9	17	2,7	16,1	17
	260/360	0,063	414,8	1,4	7,9	18	1,7	11,9	14	2,2	14,1	16
	260/ ∞	0,0	409,4	1,0	17,2	6	2,5	30,1	8	2,9	36,5	8
		0,023	411,3	1,4	13,7	10	2,7	21,8	12	2,7	24,1	11
		0,063	414,1	1,0	7,5	13	1,3	10,3	13	1,3	10,4	13
	575/110	0,0	409,6	1,0	17,5	6	2,8	30,6	9	3,6	40,0	9
		0,063	414,9	1,3	8,4	15	2,0	13,3	15	2,1	16,2	13
	575/360	0,0	409,1	1,1	16,8	7	2,7	29,4	9	2,8	32,5	9
		0,063	413,4	1,1	7,5	15	1,2	10,5	11	1,3	10,9	12
	575/ ∞	-0,053	404,3	1,0	22,6	4	1,7	40,4	4	1,7	45,3	4
		0,0	408,3	1,0	15,8	6	1,5	22,9	7	1,5	28,6	6
		0,023	410,1	0,9	11,3	8	1,3	14,8	9	1,3	15,0	9
		0,063	413,0	1,0	6,1	16	1,1	7,0	16	1,1	7,0	16
	1250/110	0,063	414,3	1,5	8,0	19	2,2	12,9	17	2,4	15,0	16
	1250/360	-0,053	404,4	0,9	22,5	4	1,5	39,9	4	1,6	44,3	4
		0,063	413,0	1,1	7,2	15	1,2	9,4	13	1,2	9,5	13

Gewas: gras

Profiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ weg- zijging (cm.d ⁻¹)	Grondwatertrappen				Waterafvoer (mm)			
			1	2	3	4	1	2	3	4
iWp	260/∞	0,0	VI(69/148)	VI(69/147)	VI(60/146)	VI(69/146)	42,8	43,9	44,2	44,6
	575/∞	-0,053	VII*(83/179)	VII*(82/177)	VI(80/175)	VI(80/174)	10,4	10,5	10,6	10,7
		0,0	VI(60/142)	VI(60/141)	VI(60/141)	VI(60/141)	45,7	46,6	47,2	47,0
iWpx	575/∞	0,0	VI(60/148)	VI(60/145)	VI(60/144)	VI(60/144)	44,5	46,3	46,7	47,7
iVz/Vc	260/∞	-0,024	VI(75/153)	VI(73/143)	VI(71/135)	VI(70/133)	29,5	34,5	39,1	42,0
		0,0	VI(67/136)	VI(65/127)	VI(64/121)	VI(64/121)	51,9	58,5	62,9	64,4
	575/∞	0,0	VI(59/130)	VI(58/123)	VI(58/121)	VI(58/121)	52,3	58,2	60,1	60,2
aVz/Vz	120/∞	0,0	VI(77/155)	VI(75/143)	VI(74/136)	VI(73/133)	49,7	56,1	61,8	68,7
		0,023	VI(71/135)	VI(70/127)	VI(70/123)	VI(70/122)	76,8	81,2	86,2	93,4
		0,063	IV(64/114)	IV(64/112)	IV(64/112)	IV(63/112)	131,3	135,4	138,4	142,1
	260/∞	0,023	VI(71/134)	VI(71/126)	VI(70/122)	VI(70/121)	76,6	80,6	86,2	91,6
		0,063	IV(65/108)	IV(65/108)	IV(65/108)	IV(65/108)	128,7	132,5	135,8	138,5
	260/360	0,063	IV(57/110)	IV(58/107)	IV(58/107)	IV(57/107)	127,9	131,4	134,6	136,3
	260/∞	0,0	VI(64/152)	VI(63/141)	VI(62/135)	VI(62/133)	49,2	55,1	60,0	63,7
		0,023	VI(59/133)	VI(58/125)	VI(58/122)	VI(58/122)	75,9	79,4	83,2	85,2
		0,063	IV(54/109)	IV(54/106)	IV(54/106)	IV(54/106)	127,5	130,9	133,5	133,6
	575/110	0,0	VI(72/153)	VI(70/141)	VI(69/135)	VI(69/133)	49,7	55,9	61,2	66,9
		0,063	IV(60/109)	IV(61/106)	IV(61/105)	IV(60/106)	126,8	130,5	133,8	137,1
	575/360	0,0	VI(62/152)	VI(61/140)	VI(60/134)	VI(60/133)	49,4	55,3	60,6	62,5
		0,063	IV(52/107)	IV(52/104)	IV(52/104)	IV(52/104)	126,0	129,3	131,7	132,1
	575/∞	-0,053	VI(79/188)	VI(74/179)	VI(71/170)	VI(70/168)	14,0	16,6	19,0	19,8
		0,0	VI(57/149)	VI(56/139)	VI(56/135)	VI(56/135)	49,7	55,0	58,4	58,7
		0,023	VI(53/129)	VI(52/123)	VI(52/121)	VI(52/121)	75,3	77,6	79,8	79,8
		0,063	IV(50/104)	IV(50/102)	IV(50/102)	IV(50/102)	125,2	127,2	127,9	127,9
	1250/110	0,063	IV(58/108)	IV(58/105)	IV(58/104)	IV(58/104)	125,7	128,7	132,1	134,1
	1250/360	-0,053	VI(80/188)	VI(74/178)	VI(72/170)	VI(72/169)	14,4	17,2	19,3	20,3
		0,063	IV(51/106)	IV(50/103)	IV(50/102)	IV(51/102)	124,7	127,8	129,7	129,8

Bijlage A vervolg

Gewas: gras ($T_p = 430-435$ mm)

Pro- fiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ weg- zijging (cm.d ⁻¹)	T _{cons} (mm)	$\Delta T_{0,75}$ (mm)	a _{0,75} (mm)	e _{0,75} (%)	$\Delta T_{1,5}$ (mm)	a _{1,5} (mm)	e _{1,5} (%)	$\Delta T_{2,5}$ (mm)	a _{2,5} (mm)	e _{2,5} (%)
zWp	120/∞	0,0	408,7	0,4	3,5	11	0,5	7,0	7	0,7	11,1	6
		0,023	410,2	0,3	2,8	11	0,3	5,5	5	0,6	7,7	8
	260/∞	-0,053	403,6	0,2	5,9	3	0,5	11,9	4	0,6	16,8	4
		0,0	408,0	0,2	3,3	6	0,3	6,4	5	0,5	8,1	6
		0,023	409,7	0,0	2,1	-	0,0	3,7	-	0,1	4,1	2
		0,063	410,4	0,1	1,2	8	0,1	1,6	6	0,1	1,8	6
	575/∞	-0,053	403,5	0,3	5,8	5	0,9	9,7	9	1,1	10,7	10
		0,0	407,4	0,0	2,2	-	0,1	3,3	3	0,1	3,6	3
		0,023	408,5	0,1	1,4	7	0,1	1,9	5	0,1	2,0	5
zWp _x	260/∞	0,0	388,9	1,4	11,3	12	2,4	18,8	13	2,4	20,0	12
	575/∞	-0,053	385,3	0,5	15,3	3	0,7	25,3	3	0,7	27,6	3
KX	260/360	0,023	418,4	0,4	3,1	13	1,0	5,2	29	1,5	6,2	24
	575/∞	-0,024	411,4	0,2	6,6	3	0,4	11,2	4	0,7	13,6	5
cHn23	260/∞	0,023	425,0	0,3	7,9	4	0,5	14,0	4	0,4	20,8	2
cHn23 _x	575/∞	0,0	421,0	0,4	13,4	3	0,9	21,5	4	0,9	21,9	4
cHn21	260/∞	0,023	425,9	1,0	7,2	14	2,5	12,3	20	3,4	14,8	23
	575/∞	0,063	426,4	0,5	2,2	23	0,8	2,7	30	0,8	2,7	30
pZg23	120/∞	0,063	414,4	1,6	8,6	19	2,9	14,7	20	3,8	21,0	18
	260/∞	0,0	408,8	2,2	18,7	12	5,1	34,9	15	6,7	44,4	15
		0,023	410,3	2,2	12,6	17	3,8	22,1	17	5,1	27,5	19
		0,063	411,0	1,4	7,9	18	2,4	13,5	18	2,9	15,6	18
	575/∞	-0,053	401,6	1,9	29,4	6	4,9	50,7	10	5,4	57,9	9
		0,0	407,6	1,8	16,5	11	3,4	25,6	13	3,5	26,4	13
		0,063	408,7	1,0	6,8	15	1,8	9,7	19	1,7	10,3	17
pZg23 _x	575/∞	0,063	407,8	1,1	6,5	17	1,5	8,3	18	1,7	8,4	20
zVczVz	575/∞	0,0	395,8	0,2	11,4	2	0,3	12,9	2	0,3	12,9	2

Bijlage A vervolg

Gewas: gras

Profiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ weg- zijging (cm.d ⁻¹)	Grondwatertrappen				Waterafvoer (mm)			
			1	2	3	4	1	2	3	4
zWp	120/∞	0,0	VII(81/138)	VI(80/136)	VI(80/135)	VI(80/133)	50,6	51,4	52,2	53,0
		0,023	VI(75/125)	VI(75/124)	VI(75/123)	VI(75/123)	79,5	79,6	80,0	80,4
	260/∞	-0,053	VII*(90/165)	VII*(90/164)	VII*(89/162)	VII*(89/161)	12,2	12,6	12,6	12,8
		0,0	VI(66/135)	VI(66/133)	VI(66/132)	VI(66/131)	51,2	52,2	53,0	53,6
		0,023	VI(61/121)	IV(61/120)	IV(61/119)	IV(61/119)	78,8	79,1	79,4	79,4
		0,063	IV(55/105)	IV(55/104)	IV(55/104)	IV(55/104)	132,3	132,5	132,6	132,7
	575/∞	-0,053	VII*(82/162)	VII*(81/161)	VI(79/158)	VI(78/157)	12,9	13,0	13,1	13,2
		0,0	VI(59/130)	VI(59/129)	VI(59/129)	VI(58/128)	52,0	52,4	52,9	52,9
		0,023	IV(55/116)	IV(55/116)	IV(54/116)	IV(54/116)	78,1	78,1	78,1	78,1
		0,0	VI(63/127)	VI(62/121)	IV(63/120)	IV(62/120)	56,0	59,7	63,6	64,0
zWpx	260/∞	0,0	VI(63/127)	VI(62/121)	IV(63/120)	IV(62/120)	56,0	59,7	63,6	64,0
	575/∞	-0,053	VI(77/171)	VI(72/162)	VI(71/158)	VI(70/157)	15,3	17,5	18,9	19,4
KX	260/360	0,023	VI(65/124)	VI(65/122)	IV(65/120)	IV(65/120)	73,7	74,3	74,8	74,9
	575/∞	-0,024	VI(68/168)	VI(67/164)	VI(66/161)	VI(65/161)	26,4	27,2	27,4	27,3
cHn23	260/∞	0,023	VI(61/142)	VI(61/139)	VI(61/137)	VI(60/135)	71,4	73,7	75,2	76,6
cHn23x	575/∞	0,0	VI(58/156)	VI(57/146)	VI(57/142)	VI(56/142)	44,1	47,9	52,6	52,7
cHn21	260/∞	0,023	VI(64/122)	IV(64/120)	IV(64/119)	IV(64/119)	73,1	74,6	75,1	76,1
	575/∞	0,063	IV(55/102)	IV(55/101)	IV(55/101)	IV(55/101)	127,4	127,5	127,5	127,5
pZg23	120/∞	0,063	VI(65/125)	VI(65/122)	IV(65/120)	IV(65/119)	131,7	134,5	136,7	140,7
	260/∞	0,0	VI(65/153)	VI(63/144)	VI(63/138)	VI(62/135)	52,1	57,8	62,5	66,1
		0,023	VI(60/138)	VI(60/133)	VI(59/130)	VI(59/129)	78,6	81,1	83,2	85,9
		0,063	IV(54/120)	IV(54/118)	IV(54/116)	IV(54/115)	130,1	132,6	135,0	136,0
		-0,053	VI(76/181)	VI(72/172)	VI(69/161)	VI(69/161)	14,6	18,4	21,7	22,3
	575/∞	0,0	VI(57/150)	VI(56/141)	VI(56/138)	VI(56/138)	52,7	57,7	61,1	61,7
		0,063	IV(49/116)	IV(49/114)	IV(49/113)	IV(49/113)	129,2	130,9	131,6	132,1
		0,063	IV(49/110)	IV(49/108)	IV(49/107)	IV(49/107)	129,8	131,4	132,2	132,5
pZg23x	575/∞	0,063	IV(49/110)	IV(49/108)	IV(49/107)	IV(49/107)	129,8	131,4	132,2	132,5
zVq/zVz	575/∞	0,0	VI(57/126)	IV(57/120)	IV(57/119)	IV(57/119)	55,0	61,1	62,1	62,1

Bijlage A vervolg

Gewas: gras

Bijlage A vervolg

Pro- fiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ weg- zijing (cm.d ⁻¹)	T _{cons} (mm)	ΔT _{0,75} (mm)	a _{0,75} (mm)	e _{0,75} (%)	ΔT _{1,5} (mm)	a _{1,5} (mm)	e _{1,5} (%)	ΔT _{2,5} (mm)	a _{2,5} (mm)	e _{2,5} (%)
zVczVz	120/∞	0,023	410,0	0,3	2,3	13	0,3	4,5	7	0,3	6,6	5
		0,063	412,4	0,1	1,5	7	0,1	2,7	4	0,3	2,9	10
	260/∞	0,0	407,6	0,2	3,1	6	0,2	6,2	3	0,7	9,1	8
		0,023	408,8	-0,2	1,9	-	0,0	3,7	-	0,0	4,8	-
	575/∞	0,063	410,6	0,1	1,3	8	0,1	2,0	5	0,2	2,3	9
		-0,053	404,0	0,2	5,8	3	0,4	11,0	4	0,5	14,8	3
aVs	120/∞	0,0	406,7	0,1	2,4	4	0,3	4,3	8	0,2	5,2	4
		0,023	383,5	0,0	0,2	-	0,0	0,3	-	0,0	0,3	-
	260/∞	0,0	381,4	0,0	0,3	-	0,0	0,4	-	0,0	0,4	-
		0,023	382,3	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
	575/∞	0,063	382,4	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
		0,0	380,4	0,0	0,2	-	0,0	0,2	-	0,0	0,2	-
hVchVz	1250/360	0,065	385,1	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
		0,023	380,8	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
	120/∞	0,0	405,4	0,5	8,9	6	1,3	17,0	8	2,3	24,0	10
		0,023	408,0	0,7	6,9	10	1,3	13,1	10	2,2	17,8	12
	260/110	0,023	408,0	0,5	6,8	7	1,0	12,2	8	1,7	16,5	10
		0,063	411,8	0,6	4,9	12	0,9	7,6	12	1,6	8,8	18
	260/∞	-0,024	402,5	0,6	11,2	5	1,1	20,3	5	1,4	26,9	5
		0,0	404,6	0,5	8,7	6	1,2	15,6	8	1,4	19,0	7
	575/110	0,023	407,0	0,3	6,5	5	0,8	11,3	7	1,0	13,1	8
		0,063	410,2	0,6	4,7	13	0,9	6,3	14	0,9	6,5	14
	575/360	0,0	404,9	0,4	8,7	5	1,3	15,4	8	2,1	20,7	10
		0,063	411,0	0,7	5,0	14	1,0	7,7	13	1,3	9,8	13
	575/∞	-0,053	399,9	0,3	13,7	2	1,3	25,0	5	1,6	30,9	5
		0,023	406,5	0,3	6,4	5	0,6	10,8	6	0,7	12,1	6
	575/∞	-0,053	399,8	0,4	13,5	3	1,2	23,8	5	1,2	27,8	4

Gewas: gras

Profiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ weg- zijging (cm.d ⁻¹)	Grondwatertrappen				Waterafvoer (mm)			
			1	2	3	4	1	2	3	4
zVqzVz	120/∞	0,023	VI(69/140)	VI(69/139)	VI(69/138)	VI(69/137)	77,4	77,4	77,5	77,9
		0,063	IV(61/117)	IV(61/116)	IV(61/116)	IV(61/116)	129,9	130,1	130,4	130,4
	260/∞	0,0	VI(63/160)	VI(63/159)	VI(63/158)	VI(62/157)	50,2	50,6	51,0	51,9
		0,023	VI(58/138)	VI(58/137)	VI(57/136)	VI(58/136)	76,4	76,5	76,3	76,9
		0,063	IV(52/113)	IV(52/112)	IV(52/112)	IV(52/112)	125,8	125,9	126,2	126,2
		-0,053	VI(78/196)	VI(77/194)	VI(77/192)	VI(76/191)	15,0	15,0	15,1	15,1
	575/∞	0,0	VI(56/157)	VI(56/154)	VI(55/153)	VI(56/152)	50,2	50,2	50,3	50,4
		0,023	IV(66/117)	IV(66/117)	IV(66/117)	IV(66/117)	94,0	94,0	94,1	94,1
		0,0	VI(61/128)	VI(61/128)	VI(61/128)	VI(61/128)	60,2	60,2	60,2	60,2
		0,023	IV(56/112)	IV(56/112)	IV(56/112)	IV(56/112)	92,5	92,5	92,5	92,5
		0,063	IV(52/103)	IV(52/103)	IV(52/103)	IV(52/103)	160,4	160,4	160,4	160,4
		0,0	VI(54/125)	VI(54/125)	VI(54/125)	VI(54/125)	60,4	60,3	60,4	60,4
aVs	575/∞	0,065	IV(49/88)	IV(49/88)	IV(49/88)	IV(49/88)	152,7	152,7	152,7	152,7
		0,023	IV(53/104)	IV(53/104)	IV(53/104)	IV(53/104)	89,5	89,5	89,5	89,5
	1250/360	0,023	IV(53/104)	IV(53/104)	IV(53/104)	IV(53/104)	89,5	89,5	89,5	89,5
		0,0	VI(77/153)	VI(76/147)	VI(75/141)	VI(75/137)	53,7	56,7	58,7	61,9
	120/∞	0,023	VI(70/132)	VI(70/127)	VI(70/124)	VI(70/123)	81,6	83,1	85,0	87,0
		0,023	VI(71/130)	VI(70/126)	VI(70/123)	VI(70/122)	81,0	82,5	83,9	85,8
	260/110	0,063	IV(66/108)	IV(66/107)	IV(66/107)	IV(65/107)	134,7	136,8	138,1	139,1
		-0,024	VI(73/170)	VI(72/164)	VI(70/157)	VI(69/154)	30,9	32,3	35,5	38,1
		0,0	VI(64/151)	VI(64/144)	VI(63/140)	VI(63/138)	53,2	55,5	57,6	59,3
		0,023	VI(59/128)	VI(59/124)	VI(59/122)	VI(59/121)	80,6	81,9	83,3	84,0
hVqhVz	260/∞	0,063	IV(55/106)	IV(55/104)	IV(55/105)	IV(55/104)	134,4	136,3	136,9	137,1
		0,0	VI(70/151)	VI(70/145)	VI(70/140)	VI(69/137)	53,5	55,8	57,3	59,8
		0,063	IV(61/106)	IV(61/104)	IV(61/104)	IV(61/104)	131,9	133,6	135,5	137,5
	575/110	-0,053	VII*(85/192)	VII*(83/188)	VI(78/179)	VI(78/176)	15,6	17,1	18,6	19,9
		0,023	VI(58/128)	VI(58/123)	VI(57/121)	IV(58/120)	79,9	81,4	82,7	83,3
	575/360	-0,053	VI(80/191)	VI(78/187)	VI(73/178)	VI(73/177)	15,2	16,4	18,1	19,1
		0,023	VI(80/191)	VI(78/187)	VI(73/178)	VI(73/177)	15,2	16,4	18,1	19,1
		0,023	VI(80/191)	VI(78/187)	VI(73/178)	VI(73/177)	15,2	16,4	18,1	19,1
		0,023	VI(80/191)	VI(78/187)	VI(73/178)	VI(73/177)	15,2	16,4	18,1	19,1
	575/∞	-0,053	VI(80/191)	VI(78/187)	VI(73/178)	VI(73/177)	15,2	16,4	18,1	19,1

Bijlage A vervolg

Gewas: gras ($T_p = 430-435$ mm)

Pro- fiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ weg- zijging (cm.d ⁻¹)	T_{cons} (mm)	$\Delta T_{0,75}$ (mm)	$a_{0,75}$ (mm)	$e_{0,75}$ (%)	$\Delta T_{1,5}$ (mm)	$a_{1,5}$ (mm)	$e_{1,5}$ (%)	$\Delta T_{2,5}$ (mm)	$a_{2,5}$ (mm)	$e_{2,5}$ (%)
hVchVz	575/∞	0,0	403,9	0,1	7,5	1	0,4	11,4	4	0,4	12,0	3
		0,023	405,9	0,2	5,7	4	0,4	8,3	5	0,4	8,5	5
		0,063	409,2	0,4	3,0	13	0,4	3,6	11	0,4	3,6	11
	1250/360	0,063	409,0	0,5	4,1	12	0,9	5,5	16	0,9	5,5	16
	1250/∞	0,0	404,3	0,0	6,4	–	0,2	7,8	3	0,1	7,7	1
	13000/∞	0,023	486,8	0,0	2,6	–	0,0	2,6	–	0,0	2,6	–
cY23	260/360	0,023	429,8	1,0	13,7	7	1,9	23,7	8	2,5	30,2	8
	575/∞	-0,024	426,4	1,4	22,3	6	2,1	33,7	6	2,0	34,9	6

Gewas: gras

Profiel- type	Drainage- weerstand (d)	Kwel/ weg- zijing (cm.d ⁻¹)	Grondwatertrappen				Waterafvoer (mm)			
			1	2	3	4	1	2	3	4
hVchVz	575/∞	0,0	VI(57/147)	VI(57/142)	VI(57/139)	VI(57/139)	52,3	54,6	55,7	56,4
		0,023	VI(54/126)	VI(54/121)	IV(54/120)	IV(54/120)	79,4	80,6	81,5	81,4
		0,063	IV(50/100)	IV(50/100)	IV(50/100)	IV(50/100)	130,9	132,1	132,3	132,3
	1250/360	0,063	IV(51/102)	IV(51/100)	IV(51/100)	IV(51/100)	131,7	133,1	133,5	133,4
	1250/∞	0,0	VI(54/145)	VI(55/140)	VI(55/139)	VI(55/139)	51,4	53,4	54,1	54,0
	13000/∞	0,023	VI(55/121)	IV(51/120)	IV(51/120)	IV(51/120)	75,8	77,6	77,6	77,6
cY23	260/360	0,023	VI(69/129)	VI(69/124)	VI(69/121)	IV(68/119)	70,7	75,0	77,6	80,2
	575/∞	-0,024	VI(69/149)	VI(64/139)	VI(63/135)	VI(64/135)	27,0	29,3	32,3	32,7

Bijlage B

VOORBEELDEN VAN JAARLIJKSE BEREKENINGSRESULTATEN

Toelichting

- voor beschrijving van profieltypen, zie BANNINK en STOFFELSEN (1984)
- voor drainageweerstand worden twee waarden opgegeven
 - 1e getal: drainageweerstand oppervlaktewaterstelsel
 - 2e getal: drainageweerstand drainageselsel. Indien \$ 99, dan
geen draina aanwezig
- kwel/wegzijging: positief getal is kwel
negatief getal is wegzijging
- grondwatertrap: volgens Stiboka classificatie, bepaald uit het
gemiddelde van de 3 hoogste, respectievelijk
3 laagste grondwaterstanden die per jaar zijn
berekend bij een sampling interval van 14 dagen
(HG3 resp. LG3)
- algemeen: getallen met \$-teken betekent geen waarde voor
ingevoerd c.q. berekend.

PROFIELTYPE

AVZVZ

PROFIELTYPE

AVZVZ

DRAINAGEWEERSTAND

260 / 110 D

DRAINDIEPTÉ

100 CM

KWEL/WEGTOEGING

0.023 CM/D

GEWAS

GRAS

WATERBEHEER

CONSERVERING EN

AANVOER, ACAP= 0.150 CM/D

LANGJARIG GEMIDDELDE WAARDEN 1954-1983 OVER HET GROEISEIZOEN BIJ CONSERVERING EFFEKT AANVOER

POTENTIELE EVAPOTRANSPIRATIE (CPTRA) : 43.40 CM
AKTUELE EVAPOTRANSPIRATIE (CTRA) : 41.54 CM 41.21 CM 0.33 CM
GRONDWATERTRAP (HG3/LG3) : VI (70/122)
OPBRENGSTDEPRESSIE TGV. WATEROVERLAST : 0 %
WATERAANVOER (CAVOER) : 2.57 CM
WATERAFVOER (CAFVOER) : 8.62 CM 7.66 CM 0.96 CM

	JAAR	CPTRA	CTRA	RTSPR	RTAUT	CORTRA	HG3	LG3	CAVOER	CBEREG	CAFVOER	JAAR
1	1954	40.883	39.741	\$500000	\$500000	\$500000	-67.	-111.	1.051	\$500000	15.030	1954
2	1955	41.297	40.350	\$500000	\$500000	\$500000	-78.	-118.	4.843	\$500000	1.676	1955
3	1956	36.039	35.880	\$500000	\$500000	\$500000	-68.	-133.	0.000	\$500000	9.878	1956
4	1957	45.495	42.561	\$500000	\$500000	\$500000	-51.	-121.	4.201	\$500000	19.339	1957
5	1958	39.295	39.106	\$500000	\$500000	\$500000	-79.	-100.	0.000	\$500000	10.005	1958
6	1959	53.876	45.582	\$500000	\$500000	\$500000	-83.	-142.	6.633	\$500000	0.236	1959
7	1960	43.387	41.356	\$500000	\$500000	\$500000	-68.	-117.	5.250	\$500000	12.940	1960
8	1961	42.719	41.565	\$500000	\$500000	\$500000	-69.	-110.	2.100	\$500000	14.908	1961
9	1962	37.896	37.663	\$500000	\$500000	\$500000	-77.	-111.	1.050	\$500000	12.292	1962
10	1963	39.175	38.555	\$500000	\$500000	\$500000	-89.	-125.	0.000	\$500000	6.282	1963
11	1964	45.827	44.846	\$500000	\$500000	\$500000	-78.	-145.	1.050	\$500000	1.164	1964
12	1965	41.618	40.741	\$500000	\$500000	\$500000	-63.	-124.	0.000	\$500000	20.052	1965
13	1966	47.260	46.282	\$500000	\$500000	\$500000	-69.	-116.	2.101	\$500000	8.933	1966
14	1967	50.283	47.404	\$500000	\$500000	\$500000	-74.	-128.	1.051	\$500000	6.113	1967
15	1968	43.441	44.998	\$500000	\$500000	\$500000	-61.	-112.	0.000	\$500000	13.881	1968
16	1969	42.632	40.837	\$500000	\$500000	\$500000	-67.	-124.	1.051	\$500000	8.918	1969
17	1970	42.654	38.546	\$500000	\$500000	\$500000	-83.	-122.	2.100	\$500000	10.505	1970
18	1971	49.391	47.330	\$500000	\$500000	\$500000	-87.	-134.	8.401	\$500000	0.044	1971
19	1972	42.469	42.297	\$500000	\$500000	\$500000	-67.	-124.	0.000	\$500000	13.566	1972
20	1973	42.267	41.444	\$500000	\$500000	\$500000	-68.	-123.	2.101	\$500000	2.080	1973
21	1974	45.444	45.001	\$500000	\$500000	\$500000	-64.	-140.	1.050	\$500000	0.087	1974
22	1975	47.786	45.368	\$500000	\$500000	\$500000	-63.	-128.	2.689	\$500000	7.192	1975
23	1976	53.610	41.897	\$500000	\$500000	\$500000	-79.	-131.	13.121	\$500000	0.389	1976
24	1977	40.347	39.608	\$500000	\$500000	\$500000	-63.	-119.	3.151	\$500000	8.312	1977
25	1978	40.116	39.162	\$500000	\$500000	\$500000	-75.	-121.	1.050	\$500000	2.229	1978
26	1979	34.123	34.042	\$500000	\$500000	\$500000	-71.	-115.	0.000	\$500000	13.699	1979
27	1980	38.680	38.038	\$500000	\$500000	\$500000	-52.	-115.	3.969	\$500000	17.296	1980
28	1981	40.519	40.383	\$500000	\$500000	\$500000	-59.	-138.	0.000	\$500000	0.502	1981
29	1982	44.737	42.864	\$500000	\$500000	\$500000	-89.	-116.	4.108	\$500000	0.540	1982
30	1983	46.831	40.721	\$500000	\$500000	\$500000	-58.	-122.	4.989	\$500000	18.450	1983
	JAAR	CPTRA	CTRA	RTSPR	RTAUT	CORTRA	HG3	LG3	CAVOER	CBEREG	CAFVOER	JAAR

PROFIEL TYPE : HN21
DRAINAGEWEERSTAND : 60. / 500 D
KVEL/WEGZIJGING : 0.024 CM/D
GEWAS : AARDAPPELEN
PEILBEHEER : ALLEEN CONSERVERING

LANGJARIG GEMIDDELDE WAARDEN 1954-1983 OVER HET GROEISEIZOEN

POTENTIELE GEWASVERDAMPING (CPTRA) : 30.63 CM
AKTUELE GEWASVERDAMPING (CTRA) : 27.60 CM
VOORJAARSKORREKTIE (RTSPR) : 0.03 CM
NAJAARSKORREKTIE (RTAUT) : 0.00 CM
GEKORRIGEERDE GEWASVERDAMPING (CORTA) : 27.57 CM
GRONDWATERTRAP (HG3/LG3) : VII (83/140)
WATERAANVOER (CAVOER) : 0.00 CM
WATERAFVOER (CAFVOER) : 6.92 CM

	JAAR	CPTRA	CTRA	RTSPR	RTAUT	CORTA	HG3	LG3	CAVOER	CBEREG	CAFVOER	JAAR
1	1954	26.421	26.325	0.000	0.000	26.325	-88.	-115.	0.000	\$500000	8.850	1954
2	1955	32.706	28.294	0.000	0.000	28.294	-88.	-149.	0.000	\$500000	6.157	1955
3	1956	24.872	24.816	0.000	0.000	24.816	-85.	-119.	0.000	\$500000	6.893	1956
4	1957	28.898	28.195	0.000	0.000	28.195	-85.	-131.	0.000	\$500000	7.410	1957
5	1958	28.466	28.442	0.000	0.000	28.442	-87.	-128.	0.000	\$500000	6.029	1958
6	1959	39.840	27.071	0.000	0.000	27.071	-88.	-159.	0.000	\$500000	2.587	1959
7	1960	26.551	26.260	0.000	0.000	26.260	-79.	-139.	0.000	\$500000	2.314	1960
8	1961	27.798	27.129	0.000	0.000	27.129	-74.	-129.	0.000	\$500000	6.368	1961
9	1962	28.332	28.301	0.000	0.000	28.301	-81.	-137.	0.000	\$500000	8.148	1962
10	1963	29.688	28.470	0.000	0.000	28.470	-92.	-138.	0.000	\$500000	5.157	1963
11	1964	34.004	29.688	0.000	0.000	29.688	-94.	-154.	0.000	\$500000	2.641	1964
12	1965	29.267	28.523	0.000	0.000	28.523	-75.	-131.	0.000	\$500000	16.247	1965
13	1966	32.206	32.154	0.000	0.000	32.154	-80.	-145.	0.000	\$500000	7.163	1966
14	1967	33.339	30.373	0.000	0.000	30.373	-79.	-148.	0.000	\$500000	9.934	1967
15	1968	31.114	31.004	0.000	0.028	30.976	-80.	-129.	0.000	\$500000	8.587	1968
16	1969	32.398	28.563	0.000	0.000	28.563	-88.	-137.	0.000	\$500000	8.063	1969
17	1970	34.535	30.891	0.000	0.000	30.891	-84.	-145.	0.000	\$500000	7.878	1970
18	1971	33.667	28.996	0.000	0.000	28.996	-95.	-153.	0.000	\$500000	0.406	1971
19	1972	30.096	29.613	0.000	0.000	29.613	-83.	-141.	0.000	\$500000	7.332	1972
20	1973	30.695	27.199	0.000	0.000	27.199	-88.	-149.	0.000	\$500000	4.471	1973
21	1974	29.917	28.979	0.000	0.000	28.979	-79.	-146.	0.000	\$500000	0.279	1974
22	1975	34.906	27.323	0.000	0.000	27.323	-83.	-150.	0.000	\$500000	8.129	1975
23	1976	40.760	24.322	0.000	0.000	24.322	-99.	-158.	0.000	\$500000	0.000	1976
24	1977	27.177	25.484	0.000	0.000	25.484	-78.	-147.	0.000	\$500000	9.594	1977
25	1978	27.383	27.205	0.000	0.000	27.205	-87.	-139.	0.000	\$500000	3.397	1978
26	1979	24.917	24.766	0.000	0.000	24.766	-83.	-131.	0.000	\$500000	11.150	1979
27	1980	24.151	22.720	0.000	0.000	22.720	-74.	-128.	0.000	\$500000	14.228	1980
28	1981	26.160	26.010	0.000	0.000	26.010	-65.	-139.	0.000	\$500000	4.637	1981
29	1982	31.161	26.797	0.000	0.000	26.797	-91.	-147.	0.000	\$500000	2.949	1982
30	1983	37.389	24.088	1.021	0.000	23.067	-65.	-152.	0.000	\$500000	20.633	1983
	JAAR	CPTRA	CTRA	RTSPR	RTAUT	CORTA	HG3	LG3	CAVOER	CBEREG	CAFVOER	JAAR

PROFIELTYPE

PROFIELTYPE HN21
DRAINAGEWEERSTAND 260. /499 D
KWEL/WEZIJING - 024 CM/D
GEWAS AARDAPPELEN
PEILBEHEER CONSERVERING EN AANVOER, ACAP= 0.150 CM/D

LANGJARIG GEMIDDELDE WAARDEN 1954-1983 OVER HET GROEISEIZOEN BIJ CONSERVERING EFFECT AANVOER

POTENTIELE GEWASVERDAMPING (CPTRA)	: 30.63 CM		
AKTUELE GEWASVERDAMPING (CTRA)	: 28.36 CM	27.60 CM	0.76 CM
VOORJAARSKORREKTIE (RTSPR)	: 0.00 CM	0.03 CM	
NAJAARSKORREKTIE (RTAUT)	: 0.01 CM	0.00 CM	
GEKORRIGEERDE GEWASVERDAMPING (CORTRA)	: 28.35 CM	27.56 CM	0.79 CM
GRONDWATERTRAP (HG3/LG3)	: VII (82/130)		
WATERAANVOER (CAVOER)	: 4.02 CM		
WATERAFVOER (CAFVOER)	: 7.71 CM	6.92 CM	0.78 CM

	JAAR	CPTRA	CTRA	RTSPR	RTAUT	CORTRA	HG3	LG3	CAVOER	CBEREQ	CAFVOER	JAAR
1	1954	26.421	26.325	0.000	0.000	26.325	-88.	-115.	0.000	\$500000	8.830	1954
2	1955	32.706	29.523	0.000	0.000	29.523	-88.	-132.	6.608	\$500000	6.672	1955
3	1956	24.872	24.803	0.000	0.000	24.803	-84.	-113.	0.944	\$500000	7.522	1956
4	1957	28.898	28.230	0.000	0.048	28.182	-80.	-117.	3.565	\$500000	9.396	1957
5	1958	28.467	28.434	0.000	0.000	28.434	-86.	-120.	2.100	\$500000	6.869	1958
6	1959	39.840	29.802	0.000	0.000	29.802	-88.	-143.	8.046	\$500000	3.099	1959
7	1960	26.551	26.492	0.000	0.000	26.492	-76.	-125.	1.050	\$500000	3.870	1960
8	1961	27.798	27.183	0.000	0.000	27.183	-72.	-118.	3.712	\$500000	7.762	1961
9	1962	28.332	28.288	0.000	0.000	28.288	-80.	-120.	5.145	\$500000	10.045	1962
10	1963	29.688	28.900	0.000	0.000	28.900	-93.	-126.	5.005	\$500000	7.102	1963
11	1964	34.004	32.552	0.000	0.000	32.552	-95.	-136.	8.643	\$500000	3.637	1964
12	1965	29.267	28.526	0.000	0.000	28.526	-75.	-131.	0.000	\$500000	16.523	1965
13	1966	32.206	32.168	0.000	0.000	32.168	-78.	-137.	3.430	\$500000	7.480	1966
14	1967	33.339	31.600	0.000	0.000	31.600	-78.	-129.	7.233	\$500000	10.602	1967
15	1968	31.114	31.006	0.000	0.213	30.793	-79.	-126.	1.157	\$500000	8.854	1968
16	1969	32.398	28.858	0.000	0.000	28.858	-88.	-128.	4.561	\$500000	9.669	1969
17	1970	34.535	32.421	0.000	0.000	32.421	-83.	-129.	6.193	\$500000	8.926	1970
18	1971	33.667	31.105	0.000	0.000	31.105	-95.	-141.	6.155	\$500000	0.705	1971
19	1972	30.096	29.617	0.000	0.000	29.617	-82.	-142.	0.232	\$500000	9.987	1972
20	1973	30.695	28.708	0.000	0.000	28.708	-88.	-137.	5.100	\$500000	4.614	1973
21	1974	29.917	29.541	0.000	0.000	29.541	-76.	-137.	3.468	\$500000	0.512	1974
22	1975	34.906	29.375	0.000	0.000	29.375	-82.	-137.	5.947	\$500000	8.459	1975
23	1976	40.760	27.370	0.000	0.000	27.370	-99.	-140.	8.531	\$500000	0.242	1976
24	1977	27.177	25.799	0.000	0.000	25.799	-76.	-128.	7.236	\$500000	10.713	1977
25	1978	27.383	27.278	0.000	0.000	27.278	-86.	-132.	2.564	\$500000	4.236	1978
26	1979	24.917	24.767	0.000	0.000	24.767	-82.	-129.	0.943	\$500000	11.562	1979
27	1980	24.151	22.704	0.000	0.000	22.704	-74.	-128.	0.000	\$500000	14.255	1980
28	1981	26.160	26.083	0.000	0.000	26.083	-65.	-134.	1.553	\$500000	4.874	1981
29	1982	31.161	27.594	0.000	0.000	27.594	-91.	-136.	5.161	\$500000	3.336	1982
30	1983	37.389	25.799	0.000	0.000	25.799	-66.	-136.	6.379	\$500000	20.803	1983
	JAAR	CPTRA	CTRA	RTSPR	RTAUT	CORTRA	HG3	LG3	CAVOER	CBEREQ	CAFVOER	JAAR