

Rapport nr. 1989 ^{II}

**KWANTIFICERING VAN HET VOCHTTEKORT BIJ ENKELE
AKKERBOUWGEWASSEN OP GRONDEN GELEGEN IN DE BRAAK-
MANPOLDER (ZEELAND)**

B. Kruiger
H.A.J. van Lanen
G.A. van Soesbergen

1987 NOV 21 11:11

32 1000

opdracht nr.

0001 - 001

1987 NOV 21

1987 NOV 21

voor de landbouwproductie van de

landen die in de polder

van de Braakmanpolder

van de Braakmanpolder

van de Braakmanpolder

van de Braakmanpolder

Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 1987

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0542 9754

12 NOV. 1987

JSN 263710 *

	Blz.	
1	ALGEMEEN	11
1.1	Inleiding	11
1.2	Het doel van deze studie	11
1.3	Werkwijze	13
1.4	Opbouw van het rapport	13
2	BESCHRIJVING VAN HET MODEL	15
2.1	Inleiding	15
2.2	De rekenprocedure	15
3	DE INVOERGEGEVENS	17
3.1	Algemeen	17
3.2	De meteorologische gegevens en de gewasgege- vens	18
3.3	De bodemkundige gegevens	21
3.3.1	Keuze en beschrijving van bodemprofielen	21
3.3.2	De bodemfysische gegevens	23
3.3.2.1	Algemeen	23
3.3.2.2	De vocht karakteristieken	23
3.3.2.3	De doorlaat karakteristieken	24
3.4	De hydrologische gegevens	28
4	RESULTATEN VAN DE BEREKENINGEN	31
4.1	Vochttekorten in de actuele situatie	31
4.1.1	Inleiding	31
4.1.2	De langjarig gemiddelde vochttekorten	31
4.1.3	Vochttekorten bij aardappelen, granen en sui- kerbieten	33
4.1.4	Frequentieverdeling van de berekende vochtte- korten	35
4.2	Vochttekorten voor potentiële situaties	37
4.2.1	Inleiding	37
4.2.2	Vochttekorten bij een geringe verhoging van de grondwaterstand	37
4.2.3	Vochttekorten bij een grotere verhoging van de grondwaterstand	40
4.2.4	Berekening	42
4.2.4.1	Inleiding	42
4.2.4.2	Berekeningsgift en resterend vochttekort	43
4.2.4.3	Berekening van enkele gronden in het jaar 1983	45
4.3	Bewerkbaarheid in actuele en potentiële situa- ties voor twee profielen	47
5	BETROUWBAARHEID VAN DE RESULTATEN	51
5.1	Inleiding	51
5.2	Uitvoering van de gevoeligheidsanalyse	51
5.3	De bodemkundige en bodemfysische gegevens	52
5.3.1	De variabiliteit binnen een kaarteenheden	52
5.3.2	Het optreden van hysteresis	54
5.3.3	Doorlaat karakteristieken	56

	Blz.	
5.3.4	Variabele bewortelingsdiepte	58
5.4	De meteorologische gegevens	60
5.4.1	De gewasverdampingsfactor	60
5.4.2	Het verdampingsreductiepunt	61
5.5	De hydrologische gegevens	63
5.5.1	De slootdiepte	63
5.5.2	De afvoerrelatie	64
6	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	67
7	LITERATUUR	71
	TABELLEN	
1	Gewasverdampingsfactoren (f) voor aardappelen, granen en suikerbieten van 1 april tot 30 september Bron: LAGO (landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking), 1984	20
2	Bodemkundige gegevens van de 8 profielen	22
3	Bewortelingsdiepte voor aardappelen, granen en suikerbieten	22
4	Meerdere kritieke stijgafstanden (Z_k) bij een capillaire stijgsnelheid van 2 mm/dag van kleiarm, matig fijn zand (1), kleilig, zeer fijn zand (2) en zeer lichte zavel (3)	26
5	De doorlaatkarakteristieken (K-h relaties) die bij de berekening van de vochttekorten werden gebruikt	27
6	Kritieke stijgafstanden (Z_k) voor de 8 profielen	28
7	Grondwatertrap en rekenwaarde voor gemiddelde hoogste (GHG), gemiddelde voorjaars- (GVG) en gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG)	29
8	Langjarig gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) voor aardappelen, granen en suikerbieten op 8 profielen in de actuele situatie	32
9	Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen (A) en procenten (B) in de situatie voor aardappelen	36
10	Langjarig gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) voor aardappelen, granen en suikerbieten op 8 profielen bij een grondwaterstandsverhoging van 25 à 30 cm t.o.v. de actuele situatie (190 cm - mv.)	38
11	Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen (A) en procenten (B) bij een grondwaterstandsverhoging van 25 à 30 cm t.o.v. de actuele situatie	39
12	Langjarig gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) voor aardappelen, granen en suikerbieten op 8 profielen bij een grondwaterstandsverhoging van 55 à 70 cm t.o.v. de actuele situatie (190 cm - mv.)	40

	Blz.	
13	Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen (A) en procenten (B) bij een grondwaterstandsverhoging van 55 à 70 cm t.o.v. de actuele situatie	41
14	Langjarig gemiddeld resterend vochttekort (mm) bij aardappelen, de gemiddelde beregeningshoeveelheden (drempelwaarde $h = -1000$ cm) en het vochttekort in de actuele situatie (Gt VII) en de standaardafwijking voor de vochttekorten (s)	43
15	Langjarig gemiddeld resterend vochttekort (mm) bij aardappelen, de gemiddelde beregeningshoeveelheden (drempelwaarde $h = -500$ cm) en het vochttekort in de actuele situatie (Gt VII) en de standaardafwijking voor de vochttekorten (s)	44
16	Drukhoogten in cm in de wortelzone van aardappelen van 4 profielen in 18 decaden van het groeiseizoen 1983 waarin 20 mm per decade beregend wordt als de drukhoogte kleiner wordt dan $h = -1000$ cm ($pF > 3,0$)	46
17	Drukhoogten in cm in de wortelzone van aardappelen van 4 profielen in 18 decaden van het groeiseizoen 1983 waarin 20 mm per decade beregend wordt als de drukhoogte kleiner wordt dan $h = -500$ cm ($pF > 2,7$)	47
18	Gemiddeld en maximum vochttekort (30 jaar) en standaardafwijking (s) voor de 4 profielen P1, P2, P3 en P4 van Mn12aA en het gemiddelde Mn12aA profiel (Ps)	53
19	Langjarig gemiddelde vochttekorten (mm) en standaardafwijking (s) bij een waarde van de hysteresefactor van 0,5 en 0,0 (de referentiewaarde)	55
20	De doorlaatkarakteristieken (K-h relaties) die bij de gevoeligheidsanalyse werden gebruikt bij aardappelen	56
21	Langjarig gemiddelde vochttekorten (mm) en standaardafwijking (s) bij verandering van de doorlaatkarakteristieken volgens tabel 20	57
22	Kritieke stijgafstanden (in cm) zoals berekend ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse en zo-als berekend ten behoeve van de referentiebe-rekening	57
23	Vochttekorten in mm van een plaatgrond (Mn12bA) voor de jaren 1970-1984 bij een gefaseerde bewortelingsdiepte voor het gewas aardappelen A: 18 decaden met 45 cm bewortelingsdiepte; B: 8 decaden met 45 cm bewortelingsdiepte; C: 8 decaden met 30 cm bewortelingsdiepte; D: 8 decaden met 30 cm plus 10 decaden met 45 cm bewortelingsdiepte	59
24	Langjarig gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) bij verhoging van de gewasverdampingsfactor met 0.1	61

25	Langjarig gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) in mm voor granen bij verlaging van het verdampingsreductiepunt van $h = -500$ cm naar $h = -1000$ cm	61
26	Langjarig gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) bij een slootdiepte van 140 cm en een slootdiepte van 120 cm (referentiewaarde)	64
27	Langjarige gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) bij een maximale afvoer van 8 mm per dag en 10 mm per dag (referentiewaarde)	65

FIGUREN

1	Ligging van de gekarteerde bedrijven in de Braakmanpolder	12
2	Schematische voorstelling van de invoergegevens	17
3a	Neerslagsom per groeiseizoen en de gemiddelde neerslag (mm) over de periode 1955-1985	19
3b	Potentiële verdampingssom van het gewas aardappelen per groeiseizoen en de gemiddelde potentiële verdamping (in mm) over de periode 1955-1985	19
4	De potentiële verdamping in mm per decade voor aardappelen, granen en suikerbieten voor het groeiseizoen van 1984	20
5	Vochtcharacteristieken van: kleiarm, matig fijn zand (1); kleiig, zeer fijn zand (2) en zeer lichte zavel (3)	24
6	Doorlaatcharacteristieken (K-h relaties) van: kleiarm, matig fijn zand (1); kleiig zeer fijn zand (2) en zeer lichte zavel (3) plus de berekende stijgafstand (Z_k) van iedere doorlaatcharacteristiek	25
7	De relatie tussen de flux door de onderkant van de onverzadigde zone en de grondwaterstand (Van Lanen 1981, 1)	29
8	Het gemiddelde percentage dagen per decade bij drie ontwateringstoestanden dat een plaatgrond Mn12bA onbewerkbaar is	49
9	Het gemiddelde percentage dagen per decade bij drie ontwateringstoestanden dat een zavelgrond Mn15aA onbewerkbaar is	49
10	De profielen P1, P2, P3 en P4 waaruit het gemiddelde profiel Mn12aA (PS) is opgebouwd	53
11	Hysteresis: de vochtcharacteristiek is bij absorptie anders dan bij desorptie: a. Primaire curven van één grondmonster (d geeft afstand tussen beide curven weer); b. curven bij afwisselend indrogen en bevochtigen. Bron: Sluijs, P. van der, 1985b	54

- 12 Schema van de berekeningswijze met gefaseerde bewortelingsdiepte; A: 18 decaden met 45 cm bewortelingsdiepte; B: 8 decaden met 45 cm bewortelingsdiepte; C: 8 decaden met 30 cm bewortelingsdiepte; D: 8 decaden met 30 cm plus 10 decaden met 45 cm bewortelingsdiepte 58
- 13 De twee relaties tussen de verhouding E_a/E_p en de drukhoogte in cm (pF) 62

BIJLAGEN

- 1 Neerslag- en potentiële verdampingssommen (in mm) per groeiseizoen (1 april t/m 30 september) voor aardappelen, granen en suikerbieten over de periode 1955-1985
- 2 Vocht karakteristieken en doorlaat karakteristieken welke werden gebruikt voor de gemiddelde profielen bij een bewortelde zone van 45 cm (gewas: aardappelen)
- 3 Vocht karakteristieken en doorlaat karakteristieken welke werden gebruikt voor de gemiddelde profielen bij een bewortelde zone variërend van 60-100 cm (gewassen: granen en suikerbieten)
- 4 Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie met een grondwatertrap VII (GVG = 135 cm en GLG = 190 cm - mv.)
- 5 Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie met een grondwatertrap VI (GVG = 110 cm en GLG = 160 cm - mv.)
- 6 Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie met een grondwatertrap IV (GVG = 80 cm en GLG = 120 cm - mv.)
- 7 Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie van berekening bij $pF > 2,7$; het betreft hier resterende vochttekorten
- 8 Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie van berekening bij $pF > 3,0$; het betreft hier resterende vochttekorten
- 9 Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie na verandering van de hysteresefactor volgens 5.3.2
- 10 Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen na verandering van K-h relaties volgens 5.3.3
- 11 Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie na verhoging van de gewasverdampingsfactor volgens 5.4.1
- 12 Overzicht van de rekenuitkomsten bij granen voor de situatie na verandering van het verdampingsreductiepunt volgens 5.4.2
- 13 Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie na verandering van de slootdiepte volgens 5.5.1

- 14 Overzicht van de rekenuitkomsten bij aard-appelen voor de situatie met lagere maximale afvoer volgens 5.5.2
- 15 Overzicht van de rekenuitkomsten bij granen voor de situatie met een grondwatertrap VII (GVG = 135 cm en GLG = 190 cm - mv.)
- 16 Overzicht van de rekenuitkomsten bij granen voor de situatie met een grondwatertrap VI (GVG = 110 cm en GLG = 160 cm - mv.)
- 17 Overzicht van de rekenuitkomsten bij granen voor de situatie met een grondwatertrap IV (GVG = 80 cm en GLG = 120 cm - mv.)
- 18 Overzicht van de rekenuitkomsten bij suikerbieten voor de situatie met een grondwatertrap VII (GVG = 135 cm en GLG = 190 cm - mv.)
- 19 Overzicht van de rekenuitkomsten bij suikerbieten voor de situatie met een grondwatertrap VI (GVG = 110 cm en GLG = 160 cm - mv.)
- 20 Overzicht van de rekenuitkomsten bij suikerbieten voor de situatie met een grondwatertrap IV (GVG = 80 cm en GLG = 120 cm - mv.)
- 21 Overzicht van de rekenuitkomsten die gemaakt zijn voor de watergiften die nodig zijn wanneer berekend wordt wanneer de drukhoogte-waarden lager dan $h = -500$ cm zijn
- 22 Overzicht van de rekenuitkomsten die gemaakt zijn voor de watergiften die nodig zijn wanneer berekend wordt wanneer de drukhoogte-waarden lager dan $h = -1000$ cm zijn

1 ALGEMEEN

1.1 Inleiding

In het kader van een vernieuwde aanpak voor het bodemgeschiktheidsonderzoek bij STIBOKA (Werksysteem Interpretatie Bodemkundige gegevens, stadium - D, WIB-D) is o.a. het bestuderen en met name het computermatig kwantificeren van vochttekorten cq. vochtleveranties van bodemeenheden een belangrijk aandachtspunt. Hoewel de interesse hierbij in eerste instantie uitgaat naar het optredende vochttekort van een bodemeenheid zoals men die in het veld aantreft, wordt tevens bijzondere aandacht besteed aan het effect van een ingreep zoals bijv. verhoging of verlaging van de grondwaterspiegel op de watervoorziening van het gewas. Een goede gelegenheid om op bedrijfsniveau aan dit onderzoek te werken deed zich voor naar aanleiding van een recent uitgevoerd bedrijfskarteringsproject. Voor dit project werd nl. een deel van de Braakmanpolder in Zeeland (335 ha) gekarteerd en op de gangbare wijze beoordeeld op bodemgeschiktheid voor akkerbouw (Dekkers e.a., 1986). In figuur 1 is een situatieschets van het gekarteerde gebied gegeven. Voor deze gronden werden, in aansluiting op het bedrijfskarteringsonderzoek, met behulp van een simulatiemodel de vochttekorten berekend over een langjarige periode voor enkele veel voorkomende akkerbouwgewassen, nl. aardappelen, granen en suikerbieten.

1.2 Doel van het onderzoek

In de eerste plaats is het doel van dit onderzoek om per bodemeenheid te berekenen hoeveel vocht enkele akkerbouwgewassen (aardappelen, granen en suikerbieten) onder werkelijke omstandigheden (actuele situatie) tekort komen (het vochttekort). In de tweede plaats is het doel om zo nauwkeurig mogelijk de grootte van het effect van een verbeteringsmaatregel(en) op de grootte van het vochttekort te kwantificeren. De verbeteringsmaatregelen bestaan uit:

- het verhogen van de grondwaterspiegel in de polder,
- het toepassen van beregening.

Het laatste, maar niet onbelangrijkste doel is het bestuderen van de juistheid van enkele aannamen die bij de toepassing van het model worden gedaan door middel van een gevoeligheidsanalyse. Met de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse kunnen de resultaten enigszins worden genuanceerd.



Figuur 1 Ligging van de gekarteerde bedrijven in de Braakmanpolder

1.3 Werkwijze

Begonnen werd met het FORMULEREN van de DOELSTELLING zoals in 1.2 werd gepresenteerd. Daarbij werd vooropgesteld dat deze diende te passen in het in 1.1 geschetste kader. Vervolgens werd nagegaan welke GEGEVENS nodig waren voor de simulatieberekening. In de eerste plaats werd een langjarige reeks van neerslag- en openwaterverdampingscijfers verzameld en ingevoerd in de computer. Daarna werden, op grond van de al voorhanden zijnde bodemkundige informatie, uit de literatuur de bodemfysische gegevens (vocht- en doorlaatkarakteristieken) vastgesteld. Daarbij bleek dat aanvullende informatie van enkele gronden uit de polder noodzakelijk was zodat van een viertal monsters van de ondergrond alsnog vochtkarakteristieken en doorlaatkarakteristieken werden bepaald.

Bij het BEREKENEN van de vochttekorten werd begonnen met de ACTUELE situatie. Van alle profielen werd voor drie gewassen (aardappelen, granen en suikerbieten) het vochttekort uitgerekend. Voor dezelfde profielen werden vervolgens de vochttekorten berekend voor verschillende POTENTI_Le situaties. Dit werd gedaan voor dezelfde drie gewassen. Na het berekenen van de vochttekorten in actuele en potentiële situaties werd de bewerkbaarheid van de bovengrond bestudeerd. Ten slotte werd een GEVOELIGHEIDSANALYSE uitgevoerd waarin de invloed van verschillende factoren op de berekende vochttekorten werd onderzocht. Deze gevoeligheidsanalyse werd verricht ten opzichte van de actuele situatie voor het gewas aardappelen, welke als referentiekader diende.

1.4 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 1 wordt ingegaan op achtergronden, ontstaan van de vraagstelling en doelstelling van het onderzoek. In hoofdstuk 2 komt het simulatiemodel MUST2 aan de orde. Hierin wordt uiteengezet hoe het model werkt en welke methode wordt gevolgd bij het berekenen van de vochttekorten. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de gegevens die men nodig heeft. Tevens wordt in dit hoofdstuk ingegaan op een aantal aspecten van de bodemfysische bepalingen en de problemen die daarbij aan de orde kwamen. Dit laatste betreft met name de kwestie van de keuze van de doorlaatkarakteristieken op grond van in een bodemfysisch laboratorium gedane bepalingen. In hoofdstuk 4 worden de resultaten gepresenteerd en besproken. Daarbij komen de berekeningen van de vochttekorten voor de actuele situatie eerst aan de orde, gevolgd door de berekeningen van die voor de potentiële situaties. In hoofdstuk 5 zullen de berekeningsresultaten worden besproken die werden verkregen in het kader van de gevoeligheidsanalyse, waarna in hoofdstuk 6 een samenvatting van het onderzoek wordt gegeven alsmede de belangrijkste conclusies.

2 BESCHRIJVING VAN HET MODEL

2.1 Inleiding

Het simulatiemodel MUST2 (Model for Unsaturated flow on a Shallow water Table, versie 2) waarmee de vochttekorten zijn berekend is een zgn. pseudo stationair model. Dit houdt in dat het niet-stationaire proces van vochttransport in de bodem verondersteld wordt te zijn opgebouwd uit een opeenvolging van tijdstappen met een constante lengte. Binnen elke tijdstap veronderstelt het model een stationaire toestand. De tijdstap waarmee het model werkt is 10 dagen (een decade). Voor een zomerhalfjaar van 1 april tot 30 september, over welke periode het model een vochttekort uitrekent, betekent dit 18 tijdstappen. Het model MUST2 is een door Van Lanen (1984) aangepaste versie van het door De Laat (1980 en 1985) ontwikkelde model MUST. Het model MUST2 is vergelijkbaar met het model LAMOS (Landinrichtingsdienst Model voor Onverzadigde Stroming. Reuling, 1983), dat veelvuldig wordt toegepast (bijv. Bannink e.a., 1985). Onderdelen van een eerste versie van MUST2 zijn gebruikt bij de bouw van het model LAMOS. Op grond van de invoergegevens berekent het model o.a.:

- het vochttekort per jaar voor een dertigjarige periode,
- de waterbalansen van wortelzone en gehele profiel.

Uit deze cijfers kan zonodig de vochtleverantie van een profiel worden afgeleid. De hele rekenprocedure vindt in twee stappen plaats. Ten eerste worden op grond van de bodemfysische gegevens zoals:

- de laagdikten in het profiel,
- de vocht karakteristieken van elke laag en
- de doorlaat karakteristieken van elke laag onder de bewortelde zone door het programma UNSAT2 (een onderdeel van MUST2, zie Van Lanen, 1981a) verzadigingsdeficietrelaties in de bewortelde zone en de ondergrond alsmede stijgafstanden voor de ondergrond berekend. Ten tweede berekend het model MUST2 dan de vochttekorten waarbij dit programma de door UNSAT2 geproduceerde cijfers als invoergegevens nodig heeft. In het hierna volgende zal op de theoretische kant van de berekening van het vochttekort worden ingegaan.

2.2 De rekenprocedure

De rekenprocedure om de vochttekorten vast te stellen is de volgende. In het model zijn twee randvoorwaarden essentieel:

- de flux door de bovenrand, (dit is het maaiveld) ofwel het neerslagoverschot of -tekort (neerslag minus werkelijke verdamping),
- de flux door de onderrand, (dit is het freatisch vlak ofwel de grondwaterstand) ofwel de grondwateraanvulling of -uitputting.

Per tijdstap van tien dagen wordt de bovenrandvoorwaarde afgeleid uit:

- de open waterverdamping volgens Penman (E_o) in mm,
- de neerslag in mm.

De bovenrandvoorwaarde is eigenlijk een flux die gelijk is aan de werkelijke verdamping minus de neerslag.

De waarden voor de potentiële verdamping (E_p) worden per decade berekend met de vergelijking:

$$E_p = f * E_o \text{ (f = gewasverdampingsfactor).}$$

Indien aan de potentiële verdamping niet voldaan kan worden, berekent het model de maximaal te leveren hoeveelheid vocht (werkelijke verdamping = E_a). Het vochttekort wordt berekend als het verschil tussen de potentiële verdamping (E_p) en de werkelijke verdamping (E_a).

Voor de berekeningen wordt voor de onderrandvoorwaarde een verband aangenomen tussen de grondwaterstand en de flux door de onderrand: de $q(h)$ relatie, ook grondwaterstand-afvoerrelatie genoemd. De voorjaarsgrondwaterstand (GVG) wordt voor elk jaar constant verondersteld. Uitgaande van deze vooraf opgegeven voorjaars- of begingrondwaterstand (GVG) worden 30 zomerhalfjaren doorgerekend. Op basis van de in eerste instantie aangenomen $q(h)$ relatie en de werkelijk opgetreden meteorologische situatie berekent het model de grondwaterstand per tijdstap. Uit deze berekende grondwaterstanden wordt de LG3-waarde berekend als het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden per jaar. Het model rekent dus per groeiseizoen met een variabele LG3-waarde. Vervolgens wordt, uitgaande van de LG3-waarden de GLG berekend over de gehele 30-jarige periode. De berekende GLG wordt vergeleken met de in het veld waargenomen GLG. Als de berekende GLG teveel afwijkt van de opgegeven GLG wordt de $q(h)$ relatie iteratief zodanig bijgesteld dat de berekende en de opgegeven GLG voldoende nauwkeurig met elkaar overeenkomen.

Nadat de onderrandvoorwaarde van het model per tijdstap is vastgelegd, wordt voor de 30-jarige periode de onverzadigde stroming nogmaals gesimuleerd.

Voor een uitvoerige beschrijving van de procedure om de $q(h)$ relatie zodanig bij te stellen dat de berekende en de waargenomen GLG beter overeenkomen zie Van Lanen (1985).

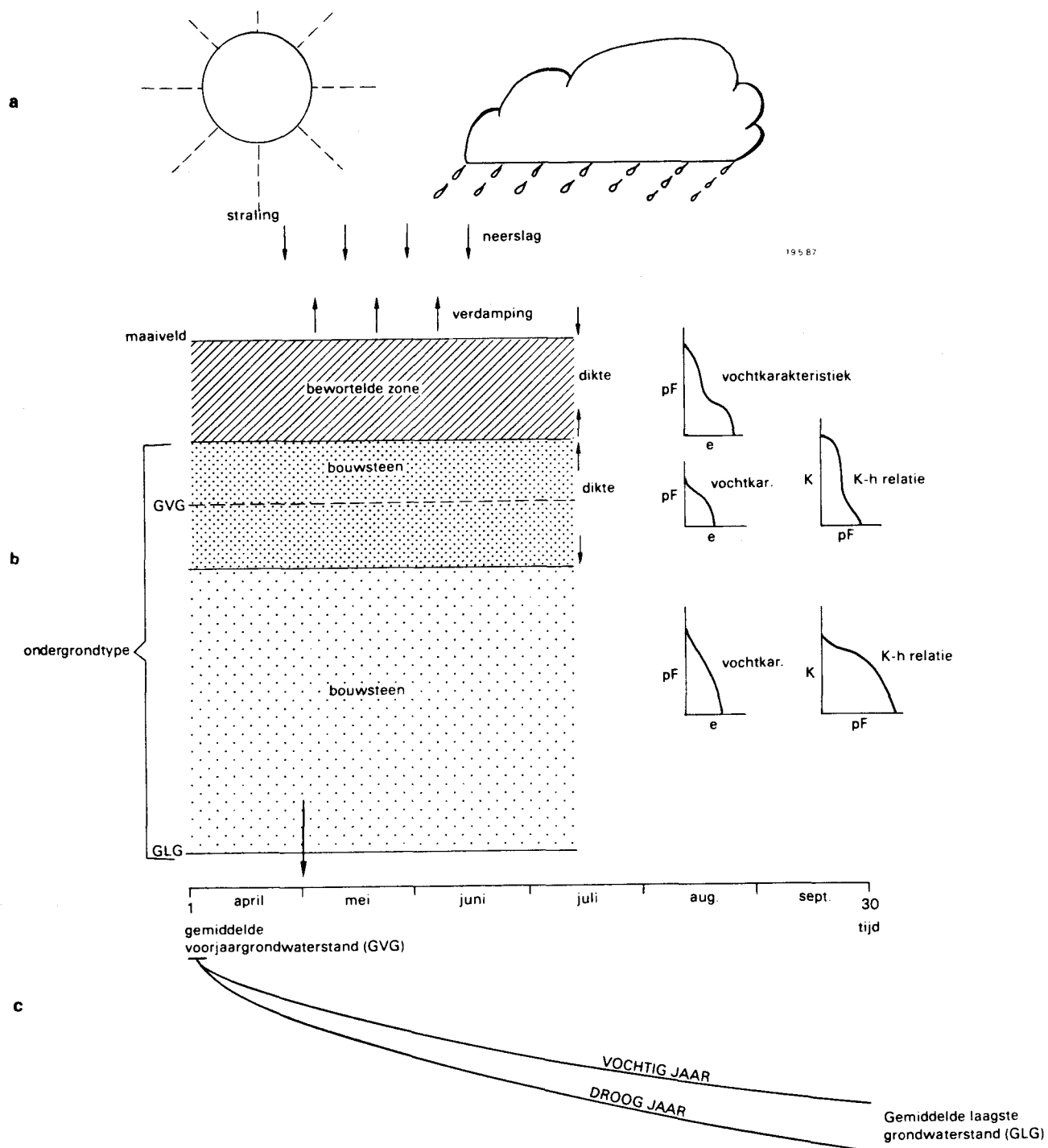
Doordat de GVG voor elk jaar constant verondersteld wordt kan het berekende vochttekort in een groeiseizoen met een droog voorjaar iets te laag en in een groeiseizoen met een nat voorjaar iets te hoog zijn. Rekenen met constante GVG is in principe onjuist omdat de werkelijke voorjaarsgrondwaterstand van jaar tot jaar varieert, afhankelijk van de grootte van de neerslag in de voorafgaande decades. Berekeningen hebben echter uitgewezen dat de invloed op het vochttekort beperkt is (pers. mededeling Bannink en Van der Sluys).

3 DE INVOERGEGEVENS

3.1 Algemeen

De gegevens die het model nodig heeft voor de berekeningen bestaan uit een drietal categoriën, te weten:

- meteorologische gegevens,
- bodemkundige en bodemfysische gegevens,
- hydrologische gegevens.



Figuur 2 Schematische voorstelling van de invoergegevens

In principe kan men met behulp van deze 3 categorieën gegevens en MUST2 het vochttekort (in mm) per groeiseizoen berekenen.

Om echter, op grond van gemiddelden, frequentieverdelingen en dergelijke een kansuitspraak te kunnen doen over de te verwachten vochttekorten in heden en toekomst, zal men het vochttekort over een langere reeks van jaren moeten vaststellen. Immers, dan krijgt men een redelijke doorsnede van de weersomstandigheden die in Nederland voorkomen. Meestal neemt men daarom een reeks van 30 jaren en in dit onderzoek is de periode van 1955 - 1985 genomen. In het hiernavolgende zal beschreven worden welke gegevens in het simulatiemodel zijn ingevoerd om de berekeningen te kunnen uitvoeren.

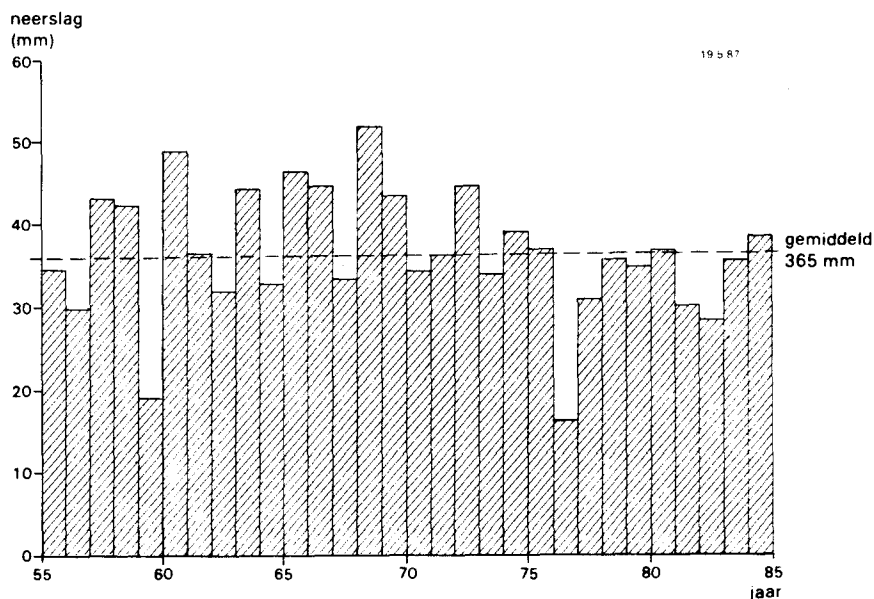
3.2 De meteorologische gegevens en de gewasgegevens

Omdat per decade (tijdstep van 10 dagen) gerekend wordt, moet in het model ingevoerd worden:

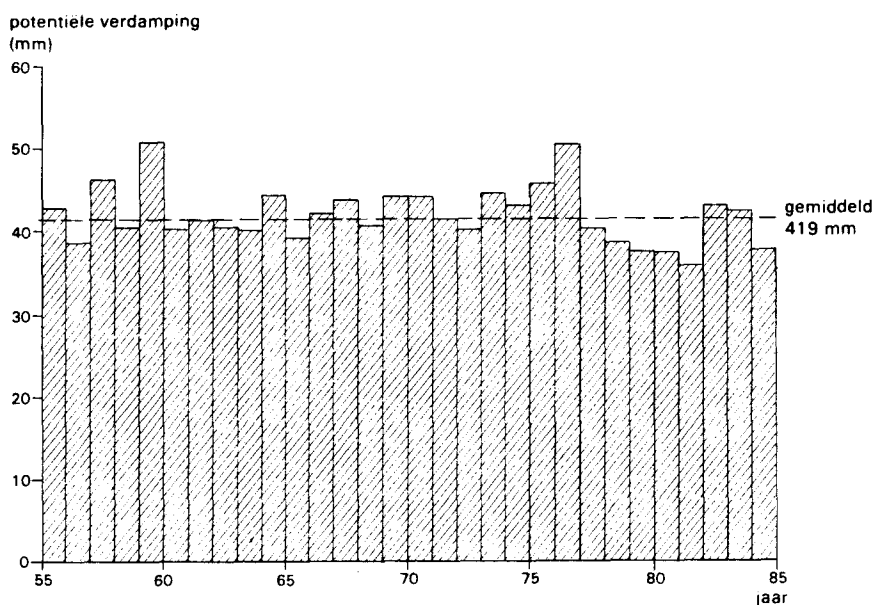
- de neerslag (in mm) per decade voor alle groeiseizoenen (1 april - 30 september) over de periode 1955-1985,
- de openwaterverdamping (in mm) per decade voor alle groeiseizoenen over de periode 1955-1985,
- de gewasverdampingsfactor (f) per decade.

Als neerslagcijfers werden gebruikt die van het neerslagwaarnemingspunt Biervliet in Zeeuws-Vlaanderen ten Oosten van de Braakmanpolder en voor de openwaterverdamping werden cijfers van het meteostation Hoek van Holland gebruikt. Deze gegevens zijn ontleend aan het periodiek "maandoverzichten van het weer in Nederland" van het KNMI. De reden dat niet de verdampingscijfers van het veel dichterbij de Braakmanpolder gelegen station Vlissingen werden gebruikt is dat de cijfers van deze laatste volgens de Landinrichtingsdienst te Utrecht niet zo representatief zijn voor de Braakmanpolder in verband met de zeewind te Vlissingen.

Er wordt vanuit gegaan dat de verzamelde neerslag- en verdampingscijfers van deze meteostations gelden voor het gehele gebied van de Braakmanpolder. In bijlage 1 en de figuren 3a en 3b worden de neerslag- en potentiële verdampingssommen per groeiseizoen van 1 april tot en met 30 september over de periode 1955 - 1985 gegeven voor de gewassen aardappelen, granen en suikerbieten. De verdampingssommen in figuur 3b gelden voor het gewas aardappelen.



Figuur 3a Neerslagsom per groeiseizoen en de gemiddelde neerslag (in mm) over de periode 1955-1985



Figuur 3b Potentiële verdampingssom van het gewas aardappelen per groeiseizoen en de gemiddelde potentiële verdamping (in mm) over de periode 1955-1985

De gewasverdampingsfactor (f) is een empirische maat voor de hoeveelheid vocht die een gesloten gewas op een bepaald ogenblik tijdens het groeiseizoen potentieel kan verdampen bij een gegeven openwaterverdamping. Zo is de gewasverdampingsfactor voor een zeer jong gewas, met zeer weinig blad, kleiner dan voor een volledig ontwikkeld gewas met een grote hoeveelheid assimilerend blad. Voor de drie gewassen waarvoor gerekend werd, aardappelen, granen en suikerbieten is de grootte van de gewasverdampingsfactor per decade in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1 Gewasverdampingsfactoren (f) voor aardappelen, granen en suikerbieten van 1 april tot 30 september Bron: LAGO (landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking), 1984

	april			mei			juni			juli			augustus			september		
decadenr.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
aardappelen	.3	.3	.3	.3	.5	.7	.8	.8	.9	.9	.9	.9	.9	.7	.7	.6	.1	.1
granen	.5	.6	.7	.8	.8	.8	.9	.9	.9	.8	.7	.6	.5	.1	.1	.1	.1	.1
suikerbieten	.3	.3	.3	.4	.4	.4	.6	.8	.9	.9	.9	.9	.9	.9	.9	.9	.9	.9

Deze 18 gewasverdampingsfactoren worden per gewas eenmaal ingevoerd en zijn dus voor elk jaar van de dertigjarige periode van toepassing. De potentiële verdamping van een gewas wordt in het model berekend door de gewasverdampingsfactor f te vermenigvuldigen met de openwaterverdamping E_o : $f \cdot E_o$ (zie ook 2.2). In figuur 4 is voor het groeiseizoen (1 april tot 30 september) van 1984 voor aardappelen, granen en suikerbieten de op deze wijze berekende potentiële verdamping in mm per decade uitgezet als illustratie hiervan.



Figuur 4 De potentiële verdamping in mm per decade voor aardappelen, granen en suikerbieten voor het groeiseizoen van 1984

Door het verschil in gewasontwikkeling, tot uiting komend in de verschillen in de gewasverdampingsfactor (tabel 1), is de potentiële verdamping van granen aan het begin van het zomerhalfjaar (april en mei) duidelijk hoger dan die van aardappelen en suikerbieten. In augustus en september is het beeld omgekeerd. Dit blijkt uit figuur 4.

Behalve de gewasverdampingsfactoren moet voor elk gewas ook worden aangegeven bij welke drukhoogte in de wortelzone de vraag van de plant (potentiële verdamping) door de bodem niet meer kan worden geleverd. De werkelijke verdamping is dan kleiner dan de potentiële verdamping en het verschil is gelijk aan het vochttekort. Voor alle drie de onderzochte gewassen is de drukhoogte waarbij de potentiële verdamping wordt gereduceerd op $h = -500$ cm gesteld.

3.3 De bodemkundige gegevens

Eerst zal een beschrijving worden gegeven van de geselecteerde bodemprofielen, daarna worden de bodemfysische gegevens behandeld.

3.3.1 Keuze en beschrijving van bodemprofielen

Uit de 15 bodemeenheden met een totale oppervlakte van 335 ha die in het gekarteerde gebied voorkomen (Dekkers e.a., 1986) zijn 8 veel voorkomende bodemprofielen geselecteerd.

Belangrijke criteria bij de selectie van deze profielen waren dat:

1. er bij deze profielen zowel lichte- als zware zavelgronden voorkomen;
2. er lichte zavel- en kleiige bovengronden op kleiarne ondergronden, zgn. plaatgronden, bij zijn;
3. ze in de Braakmanpolder een groot deel van het totale oppervlak uitmaken.

Van alle profielen moeten de volgende bodemkundige en bodemfysische gegevens in het model worden ingevoerd:

1. de dikte van de effectieve wortelzone;
2. de dikte van alle lagen die in het profiel kunnen worden onderscheiden;
3. de vocht karakteristiek van elke laag;
4. de doorlaat karakteristiek voor alle lagen onder de wortelzone.

In tabel 2 zijn de bodemkundige gegevens van de 8 geselecteerde profielen weergegeven.

Tabel 2 Bodemkundige gegevens van de 8 profielen.

Nr. Profiel	Opp. (ha)	Omschrijving	Samenstelling bouwvoor			
			Org. Stof (%)	Lutum (%)	Zand grofheid (M50)	
1	Sn12A	13,5	kleiig, zeer fijn zand met op 50 cm kleiarm matig fijn zand	1,5	5 - 8	100
2	Mn12aA	10,5	zeer lichte zavel met op 60 cm kleiarm, matig fijn zand	2	8 -12	n.v.t.
3	Mn12bkA	31,5	matig lichte zavel op 60 cm overgaand in een 10 cm dik kleiig, zeer fijn zandlaagje en vanaf 70 cm kleiarm, matig fijn zand	2	12 -17,5	n.v.t.
4	Mn12bA	15,0	matig lichte zavel met op 60 cm kleiarm, matig fijn zand	2	12 -17,5	n.v.t.
5	Mn15aA	35,0	zeer lichte zavel tot minimaal 150 cm	2	8 -12	n.v.t.
6	Mn15aAz	10,0	zeer lichte zavel op kleiig, zeer fijn zand en op 100 cm overgaand in kleiarm matig fijn zand	2	8 -12	n.v.t.
7	Mn25A	24,0	zware zavel op 50 cm overgaand in zeer lichte zavel	2	17,5-25	n.v.t.
8	Mn25Az	11,0	zware zavel op 30 cm overgaand in matig lichte zavel, vanaf 60 cm - mv. kleiig, zeer fijn zand en vanaf 100 cm - mv. kleiarm, matig fijn zand	2	17,5-25	n.v.t.

In tabel 3 wordt voor de 8 profielen weergegeven met welke bewortelingsdiepte wordt gerekend. In 3.3.2 worden de vocht- en doorlaatkarakteristieken behandeld. Uit tabel 3 blijkt dat er van uit gegaan is dat aardappelen op alle profielen tot 45 cm wortelen en dat granen en suikerbieten wortelen tot een diepte variërend van 60-100 cm. Dit is afhankelijk van het voorkomen van kleiarm, zeer fijn en matig fijn zand in de ondergrond.

Tabel 3 Bewortelingsdiepte voor aardappelen, granen en suikerbieten.

Nr.	Profiel	Bewortelingsdiepte		
		aardappelen	granen	suikerbieten
1	Sn12A	45	50	50
2	Mn12aA	45	60	60
3	Mn12bkA	45	70	70
4	Mn12bA	45	60	60
5	Mn15aA	45	100	100
6	Mn15aAz	45	60	60
7	Mn25A	45	100	100
8	Mn25Az	45	70	70

3.3.2 De bodemfysische gegevens

3.3.2.1 Algemeen

Voor het bepalen van de hoeveelheid vocht die een grond onder bepaalde omstandigheden aan een gewas zal kunnen leveren zijn o.a. de bodemfysische gegevens van de ondergrond belangrijk. Met behulp van de bodemfysische gegevens worden de capillaire eigenschappen van de ondergrond beschreven. Aangezien er van enkele ondergronden uit de Braakmanpolder geen bodemfysische gegevens uit de literatuur (Wösten e.a., i.v.) voorhanden waren, was het noodzakelijk om aanvullende bepalingen te verrichten. Daartoe werden monsters genomen van in de Braakmanpolder voorkomende kleiarme en kleiige ondergronden die samen 80 - 90% van het gekarteerde areaal uitmaken. Van deze monsters werden de doorlaaten vocht karakteristieken bepaald op de wijze die staat beschreven in de handleiding van het bodemfysisch laboratorium van de STIBOKA (Interne mededeling nr. 78). De vocht karakteristiek geeft informatie over de hoeveelheid vocht (θ) die in bodemhorizonten nog aanwezig is bij een bepaalde mate van uitdroging (uitgedrukt in drukhoogte). De doorlaat karakteristiek of K-h relatie geeft informatie over de hoeveelheid vocht die door de grond kan stromen bij verschillende maten van uitdroging. De op deze wijze beschreven capillaire eigenschappen van de ondergrond zijn belangrijk wanneer men wil uitrekenen hoeveel water vanuit het grondwater naar de wortelzone opstijgt. Zie ook de bijlage 2 en 3. Van de ondergronden werd met behulp van de monsters de vocht karakteristiek (pF curve) en de doorlaat karakteristiek of K-h relatie bepaald. In het hierna volgende zullen de uitkomsten van deze bepalingen worden besproken.

3.3.2.2 De vocht karakteristieken

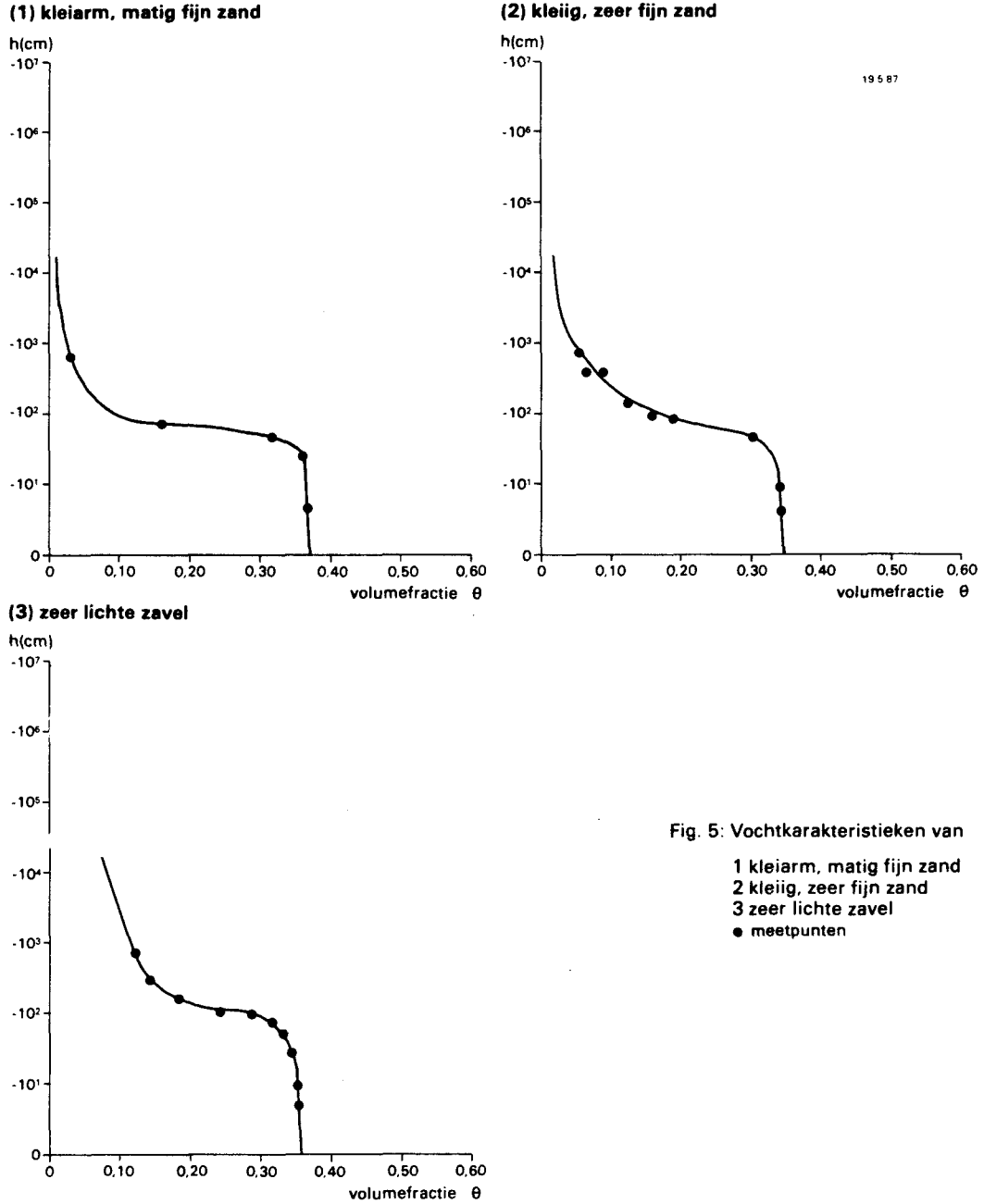
De ondergronden van de Braakman polder bestaan vnl. uit lichte zavel, kleiig en kleiarm, zeer fijn en matig fijn zand. De 4 profielmonsters zijn in duplo genomen en hadden de volgende samenstelling:

- | | |
|-------------------|---------------------------------------|
| Profielmonster 1. | kleiarm, matig fijn zand (M50 = 155) |
| " | 2. kleiig, zeer fijn zand (M50 = 115) |
| " | 3. zeer lichte zavel (lutum = 8 %) |
| " | 4. matig lichte zavel (lutum = 17 %) |

De vocht karakteristieken die werden bepaald aan deze textuurgroepen staan getekend in figuur 5. Van profielmonster 4 werden de bepalingen buiten beschouwing gelaten. De vocht karakteristieken staan in cijfers vermeld in bijlagen 2 en 3.

Uit figuur 5 blijkt dat het eenvoudig is vloeiende lijnen te trekken door veruit de meeste meetpunten.

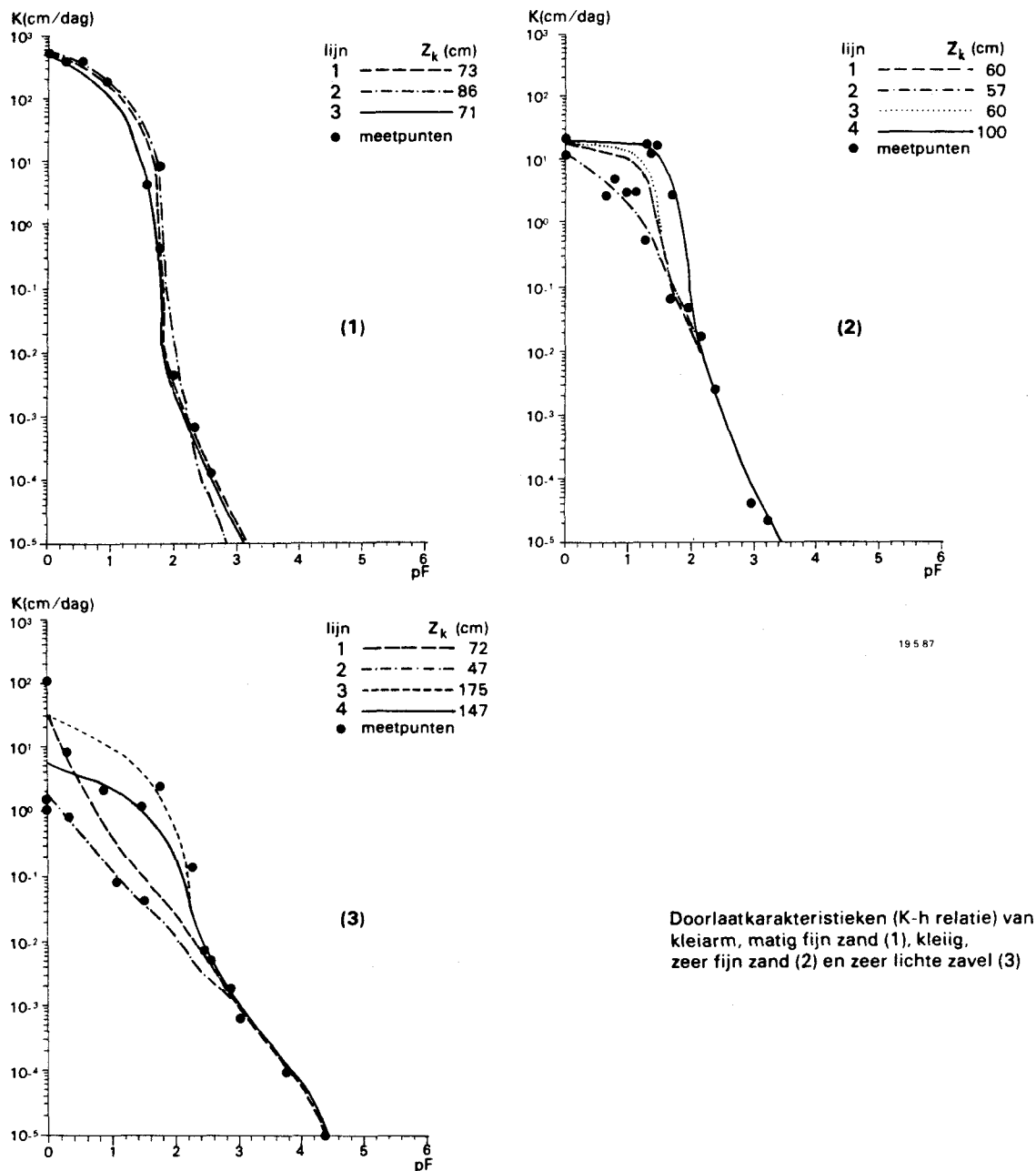
De bepalingen van de meetwaarden voor de punten van de vocht karakteristiek geven een betrouwbaar beeld van de beschouwde textuurgroepen en daarom zal er niet verder op worden ingegaan.



Figuur 5 Vochtkarakteristieken van: kleiarm, matig fijn zand (1); kleilig, zeer fijn zand (2) en zeer lichte zavel (3)

3.3.2.3 De doorlaatkarakteristieken

Van de in 3.3.2.2 genoemde profielmonsters werden eveneens de doorlaatkarakteristieken of K-h relaties bepaald. Deze bepalingen resulteerden in een serie meetpunten (voor de verschillende profielmonsters) waardoor de doorlaatkarakteristiek dient te worden bepaald als de beste lijn door de meetpunten. In figuur 6 zijn de meetpunten voor drie profielmonsters uitgezet.



Figuur 6 Doorlaatkarakteristieken (K - h relaties) van: kleiarm, matig fijn zand (1); kleiig zeer fijn zand (2) en zeer lichte zavel (3) plus de berekende stijgfstand (Z_k) van iedere doorlaatkarakteristiek

Dat de curve van de doorlaatkarakteristiek niet eenvoudig te trekken is wordt duidelijk uit de verspreide ligging van de meetpunten bij de ondergronden bestaande uit kleiig, zeer fijn zand (2) en uit zeer lichte zavel (3), met name in het natte deel van de grafiek, d.w.z. waar zowel de doorlatendheid K (cm/dag) als de drukhoogte groot is (linksboven in de grafieken). Voor de kleiarne, matig fijne zandgrond (no.1) was dit minder moeilijk.

In figuur 6 zijn een aantal mogelijke lijnen getrokken die een goede K - h relatie zouden kunnen geven. Om na te gaan wat nu de consequenties zijn van het trekken van een bepaalde lijn door de meetpunten is voor elk van de lijnen berekend hoe groot de kritieke stijgfstand is. Deze zijn in figuur 6 vermeld.

Per definitie is de kritieke stijgafstand de maximale afstand waarover nog een voor een gewas voldoende capillaire aanvoer (1,5 à 2 mm/d) naar de wortelzone kan worden gerealiseerd. Deze afstand wordt vaak gebruikt als maat voor het capillair geleidingsvermogen van een ondergrond. Wanneer de afstand tussen grondwaterspiegel en wortelzone groter wordt dan de kritieke stijgafstand, treden verdrogingsverschijnselen op in het gewas (Van der Sluijs, 1985b).

Uit figuur 6 blijkt dat voor de kleiige, zeer fijn zandige ondergrond (no.2) geen groot verschil in kritieke stijgafstand werd berekend bij de lijnen 1, 2 en 3. Het maakt dus voor verdere berekeningen weinig verschil welke K-h relatie men dan kiest, die van lijn 1, lijn 2 of van lijn 3. Een heel andere (veel hogere) kritieke stijgafstand wordt echter berekend, wanneer men de door de punten getrokken lijn de vorm van lijn 4 laat aannemen. In figuur 6 is aangegeven dat de stijgafstand dan 100 cm bedraagt. In tabel 4 staan de stijgafstanden van de 3 ondergronden samengevat.

Tabel 4 Meerdere kritieke stijgafstanden (Z_k) bij een capillaire stijgsnelheid van 2 mm/dag van kleiarm, matig fijn zand (1), kleiig zeer fijn zand (2) en zeer lichte zavel (3).

1 kleiarm, matig fijn zand Z_k (cm)	2 kleiig, zeer fijn zand Z_k (cm)	3 zeer lichte zavel Z_k (cm)
73	60	72
86	57	47
70*	60	175
	100*	147*

* bijbehorende doorlaatkarakteristiek is gebruikt.

Hetzelfde probleem trad op bij het trekken van een lijn door de meetpunten van de zeer lichte zavelondergrond (no. 3). In eerste instantie werden de lijnen 1 en 2 getrokken zoals die zijn afgebeeld in figuur 6. Op grond van deze lijnen, ofwel deze K-h relaties, werden kritieke stijgafstanden van 72 en 47 cm berekend. Deze waarden zijn op grond van praktijkervaring te laag voor een zeer lichte zavelondergrond zodat ook daar opnieuw naar de ligging van de meetpunten werd gekeken. Op grond van een nadere beschouwing werden de lijnen 3 en 4 getrokken, die beide als mogelijke K-h relatie zouden kunnen gelden. De op grond van deze mogelijke K-h relaties berekende kritische stijgafstand bedragen resp. 175 en 147 cm, waarden die voor zeer lichte zavelgronden gangbaar zijn (Wösten e.a., i.v.), hoewel de waarde van 175 cm aan de hoge kant is voor deze grond.

Het is dus niet zo eenvoudig om op grond van de meetpunten aan te geven welke lijn overeenkomt met de eigenlijke doorlaatkarakteristiek. Dit werd voornamelijk veroorzaakt door onduidelijkheid

in het zgn. natte deel van de figuur, waar de doorlatendheid van de grond groot is en de drukhoogte groot. Dit blijkt uit figuur 6. Bij het bepalen van K-h relaties van gronden heeft men vaker te maken met dit probleem en meestal wordt een oplossing gezocht aan de hand van de kritieke stijgfstanden omdat deze enigszins als controle kunnen dienen voor de juistheid van de bepaalde doorlaatkarakteristiek. Daarom wordt als de juiste doorlaatkarakteristiek meestal die genomen, waarvan de kritieke stijgfstand goed aansluit bij veldwaarnemingen. Voor de profielmonsters 2 en 3 bestond dit probleem dus ook en na bestudering van de ligging der meetpunten en de berekende kritieke stijgfstand werd, mede op grond van ervaring met dit type zand- en lichte zavelgronden, besloten om de lijnen die in de figuur 6 als aaneengesloten lijnstukken getrokken zijn voorlopig als de meest juiste doorlaatkarakteristiek aan te nemen.

In dit rapport wordt met deze doorlaatkarakteristieken gerekend voor het berekenen van de vochttekorten en de vochtleveranties. Het toekennen van de doorlaatkarakteristieken aan de verschillende lagen uit de ondergronden werd gedaan uitgaande van een bewortelingsdiepte van 45 cm voor het gewas aardappelen en 50 à 100 cm voor de dieper wortelende gewassen granen en suikerbieten (zie ook tabel 3). Dit is schematisch in tabel 5 weergegeven. In tabel 5 staat voor elke profiel per laag aangegeven met welke doorlaatkarakteristiek (via het bouwsteennummer) is gerekend.

Tabel 5 De doorlaatkarakteristieken (K-h) die bij de berekening van de vochttekorten werden gebruikt.

Profiel	Aardappelen						Granen en Suikerbieten			
	laag 1		laag 2		laag 3		laag 1		laag 2	
	diep- te')	bouw- steennr.	diep- te')	bouw- steennr.	diep- te')	bouw- steennr.	diep- te')	bouw- steennr.	diep- te')	bouw- steennr.
Sn12A	45-50	1	>50	3			>50	3		
Mn12aA	45-60	5	>60	3			>60	3		
Mn12bkA	45-60	5	60-70	1	>70	3	>70	3		
Mn12bAz	45-60	5	>60	3			>60	3		
Mn15aA	>45	6					>100	5		
Mn12aAz	45-50	6	50-100	1	>100	3	60-100	1	>100	3
Mn25A	45-50	5	>50	5			>100	5		
Mn25Az	45-60	5	>60	1			>70	1		

') In cm t.o.v. de onderkant van de wortelzone.

Bouw- steennr.	Omschrijving textuurtype	Variantnr. K-h relatie van dit textuurtype	Kritieke stijgf- stand Z _k
1	kleiig, zeer fijn zand (M50 = 115)	1	100 cm ^k
2	kleiig, zeer fijn zand (M50 = 115)	2	60 cm
3	kleiarm, matig fijn zand (M50 = 155)	1	70 cm
4	kleiarm, matig fijn zand (M50 = 155)	2	86 cm
5	zeer lichte zavel	1	147 cm
6	zeer lichte zavel	2	175 cm

In tabel 6 staan de kritieke stijgafstanden van de gehele profielen vermeld welke zijn berekend met behulp van de gekozen doorlaatkarakteristieken. In hoofdstuk 5, waar de gevoeligheidsanalyses worden besproken, zal op dit onderwerp worden teruggekomen. In één van de gevoeligheidsanalyses wordt gerekend met andere K-h relaties dan die waar in hoofdstuk 4 mee wordt gerekend.

Tabel 6 Kritieke stijgafstanden (Z_k) voor de 8 profielen.

Profiel	Z_k cm
Sn12A	75
Mn12aA	85
Mn12bkA	94
Mn12bA	85
Mn15aA	175
Mn15aAz	105
Mn25A	147
Mn25Az	114

3.4 De hydrologische gegevens

De beste randvoorwaarden voor een onverzadigd grondwaterstromingsmodel zijn gemeten grondwaterstanden of fluxen door het freatische vlak. Laatstgenoemde fluxen zijn moeilijk meetbaar en dus niet bekend van alle verschillende kaarteenheden op de bodemkaart. Gemeten grondwaterstanden zijn in ruimere mate voorhanden. Toch is de dichtheid aan grondwaterstandmeetpunten te klein en de meetperiode te kort om aan alle kaarteenheden een reeks van voldoende nauwkeurige grondwaterstanden te koppelen. De reeks moet namelijk een periode van 30 jaar omvatten (noodzakelijke lengte rekenperiode in verband met de variabiliteit in het weer) en daarnaast mag gedurende deze periode geen ingreep in de waterhuishouding hebben plaatsgevonden. Kortom, indien meer kaarteenheden nader worden beschouwd, dan zullen vrijwel nooit gemeten fluxen of grondwaterstanden voorhanden zijn die voldoen aan de gestelde criteria. Er moeten dus andere hydrologische gegevens worden gebruikt om te komen tot een benadering van de onder-randvoorwaarde. Voor een uitgebreide beschrijving van de onder-randvoorwaarde-problematiek zie Van Lanen (1985).

Tot de hydrologische gegevens die voor het model nodig zijn behoren:

1. de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG)
2. de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG)
3. de grondwaterstand-afvoerrelatie (q-h relatie)

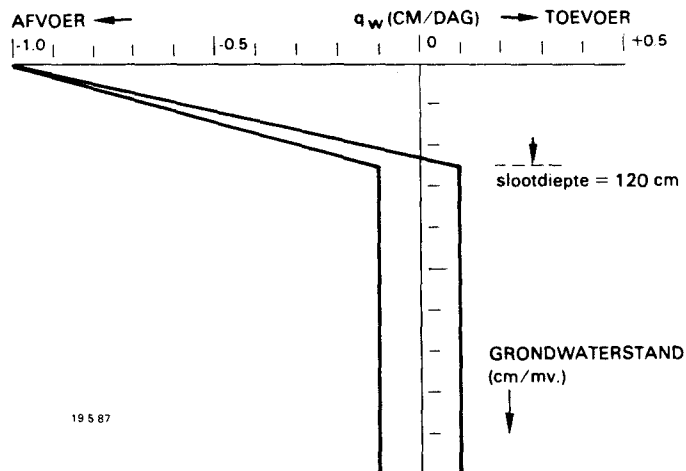
Informatie over het grondwater wordt gegeven in de grondwatertrap of Gt, die als een code op de bodemkaart wordt weergegeven. Met de grondwatertrap wordt bedoeld dat de GHG en de GLG in een bepaalde klasse worden ingedeeld met nauwkeurig vastgelegde grenzen.

Tabel 7 Grondwatertrap en rekenwaarde voor gemiddeld hoogste (GHG), voorjaars- (GVG) en laagste (GLG) grondwaterstand.

Grondwatertrap (Gt)	GHG	GVG	GLG
IV	50	80	120
VI	75	110	160
VII	110	135	190

Voor het rekenen met MUST2 zijn echter exacte, absolute getalswaarden nodig zijn voor de grondwaterkarakteristieken GVG en GLG. In tabel 7 staan de rekenwaarden voor GHG, GVG en GLG bij verschillende grondwatertrappen (Gt's), die voor dit onderzoek zijn gebruikt. De getalswaarden voor de actuele situatie (grondwatertrap VII) zijn gebaseerd op veldschattingen (profiel- en veldkenmerken, aangevuld met grondwaterstandsmetingen) in het gebied. De getalswaarden voor de potentiële situaties (grondwatertrappen VI en IV) zijn gekozen om een geringe en een grotere verhoging van de grondwaterstand door te kunnen rekenen. De waarden vallen samen met de grenswaarden tussen grondwatertrap VII en VI en de grenswaarden van grondwatertrap IV en V.

Zoals gezegd heeft het model behalve GVG en GLG voor het berekenen van de vochttekorten ook een grondwaterstand-afvoerrelatie nodig. Indien men namelijk alleen gebruik zou maken van de GVG en de GLG-waarde dan zou men elk jaar een vast verloop tussen de GVG en de GLG moeten opleggen (bijvoorbeeld een lineair verloop). Wanneer men echter uitgaat van een zogenaamde grondwaterstands-afvoerrelatie of $q(h)$ relatie dan ligt dit verloop met uitzondering van de startgrondwaterstand (GVG) niet meer vast. De $q(h)$ relatie bepaalt dus dat als de grondwaterstanden hoog zijn er meer water wordt afgevoerd dan wanneer deze laag zijn (figuur 7).



Figuur 7 De relatie tussen de flux door de onderkant van de onverzadigde zone en de grondwaterstand (Van Lanen 1981, 1)

Deze hogere afvoer wordt veroorzaakt door een grotere opbolling tussen de sloten. Bij de hier gebruikte $q(h)$ relatie wordt aangenomen dat de afvoer lineair afneemt met de grondwaterstandsdiepte (schuine lijn in figuur 7). Met andere woorden, er wordt uitgegaan van een constante drainageweerstand. Wanneer de grondwaterstand daalt beneden de slootdiepte dan is de opbolling tussen de sloten verdwenen en is de afvoer naar de sloten gelijk aan nul. Er kan dan echter nog wel afvoer van water naar grotere watergangen via watervoerende pakketten plaatsvinden (wegzijing). Behalve afvoer kan er uiteraard ook aanvoer van water via dezelfde weg plaatsvinden (kwel); de stromingsrichting wordt bepaald door het stijghoogteverschil tussen het freatische water en de peilen in de grotere watergangen. Over het algemeen zal de intensiteit van de wegzijing of kwel slechts weinig veranderen met de grondwaterstandsdiepte. Dit is de reden dat het onderste deel van de $q(h)$ relatie, dus onder het knikpunt (=slootdiepte), bestaat uit een verticaal lijnstuk (constante af- of toevoer). Voor een uitgebreidere beschrijving van de hydrologische achtergrond van de $q(h)$ relaties wordt verwezen naar Ernst en Feddes (1979) en Van Lanen (1981b).

Voor het onderzoek in de Braakmanpolder is gekozen voor een slootdiepte van 120 cm - mv. Daar ligt dus het knikpunt van de $q(h)$ relatie. Bij de gevoeligheidsanalyse wordt hier nog nader op teruggekomen. De helling van het schuine lijnstuk van de $q(h)$ relatie (grondwaterstanden >120 cm - mv.) wordt bepaald door het ontwateringscriterium voor bouwland. De grootte van constante toe- of afvoer van grondwater (onderste lijnstuk $q(h)$ relatie) wordt iteratief bepaald uit de berekende en de in het veld geschatte GLG (zie verder 2.2).

Het toepassen van $q(h)$ relaties heeft tot gevolg dat het berekende grondwaterstandsverloop in natte jaren boven het GLG-niveau ligt en in droge jaren eronder. Het gemiddelde van de berekende LG3-waarden (GLG berekend) komt echter door een iteratieve bijstelling van de konstante af- of toevoer overeen met de GLG waarde uit het veld (zie 2.2 en Van Lanen, 1985).

4 RESULTATEN VAN DE BEREKENINGEN

In 4.1 zullen de voor de actuele situatie berekende vochttekorten voor de drie gewassen aardappelen, granen en suikerbieten worden besproken.

In 3.4 is al vermeld dat hierbij werd gerekend met GVG's en GLG's die horen bij een Gt VII, zoals die momenteel in een groot deel (60% van het areaal) van de Braakmanpolder voorkomen. Daarna zal in 4.2 op de vochttekorten zoals ze zijn berekend voor de 2 potentiële situaties, bij resp. Gt VI en Gt IV, worden ingegaan alsmede op twee situaties met kunstmatige berekening. In dit hoofdstuk worden zowel langjarige gemiddelde vochttekorten besproken als frequentieverdelingen van de berekende vochttekorten. Al de cijfers zijn bovendien terug te vinden in bijlage 4 t/m 22 waarin alle berekeningsresultaten zijn samengevat. Het hoofdstuk wordt besloten met een analyse van de bewerkbaarheid van de gronden in de actuele en de potentiële situaties (4.3).

4.1 Vochttekorten in de actuele situatie

4.1.1 Inleiding

In 4.1.2 zullen de langjarige gemiddelde vochttekorten worden besproken. In 4.1.3 zal op de verschillen tussen de langjarige gemiddelde vochttekorten voor de drie gewassen worden ingegaan terwijl in 4.1.4 de frequentieverdeling van de berekende vochttekorten aan de orde zal komen.

4.1.2 De langjarig gemiddelde vochttekorten

In tabel 8 staan voor de actuele situatie (grondwatertrap VII) de berekende langjarige gemiddelde vochttekorten voor de acht profielen bij aardappelen, granen en suikerbieten.

Hieruit blijkt dat voor profiel Mnl2bA bij alle gewassen het grootste gemiddelde vochttekort wordt berekend, nl. resp. 68, 52 en 54 mm. Dit is niet zo verwonderlijk omdat in dit profiel dieper dan 60 cm kleiarm, matig fijn zand in de ondergrond voorkomt (zie de profielopbouw in paragraaf 3.3). Ook op de andere profielen waarin op betrekkelijk geringe diepte kleiarm matig fijn zand in de ondergrond voorkomt (Sn12A, Mnl2bkA en Mnl2aA), de zgn. plaatgronden, is het gemiddelde vochttekort groot.

Tabel 8 Langjarige gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) voor aardappelen, granen en suikerbieten op 8 profielen in de actuele situatie.

Profiel	Gemiddeld vochttekort					
	aardappelen		granen		suikerbieten	
	mm	s	mm	s	mm	s
Sn12A	60	66	51	57	55	67
Mn12aA	65	62	46	50	50	60
Mn12bkA	62	62	33	46	38	56
Mn12bA	68	63	52	52	54	62
Mn15aA	6	22	1	3	1	5
Mn15aAz	40	54	23	40	27	51
Mn25A	15	33	0	1	1	3
Mn25aAz	35	51	13	32	16	41

Het profiel met het geringste gemiddelde vochttekort is het Mn15aA profiel (6, 1 en 1 mm bij resp. aardappelen, granen en suikerbieten), dat geheel uit zeer lichte zavel bestaat. Ook het Mn25A profiel, met zware zavel in de bovengrond en zeer lichte zavel in de ondergrond, heeft een zeer gering gemiddeld vochttekort, nl. 15, 0 en 1 mm.

De verschillen in vochttekorten tussen de drie gewassen zullen in 4.1.3 worden besproken. Hier zal nu eerst worden besproken hoe de grootte van het vochttekort van de verschillende profielen samenhangt met de profielopbouw. Daarbij zal worden begonnen met het profiel met het grootste berekende vochttekort en vervolgens het daarop volgende profiel.

1. Het Mn12bA profiel is het profiel met het grootste gemiddelde vochttekort voor aardappelen en granen (resp. 68, 52 mm). Dit grote vochttekort kan verklaard worden door de profielopbouw te bestuderen, zoals die in tabel 2 wordt geïllustreerd. Daarbij blijkt dat zich op een diepte van 60 cm kleiarm, matig fijn zand bevindt dat een zeer geringe capillaire opstijging vanuit de ondergrond toelaat (kritieke stijgafstand 70 cm).

2. Voor het profiel Mn12aA is het gemiddelde vochttekort iets kleiner (65, 46 en 50 mm) door de zeer lichte zavel in de bovengrond i.p.v. de matig lichte zavel. Dit terwijl het kleiarme, matig fijne zand op dezelfde diepte begint als bij het profiel Mn12bA. Dit zeer geringe verschil in vochttekort wordt veroorzaakt doordat de lichte zavel iets meer gemakkelijk beschikbaar vocht in de wortelzone heeft dan de matig lichte zavel (Van Zuijlen e.a., 1985).

3. Het Mn12bkA profiel heeft een gemiddelde vochttekort van 62 mm bij aardappelen en 33 en 38 mm bij granen en suikerbieten. Dit profiel verschilt van het Mn12bA profiel alleen doordat zich een laag van 10 cm kleiig, zeer fijn zand op een diepte van 60 -

70 cm bevindt, boven het kleiarme, matig fijne zand. Dit laagje, dat een iets beter capillair geleidingsvermogen heeft, zorgt er voor dat bij alle gewassen het vochttekort voor dit profiel kleiner is dan bij het Mn12bA en het Mn12aA profiel.

4. Het profiel Sn12A heeft een gemiddelde vochttekort van 60 mm bij het aardappelgewas, ca 8 mm minder dan het Mn12bA profiel. Bij de suikerbieten heeft het profiel het grootste gemiddelde vochttekort en bij de granen het op één na grootste gemiddelde vochttekort, nl. resp. 55 en 51 mm. Dat dit profiel een hoog gemiddeld vochttekort heeft ligt aan het kleiige, zeer fijne zand met vanaf 50 cm kleiarm, matig fijn zand met een geringe kritieke stijgafstand (70 cm).

5. Het profiel Mn15aAz heeft een gemiddeld vochttekort van 40 mm bij aardappelen, dit betekent 20 - 30 mm minder dan de plaatgronden. Dit hangt samen met het voorkomen van kleiig, zeer fijn zand in de ondergrond, waarbij het kleiarme, matig fijne zand begint op 100 cm diepte. Het kleiige, zeer fijne zand heeft een kritieke stijgafstand van 100 cm.

6. Het profiel Mn25Az heeft een gemiddeld vochttekort van 35 mm bij het gewas aardappelen. Ook die profiel heeft z'n relatief geringe vochttekort te danken aan een ondergrond van kleiig, zeer fijn zand vanaf 60 cm.

7. Het zware zavel profiel Mn25A heeft een gering gemiddeld vochttekort van slechts 15 mm bij aardappelen. Bij suikerbieten en granen komen praktisch geen vochttekorten voor. Dit komt door de zeer lichte zavelondergrond met een grote kritieke stijgafstand van 147 cm. Zie tabel 6.

8. Het profiel Mn15aA heeft het geringste gemiddelde vochttekort, nl. slechts 6 mm voor aardappelen. Dit is een profiel dat tot dieper dan 120 cm - mv. uit zeer lichte zavel bestaat met een kritieke stijgafstand van 175 cm (tabel 6). De verschillen tussen de profielen Mn15aA en Mn25A worden, behalve door het verschil in kritieke stijgafstand, veroorzaakt door verschillen in het gemakkelijk beschikbaar vocht in de wortelzone (bijlage 2 en Van Zuylen e.a., 1985).

4.1.3 Vochttekorten bij aardappelen, granen en suikerbieten

Zoals uit tabel 8 blijkt, zijn er bij genoemde gronden duidelijke verschillen tussen de berekende vochttekorten voor de drie gewassen aardappelen, granen en suikerbieten. In hoofdstuk 3 is vermeld dat er een aantal factoren zijn die bij het berekenen van de vochttekorten voor de drie gewassen verschillen, nl.:

1. de bewortelingsdiepte (voor aardappelen 45 cm, voor granen en suikerbieten afhankelijk van het profiel variërend van 50 tot 100 cm (zie tabel 3)),
2. de gewasverdampingsfactor die voor alle drie gewassen verschilt (zie tabel 1).

Het geringere vochttekort op alle profielen voor zowel granen als suikerbieten in vergelijking met de aardappelen, moet toegeschreven worden aan de grotere bewortelingsdiepte van de granen en suikerbieten die minimaal 5 cm (Sn12A) en maximaal 55 cm dieper (Mn25A, Mn15aA) wortelen (zie 3.3.1).

In dit verband wordt ook duidelijk waarom het verschil tussen het gemiddeld vochttekort bij aardappelen, granen en suikerbieten bij sommige profielen klein en bij andere profielen groot is. Zo is voor de Sn12A het verschil relatief gering (60 t.o.v. 52 en 55 mm). Dit komt dus omdat de beworteling van granen en suikerbieten niet veel dieper gaat dan die voor aardappelen, nl. tot slechts 50 cm i.p.v. 45 cm. Dat de beworteling niet dieper gaat komt door het op 50 cm diepte voorkomende kleiarne, matig fijne zand, waarin de wortels niet of heel moeilijk kunnen doordringen. Voor de profielen Mn12bkA en Mn15aAz is het verschil veel groter (resp. 62 t.o.v. 33 mm en 38 en 40 mm t.o.v. 23 en 27 mm). De bewortelingsdiepte neemt voor deze profielen dan ook meer toe dan bij de Sn12A (zie tabel 3). Relatief is het verschil in vochttekort het grootst voor de twee profielen die al het geringste vochttekort hadden, nl. Mn25A en Mn15aA. Het geringe vochttekort dat nog bij aardappelen optrad is bij de dieper wortelende gewassen suikerbieten en granen nihil geworden. Bij aardappelen was het vochttekort voor de Mn25A en de Mn15aA nog respectievelijk 15 en 6 mm, bij suikerbieten en granen 0 en 1 mm. Het verschil in bewortelingsdiepte van deze twee zavelprofielen is dan ook 55 cm, nl. 45 cm bij aardappelen en 100 cm bij granen en suikerbieten.

Behalve het verschil in bewortelingsdiepte tussen aardappelen, granen en suikerbieten is er een verschil tussen de potentiële verdamping van de drie gewassen. Omdat de potentiële verdamping van elk gewas wordt berekend uit dezelfde openwaterverdamping zijn in feite de gewasverdampingsfactoren verschillend (zie 3.2). Aangezien, zoals uit tabel 1 blijkt, de gewasverdampingsfactor (f) voor aardappelen ongeveer ligt tussen die van granen en suikerbieten zal het verschil in berekende vochttekorten waarschijnlijk voor het merendeel worden veroorzaakt door de eerste factor, namelijk de verschillen in bewortelingsdiepte.

Omdat het niet zo eenvoudig in te schatten is wat het preciese effect van een andere gewasverdampingsfactor op de gemiddelde vochttekorten is, wanneer ook een verandering van bewortelingsdiepte is opgetreden zal het verschil in berekende vochttekort tussen granen en suikerbieten worden besproken.

Dit omdat voor deze beide gewassen de bewortelingsdiepte dezelfde is, maar alleen de gewasverdampingsfactor is gevarieerd volgens tabel 1.

Zodoende mag het verschil in berekende langjarig gemiddelde vochttekort geheel worden toegeschreven aan deze andere gewasverdampingsfactor.

Duidelijk blijkt uit figuur 4 dat de grootste potentiële verdamping van granen optreedt in de maanden mei en juni waarna ze

afloopt tot in augustus. Dat terwijl de grootste potentiële verdamping van de suikerbieten in juni en juli plaats vindt waarna ze langzaam afloopt tot aan het eind van het groeiseizoen. Hoewel granen in het begin van het groeiseizoen potentieel veel meer verdampen dan suikerbieten is de totale potentiële verdamping per groeiseizoen voor granen toch kleiner dan voor suikerbieten, vanwege het feit dat granen vanaf de tweede decade van augustus niet meer verdampen, omdat het gewas dan al is geoogst (zie bijlage 1). Dit verklaart dan ook dat de berekende vochttekorten voor suikerbieten groter zijn dan voor granen en wel voor alle profielen.

Dat het verschil in langjarige gemiddelde vochttekort niet groter is dan 5 mm is waarschijnlijk toe te schrijven aan de lagere openwaterverdamping (door de lagere temperatuur) op het eind van de maand augustus en in september, waardoor de hogere gewasverdampingsfactoren niet resulteren in erg veel hogere potentiële verdamping en dus vochttekorten.

4.1.4 Frequentieverdeling van de berekende vochttekorten

In het voorafgaande zijn de berekende langjarige gemiddelde vochttekorten bij de verschillende gewassen voor alle profielen in de actuele situatie aan de orde geweest, waarna op de oorzaken van de verschillen tussen de uitkomsten voor de gewassen werd ingegaan.

Het langjarig gemiddelde vochttekort geeft een goede eerste indicatie over de droogtegevoeligheid. De grootte van de standaardafwijking van het gemiddeld vochttekort (tabel 8) geeft echter al aan dat er tussen de jaren onderling grote verschillen in vochttekort bestaan. Men kan dus aan de grootte van het gemiddelde vochttekort geen informatie ontleen hoe vaak een vochttekort van een bepaalde grootte voorkomt. Daarom zijn de berekende vochttekorten (uitvoer MUST2) per jaar automatisch verwerkt met het programma FREQVER (invoerverzorging voor het statistische pakket UPP, FREQVER: frequentie verdeling) om frequentieverdelingen van de berekende vochttekorten vast te stellen. Deze frequentieverdelingen geven inzicht in de grootteverdeling van de vochttekorten (1955 - 1985) door ze in te delen in een 12-tal klassen. In tabellen 9A en 9B is dit geïllustreerd voor alle profielen in de actuele situatie bij het gewas aardappelen.

Uit tabel 9B blijkt dat bijvoorbeeld voor het profiel Sn12A in 37% van de jaren het vochttekort niet groter is dan 25 mm. Op dezelfde wijze geldt dat in 23% van de jaren het vochttekort tussen de 75 en 100 mm groot is. In de tabel met absolute getallen (tabel 9A) kan direct worden afgelezen dat dit respectievelijk om 11 en 7 van de 30 jaren gaat. Opvallend is dat voor de profielen Mn15aA en Mn25A veruit het grootste aantal vochttekorten vallen in de klassen van 0 - 25 %, nl. respectievelijk 93 en 87% van de jaren. Zoals in 4.1.2 en 4.1.3 al gebleken was zijn deze twee laatste profielen het minst droogtegevoelig, hetgeen dus ook blijkt uit deze frequentieverdeling.

Tabel 9 Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen (A) en procenten (B) in de actuele situatie voor aardappelen.

A

Profiel	Klassegrootte												N
	0- 25	25- 50	50- 75	75- 100	100- 125	125- 150	150- 175	175- 200	200- 225	225- 250	250- 275	275- 300	
Sn12A	11	5	3	7	2					1		1	30
Mn12aA	9	5	4	8	2					1		1	30
Mn12bkA	9	6	3	8	2					1		1	30
Mn12bA	9	5	4	6	4					1		1	30
Mn15aA	28		1		1								30
Mn15aAz	15	5	7	1			1		1				30
Mn25A	26	2			1		1						30
Mn25Az	16	7	5				1			1			30

B

Profiel	Klassegrootte												%
	0- 25	25- 50	50- 75	75- 100	100- 125	125- 150	150- 175	175- 200	200- 225	225- 250	250- 275	275- 300	
Sn12A	37	17	10	23	7					3		3	100
Mn12aA	30	17	13	27	7					3		3	100
Mn12bkA	30	20	10	27	7					3		3	100
Mn12bA	30	17	13	20	13					3		3	100
Mn15aA	93		3		3								100
Mn15aAz	50	17	23	3			3		3				100
Mn25A	87	7			3		3						100
Mn25Az	53	23	17				3			3			100

Tabel 9 kan als volgt worden samengevat:

- voor de plaatgronden (Sn12A, Mn12bkA, Mn12bA, Mn12aA) en zavelgronden (Mn15aAz, Mn25Az) is in 28 van de 30 jaren het vochttekort niet groter dan 125 mm,
- voor de in lutum aflopende zavelprofielen (Mn15aA, Mn25A) is in 28 van de 30 jaar het vochttekort niet groter dan 50 mm,
- uit de tabellen blijkt ook dat er steeds 2 zeer hoge vochttekorten optreden (1 jaar = 3 %). Dit betreft de zeer droge jaren 1959 en 1976 waarop later nog wordt teruggekomen.

De frequentieverdelingen van de vochttekorten voor granen en suikerbieten geven hetzelfde beeld als die voor aardappelen en daarom wordt op deze verdelingen niet ingegaan. Zie hiervoor bijlage 14 en 17.

4.2 Vochttekorten voor potentiële situaties

4.2.1 Inleiding

Uit de berekeningsresultaten voor de actuele situatie (4.1) blijkt dat met name gewassen op bodemprofielen met kleiarm, matig fijn zand in de bovenste meter regelmatig worden geconfronteerd met vochttekorten. Eén van de mogelijkheden om dit vochttekort op te heffen is de grondwaterstand te verhogen. Op de invloed van deze maatregel op het vochttekort wordt hierna ingegaan. Allereerst zal worden nagegaan wat het effect is van een geringe verhoging van de grondwaterstand namelijk een verhoging van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) van 135 naar 110 cm - mv. en een verhoging van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) van 190 naar 160 cm - mv. (Gt VII naar Gt VI). Daarna voor een grotere verhoging van de grondwaterstanden namelijk een verhoging van de GVG naar 80 cm - mv. en een verhoging van de GLG naar 120 cm - mv. (Gt VII naar Gt IV).

Behalve door een verhoging van de grondwaterstand kan het vochttekort in een potentiële situatie ook verkleind worden door het toepassen van kunstmatige beregening. Hierop zal in 4.2.4 worden ingegaan.

4.2.2 Vochttekorten bij een geringe verhoging van de grondwaterstand

De gemiddelde vochttekorten

In tabel 10 staan voor een grondwaterstand VI met een gemiddelde laagste grondwaterstand van 160 cm - mv. en een gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand van 110 cm - mv. de berekende langjarige gemiddelde vochttekorten voor de acht profielen voor aardappelen, granen en suikerbieten.

Met betrekking tot de volgorde van vochttekorten op de verschillende profielen kan hier hetzelfde worden opgemerkt als voor de actuele situatie. Steeds is het vochttekort op de plaatgronden het grootst (bijv. Sn12A en Mn12bA) en op de aflopende zavelprofielen (Mn15aA en Mn25A) het geringst. Belangrijker is hier dat uit tabel 10 duidelijk naar voren komt dat het berekende gemiddelde vochttekort voor alle profielen en bij alle gewassen belangrijk lager is dan bij een grondwatertrap VII (actuele situatie) met een gemiddeld laagste grondwaterstand van 190 cm. Bij de profielen met kleiarm, matig fijn zand dieper dan 50 cm in de ondergrond, neemt door een geringe verhoging van de grondwaterstand het gemiddelde vochttekort met 14 à 26 mm af voor aardappelen. Voor granen en suikerbieten is de afname iets geringer en bedraagt 14 tot 19 mm. Procentueel gezien betekent dit voor de profielen met kleiarm matig fijn zand dieper dan 50 cm in de ondergrond meestal een afname van 25 à 40% van het gemiddeld

Tabel 10 Langjarig gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) voor aardappelen, granen en suikerbieten op 8 profielen bij een grondwaterstandsverhoging van 25 a 30 cm t.o.v. de actuele situatie (190 cm - mv.).

Profiel	Gemiddeld vochttekort					
	aardappelen		granen		suikerbieten	
	mm	s	mm	s	mm	s
Sn12A	46	61	34	49	41	61
Mn12aA	47	57	28	42	34	54
Mn12bkA	40	54	16	34	21	45
Mn12bA	53	60	33	44	39	56
Mn15aA	3	11	0	0	0	1
Mn15aAz	15	37	6	22	9	30
Mn25A	7	23	0	0	0	0
Mn25Az	13	35	5	17	6	23

vochttekort ten opzichte van de huidige situatie met grondwatertrap VII. Bij de overige profielen (Mn15aA, Mn25A) die al een geringer vochttekort hadden is de procentuele afname groter dan 50 %.

Frequentieverdeling van de berekende vochttekorten

Even als voor de actuele situatie werd voor de potentiële situatie met verhoogde grondwaterstanden van 25 à 30 cm een frequentieverdeling van de vochttekorten berekend. Bij de frequentieverdeling voor de actuele situatie valt op dat een betrekkelijk groot deel van de berekende vochttekorten in de klassen met een vochttekort groter dan 50 mm voorkomen, behalve voor de twee in lutum aflopende profielen Mn15aA en Mn25A.

In de frequentieverdeling van de vochttekorten die voor alle profielen voor het gewas aardappelen werd berekend bij een grondwatertrap VI met een GVG van 110 cm en een GLG van 160 cm (zie tabel 11) valt op dat, vergeleken met de in tabel 9 besproken verdeling, de vochttekorten verschoven zijn naar lagere klassen.

Er valt een groter percentage van de vochttekorten in de klasse 0 - 25 mm en dit geldt voor alle profielen. Ook bij de andere lage klassen is meestal een toename van het percentage, cq. het aantal jaren te constateren, hoewel in sommige gevallen het getal kleiner is omdat een groter deel naar de aangrenzende lage klasse is verschoven dan er van de aangrenzende hogere klasse is bijgekomen. De hogere uitkomsten veroorzaakt door de droge jaren 1959 en 1976, zijn in alle gevallen één à twee klassen lager in de verdeling terecht gekomen. Dit hangt samen met het zojuist besproken gemiddelde vochttekort, dat lager uitviel dan in de actuele situatie.

Tabel 11 Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen (A) en procenten (B) bij een grondwaterstandsverhoging van 25 à 30 cm t.o.v de actuele situatie.

A

Profiel	Klassegrootte												N
	0- 25	25- 50	50- 75	75- 100	100- 125	125- 150	150- 175	175- 200	200- 225	225- 250	250- 275	275- 300	
Sn12A	15	3	8	2					1		1		30
Mn12aA	14	4	6	4					1		1		30
Mn12bkA	15	6	6	1			1			1			30
Mn12bA	13	5	3	7					1		1		30
Mn15aA	29		1										30
Mn15aAz	26	2				1	1						30
Mn25A	28		1		1								30
Mn25Az	27	1			1			1					30

B

Profiel	Klassegrootte												%
	0- 25	25- 50	50- 75	75- 100	100- 125	125- 150	150- 175	175- 200	200- 225	225- 250	250- 275	275- 300	
Sn12A	50	10	27	7					3		3		100
Mn12aA	47	13	20	13					3		3		100
Mn12bkA	50	20	20	3			3			3			100
Mn12bA	43	17	10	23					3		3		100
Mn15aA	97		3										100
Mn15aAz	87	7				3	3						100
Mn25A	93		3		3								100
Mn25Az	90	3			3		3						100

Aan de hand van de frequentieverdeling kan, duidelijker dan m.b.v. de gemiddelden, geïllustreerd worden dat het verhogen van de grondwaterstanden een vermindering van de vochttekorten ten gevolge heeft. Voor de plaatgronden (bijv Sn12A en Mn12bA) kan men nu stellen dat in 28 van de 30 jaar het vochttekort kleiner is dan 100 mm (dit was 125 mm in de actuele situatie, zie tabel 9). Verder geldt voor de Mn12bA, die het meest droogtegevoelig is, dat in minimaal 43% van het aantal jaren (= 13 jaren) het vochttekort kleiner is dan 25 mm. In de actuele situatie (tabel 9B) bedroeg dit percentage 30 %.

4.2.3 Vochttekorten bij een grotere verhoging van de grondwaterstand

Zoals al in het voorafgaande is vermeld, werden twee potentiële situaties doorgerekend, nl. één met een geringe verhoging van de grondwaterstand hetgeen neerkwam op een verandering van de grondwatertrap VII (GVG = 135 cm en GLG = 190 cm) in een grondwatertrap VI (GVG = 110 cm en GLG = 160 cm) en één met een grotere verhoging van de grondwaterstand, welke inhoudt een verhoging van de grondwaterstand van grondwatertrap VII naar grondwatertrap IV (GVG = 80 cm en GLG = 120 cm). De effecten van deze grotere verhoging van de grondwaterstand worden hier besproken.

De gemiddelde vochttekorten

In tabel 12 staan voor grondwatertrap IV de berekende gemiddelde vochttekorten voor de acht profielen bij aardappelen, granen en suikerbieten.

Tabel 12 Langjarig gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) voor aardappelen, granen en suikerbieten op 8 profielen bij een grondwaterstandsverhoging van 55 à 70 cm t.o.v. de actuele situatie (190 cm - mv.).

Profiel	Gemiddeld vochttekort					
	aardappelen		granen		suikerbieten	
	mm	s	mm	s	mm	s
Sn12A	7	27	5	19	8	27
Mn12aA	3	12	2	9	3	11
Mn12bkA	1	6	0	0	0	2
Mn12bA	3	12	1	6	3	12
Mn15aA	0	0	0	0	0	0
Mn15aAz	1	5	0	0	0	1
Mn25A	1	6	0	0	0	0
Mn25Az	0	0	0	0	0	0

Hier valt als eerste op dat de vochttekorten duidelijk minder zijn en dat de grootste vochttekorten nu optreden bij profiel Sn12A en niet meer bij het profiel Mn12bA zoals bij de situatie met diepere grondwaterstanden (Gt VII en Gt VI, resp. tabel 8 en 10) wel het geval was. De sterke afname van het vochttekort ten opzichte van de actuele situatie wordt veroorzaakt door de grotere capillaire opstijging als gevolg van de ondiepere grondwaterstand en de grotere vochtvoorraad in de wortelzone aan het begin van het groeiseizoen. Met name de laatstgenoemde factor is, omdat deze samenhangt met de voorjaarsgrondwaterstand en de vocht karakteristiek, de oorzaak voor het feit dat de Sn12A met de kleiige bovengrond bij een ruime verhoging van de grondwater-

In tabel 13 valt op dat het merendeel van de berekende vochttekorten nu valt in de klasse 0 - 25 mm, hetgeen inhoudt dat in 28 à 29 van de 30 jaar het vochttekort niet groter is dan 25 mm. Dit geldt dus bij de potentiële situatie met een GVG van 80 cm en een GLG van 120 cm. Dit is, vergeleken met de actuele situatie en de potentiële situatie bij een Gt VI een grote vermindering van de vochttekorten (25 tot 50 mm) en tevens een relatief sterkere reductie en verschuiving van de vochttekorten dan bij de overgang van actuele situatie naar potentiële situatie met GVG 110 en GLG 160 (grondwatertrap VI). Het blijkt dat bij een grondwatertrap IV slechts in extreem droge jaren (1959 en 1976) een vochttekort groter dan 25 mm optreedt.

4.2.4 Berekening

4.2.4.1 Inleiding

In 4.2.3 is besproken welke vochttekorten bij aardappelen worden berekend wanneer men de grondwaterstand verhoogt van een grondwatertrap VII (GVG = 135, GLG = 190) naar een grondwatertrap VI (GVG = 110, GLG = 160) en naar een grondwatertrap IV (GVG = 80, GLG = 120). Gebleken is dat het berekende vochttekort dan geringer is dan in de actuele situatie waar een Gt VII voorkomt. Vermindering van de, in de actuele situatie regelmatig optredende vochttekorten kan, behalve door het verhogen van de grondwaterstanden (hetgeen waterhuishoudkundig moeilijk te realiseren is), ook gebeuren door kunstmatig te beregenen. Hierna, in 4.2.4.2 zal worden besproken hoe groot de hoeveelheid water (in mm) is die men aan elk van de 8 profielen zal moeten toedienen om te voorkomen dat de drukhoogte in de wortelzone beneden een bepaalde waarde daalt. De rekenprocedure houdt in het kort in dat, wanneer tijdens een decade de drukhoogte in de wortelzone ten gevolge van uitdroging beneden een van te voren gekozen drempelwaarde daalt, de berekening voor de betreffende decade opnieuw wordt gestart na een beregeningsgift van 20 mm. Dit wordt gedaan voor twee waarden van de drukhoogte in de wortelzone nl. $h = -1000$ cm ($pF = 3.0$) en $h = -500$ cm ($pF = 2.7$). In eerste instantie werd gerekend met een waarde van de drukhoogte van $h = -1000$ cm. Later werd ook nog gerekend met een h -waarde van -500 cm omdat het gewas aardappelen niet goed in staat is om moeilijk beschikbaar vocht (bij een drukhoogte kleiner dan -500 cm) op te nemen waardoor het nodig is om meer water toe te dienen door beregening. Voor een uitgebreide beschrijving van de rekenprocedure zie Van Lanen (1983).

Tevens zal worden nagegaan hoe groot het resterende vochttekort is dat wordt berekend voor de situatie na beregening met de berekende hoeveelheid water. De toegediende beregeningsgift van x maal 20 mm is namelijk niet altijd toereikend om de vochtvoorraad voldoende aan te vullen voor een potentiële verdamping. Bovendien treedt er ook een reductie van de potentiële verdamping op als de drukhoogte $h > -500$ cm is (3.2). Het resterende

vochttekort zal in verband worden gebracht met de toegediende hoeveelheden beregeningswater en met de oorspronkelijke vochttekorten in de actuele situatie (grondwatertrap VII).

4.2.4.2 Beregeningsgift en resterend vochttekort

Zoals in 4.2.4.1 uiteengezet werd, werd in eerste instantie berekend hoeveel water beregend zou moeten worden om de drukhoogte in de wortelzone boven de drempelwaarde $h = -1000$ cm ($pF < 3.0$) te handhaven.

In tabel 14 staan voor de 8 profielen de berekende langjarige (30 jaar) gemiddelde resterende vochttekorten en de gemiddelde beregende hoeveelheden (in mm) om de drukhoogte in de wortelzone groter dan $h = -1000$ cm te houden. Verder staat in de rechterkolom weergegeven hoe groot het vochttekort (in mm) was voor het gewas aardappelen in de actuele situatie.

Tabel 14 Langjarig gemiddeld resterend vochttekort (mm) bij aardappelen, de gemiddelde beregeningshoeveelheden (drempelwaarde $h = -1000$ cm) en het vochttekort in de actuele situatie (Gt VII) en de standaardafwijking voor de vochttekorten (s).

Profiel	Vochttekort na berekening		Beregende hoeveelheid (mm) bij drempelwaarde $h = -1000$ cm	Vochttekort in actuele situatie	
	mm	s		mm	s
	Sn12A	23		27	49
Mn12aA	23	26	57	65	62
Mn12bkA	24	26	51	62	62
Mn12bA	24	27	59	68	63
Mn15aA	3	8	5	6	22
Mn15aAz	13	22	38	40	54
Mn25A	7	13	11	15	33
Mn25Az	14	20	28	35	51

Uit tabel 14 kan men de verschillen voor de 8 profielen voor wat betreft de hoeveelheid water die toegediend moet worden en het vochttekort na berekening afleiden. Zo blijkt dat aan het Sn12A profiel, gemiddeld over 30 jaar 49 mm water moet worden toegediend terwijl daarbij nog een vochttekort van (eveneens gemiddeld) 23 mm blijft bestaan. Met de toegediende 49 mm water is het vochttekort van 60 mm in de actuele situatie (Gt VII) dus maar gedeeltelijk opgelost. Evenzo blijkt dat aan het profiel Mn12bA dat oorspronkelijk het grootste vochttekort had van 68 mm, gemiddeld 59 mm water dient te worden toegediend om de drukhoogte h in de wortelzone > -1000 cm te houden. Toch blijft gemiddeld nog een vochttekort bestaan van 24 mm. Voor het nauwelijks

droogtegevoelige profiel Mn15aA, waar gemiddeld een langjarig vochttekort van 6 mm was berekend bij een grondwatertrap VII dient gemiddeld 5 mm te worden berekend waarna ook hier toch nog een vochttekort blijft bestaan van 3 mm.

Om de vochttekorten die overblijven na berekening kleiner te maken zal berekend moeten worden bij een geringere graad van uitdroging van de wortelzone. Zodoende is opnieuw gerekend voor een drempelwaarde van de drukhoogte van $h = -500$ cm ($pF = 2.7$). Indien de drukhoogte beneden deze drukhoogte komt dan wordt er dus 20 mm berekend. In tabel 15 is voor deze drempelwaarde op dezelfde wijze als in tabel 14 voor de 8 profielen weergegeven hoe groot de resterende vochttekorten en de beregende hoeveelheden zijn.

Tabel 15 Langjarig gemiddeld resterend vochttekort (mm) bij aardappelen, de gemiddelde beregeningshoeveelheden (drempelwaarde $h = -500$ cm) en het vochttekort in de actuele situatie (Gt VII) en de standaardwijking voor de vochttekorten (s).

	Vochttekort na berekening		Beregende hoeveelheid (mm) bij drempelwaarde $h = -500$ cm	Vochttekort in actuele situatie	
	mm	s		mm	s
Sn12A	8	22	78	60	66
Mn12aA	9	23	87	65	62
Mn12bkA	8	22	85	62	62
Mn12bA	9	23	89	68	63
Mn15aA	1	4	11	6	22
Mn15aAz	6	19	58	40	54
Mn25A	2	8	31	15	33
Mn25Az	5	16	53	35	51

Uit tabel 15 blijkt dat de hoeveelheid water die moet worden toegediend veel groter is dan in de vorige situatie (met drempelwaarde $h = -1000$ cm), terwijl ook nu nog een, zij het veel geringer, vochttekort blijft bestaan. Zo blijkt dat voor de Sn12A gemiddeld zo'n 30 mm water extra moet worden toegediend (78 mm totaal) om het resterende vochttekort terug te brengen van 23 mm (pF 3.0) naar 8 mm. Dit geldt ook voor de andere profielen. Voor de Mn12bA blijkt gemiddeld 30 mm water extra nodig om het vochttekort 15 mm terug te dringen tot 9 mm.

Kortom, hier blijkt duidelijk dat, t.o.v. de vorige situatie (met drempelwaarde $h = -1000$ cm) veel water extra nodig is om het vochttekort te reduceren. Met andere woorden de efficiency van het toegediende water (afname verdamping/ beregende hoeveelheid) is gering. Deze lage efficiency was reeds berekend voor de zandgronden (Van Lanen, 1983 en 1985, Van Boheemen en Reuling, 1984 en De Laat, 1985). Aangezien voor aardappelen rekening moet worden gehouden met het feit dat de aardappelplant zeer veel moeite heeft om sterk gebonden water op te nemen en dit ten koste gaat

van de opbrengst (Van Loon, 1979) zal voor dit gewas zeker rekening moeten worden gehouden met het uitvoeren van beregeningen bij drukhoogten kleiner dan $h = -500$ cm in de wortelzone. Om in de wortelzone drukhoogten groter dan $h = -500$ te handhaven zal met grote hoeveelheden water (per groeiseizoen) moeten worden beregend. Daarbij dient dan nog te worden bedacht dat ook dan nog een gering vochttekort blijft bestaan.

4.2.4.3 Beregening van enkele gronden in het jaar 1983

Elders kwam al naar voren dat langjarige gemiddelden slechts een beperkt inzicht geven in de te bestuderen problematiek. Daarom wordt in deze paragraaf voor één jaar, nl. 1983 voor een viertal gronden nagegaan hoeveel beregening bij aardappelen nodig is en hoe deze beregening verdeeld is over het groeiseizoen en gekoppeld aan de drukhoogte in de wortelzone. Het potentiële neerslagtekort voor aardappelen bedraagt ca 70 mm (bijlage 1) in 1983 in de Braakmanpolder.

Gekozen is voor twee van de plaatgronden, nl. Sn12A en Mn12bA en de twee aflopende zavelprofielen Mn15aA en Mn25A. Ook hier worden twee situaties met elkaar vergeleken, te weten:

- beregening bij drukhoogte van $h < -1000$ cm ($pF > 3.0$)
- beregening bij drukhoogte van $h < -500$ cm ($pF > 2.7$)

om te illustreren hoe daardoor de grootte van de beregeningsgift wordt beïnvloed. In tabel 16 staan enkele resultaten weergegeven voor de situatie dat wordt beregend wanneer de drukhoogte in de wortelzone kleiner dan $h = -1000$ cm ($pF > 3.0$) wordt. Per decade wordt voor elk van de 4 profielen de drukhoogte in de wortelzone (45 cm voor aardappelen) gegeven en eventueel een beregeningsgift van 20 mm per decade. In tabel 16 is af te lezen dat voor de Sn12A de drukhoogte in de wortelzone vanaf de 9e decade (eind juni) af gaat nemen tot een waarde die blijkbaar in de 10e decade kleiner dan $h = -1000$ cm was geworden want in deze decade is 20 mm beregend. Door deze beregeningsgift is de drukhoogte dan weer hoger geworden en uitgekomen op -522 cm.

Hetzelfde beeld treffen we aan in de 11e, 12e, 14e en 15e decade waarin de drukhoogte boven de -1000 cm ($pF < 3.0$) is gebleven vanwege de toegediende 20 mm beregening. Opgemerkt kan worden dat de uitdroging in de 13e decade (begin augustus) vrij hoog was opgelopen tot een drukhoogte van -965 cm (bijna $pF = 3.0$) terwijl daarbij niet werd beregend. Doordat de beregening pas wordt uitgevoerd wanneer de drukhoogte precies -1000 cm of minder is kan een dergelijke situatie voorkomen.

Omdat de potentiële verdamping bij aardappelen al gaat reduceren beneden een drukhoogte van $h = -500$ cm (3.2) treedt er dus van eind juni tot en met begin september een vochttekort op. Ondanks de beregening treedt er dus een resterend vochttekort op van 24 mm.

Tabel 16 Drukhoogten in cm in de wortelzone van aardappelen van 4 profielen in 18 decaden van het groeiseizoen 1983 waarin 20 mm per decade beregend wordt als de drukhoogte kleiner wordt dan $h = -1000$ cm ($pF > 3.0$).

Decade nummer	Neer-slag (mm)	Potentiële verdamping (mm)	Sn12A drukhoogte (cm)	Mn12bA drukhoogte (cm)	Mn15aA drukhoogte (cm)	Mn25A drukhoogte (cm)	
1(april)	38	6	-69	-65	-53	-52	
2	21	8	-70	-61	-53	-53	
3	45	10	-61	-25	-37	-36	
4(meï)	31	10	-60	-2	-42	-43	
5	35	14	-58	-1	-43	-44	
6	27	21	-62	-1	-54	-55	
7(juni)	12	37	-102	-46	-97	-114	
8	00	42	-296	-169	-168	-356	
9	18	36	-505	-241	-173	-314	
10(juli)	35	40	-522	20 -547	-221	-511	
11	20	40	-891	20 -857	20 -452	-575	20
12	44	39	-560	20 -516	20 -404	-548	
13(aug.)	14	32	-965	-899	-456	-666	
14	23	23	-765	20 -728	20 -568	-881	
15	20	25	-785	20 -743	20 -838	-530	20
16(sept.)	13	19	-849	-802	-537	-413	
17	57	14	-195	-186	-161	-126	
18	03	9	-227	-234	-189	-177	
	totale gift		100 mm	80 mm	0 mm	40 mm	
	resterend vochttekort		24 mm	21 mm	5 mm	10 mm	
	oorspronkelijk tekort		104 mm	77 mm	5 mm	34 mm	
	efficiency		80%	70%		60%	

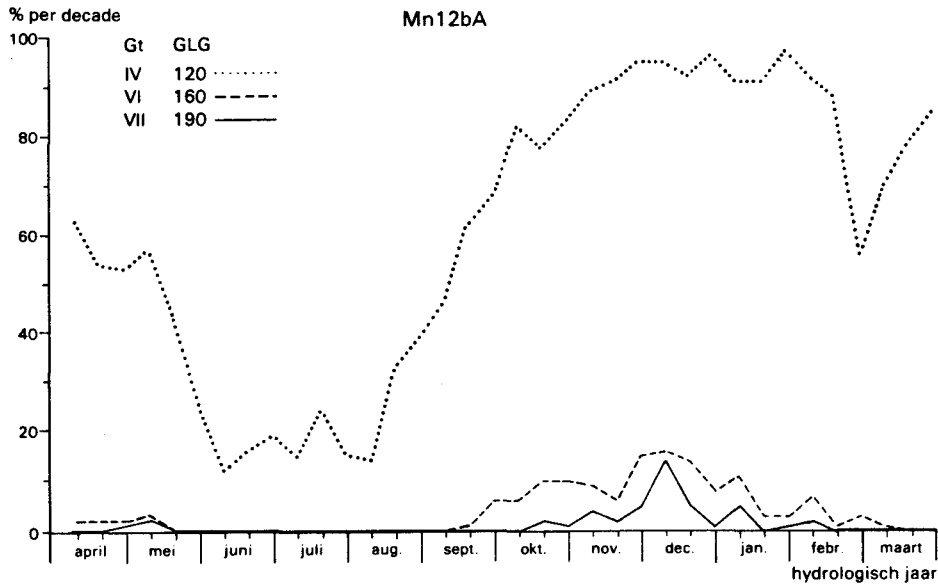
In totaal werd in 1983 op het Sn12A profiel 100 mm water beregend, verdeeld over 5 decaden. Aangezien het oorspronkelijk vochttekort voor de Sn12A 104 mm bedroeg was de efficiency van watertoediening 80 %. (N.B. efficiency berekend als $(X-Y)/Z * 100$ waarbij $X =$ oorspronkelijk vochttekort, $Y =$ resterend vochttekort en $Z =$ watergift) Op dezelfde manier kan worden afgelezen dat op het profiel Mn12bA 80 mm werd beregend, verdeeld over 4 decaden (de 11e, 12e, 14e en 15e) waarin de drukhoogte zonder berekening onder de -1000 cm zou komen. Duidelijk komt uit de tabel naar voren dat de beregeningsgift voor de besproken plaatgronden groter is dan voor de twee aflopende zavelprofielen: Mn15aA en Mn25A, welke resp. 40 mm en 0 mm beregening nodig hebben om de drukhoogte op het juiste peil te houden.

Zoals al eerder naar voren was gekomen is het lichte zavelprofiel Mn15aA een van de minst droogtegevoelige profielen van de 8 en daarom was te verwachten dat beregening op dit profiel niet nodig zou zijn. In tabel 17 is dezelfde informatie gegeven als in tabel 16 alleen nu voor de situatie waarbij beregend wordt (met 20 mm) wanneer de drukhoogte in de wortelzone onder de waarde van $h = -500$ cm ($pF > 2.7$) komt.

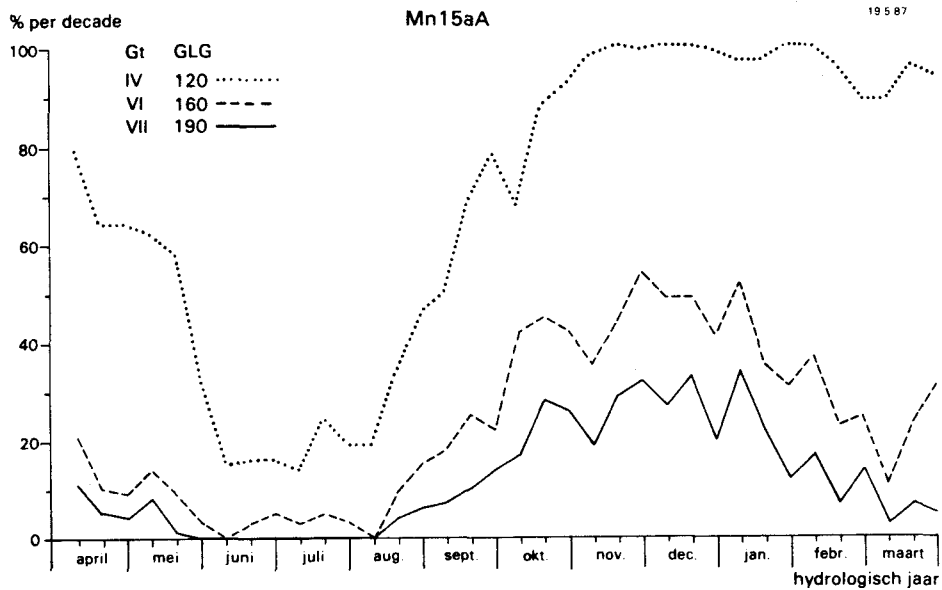
voren gekomen dat het berekende vochttekort voor de actuele situatie veel groter was dan die bij een geringe respectievelijk een grotere verhoging van de grondwaterstand en die bij berekening. Op grond daarvan zou men gemakkelijk kunnen adviseren de grondwaterstanden in het gebied van de Braakmanpolder te verhogen tot een Gt IV, met een GHG van 50 cm en een GLG van 110 cm. Dit omdat bekend is dat in dit gebied verdrogingsverschijnselen in de gewassen optreden bij de veel voorkomende grondwaterstand met GHG van 110 cm en een GLG van 190 cm (Gt VII).

Om na te gaan of een dergelijk advies juist zou zijn moet worden onderzocht of de sterke verminderingen van het vochttekort zoals die worden berekend niet worden vergezeld van onvoorziene negatieve aspecten zoals o.a. een te natte bovengrond, als gevolg waarvan de bewerkbaarheid wordt beperkt. Een dergelijk onderzoek is eveneens uitgevoerd met behulp van een simulatiemodel en wel voor twee profielen met uiteenlopende eigenschappen: een aflopend lichte zavelprofiel (Mn15aA) en een plaatgrond (Mn12bA). Het vaststellen van de bewerkbaarheid van de bovengrond vond plaats door de drukhoogte op 5 cm diepte te berekenen met behulp van het simulatieprogramma ONZAT. Met behulp van dit simulatieprogramma kan de stroming van water in het onverzadigde deel van de bodem zeer nauwkeurig worden beschreven. Voor een beschrijving van ONZAT zie Van Drecht (1983). Met behulp van het programma ONZAT werd berekend hoe groot de drukhoogte in de bovengrond is bij verschillende ontwateringssituaties nl. een grondwatertrap VII (GHG = 110, GLG = 190), een grondwatertrap VI (GHG = 75, GLG = 160) en een grondwatertrap IV (GHG = 50, GLG = 110). Het model berekent de drukhoogte op een diepte van 5 cm beneden het maaiveld en doet dit voor elke dag voor de dertigjarige periode van 1955 - 1984. Met behulp van verwerkingsprogrammatuur (TRAJECT en GEMIT) is vervolgens bepaald of de drukhoogte kleiner dan wel groter is dan een bepaalde drempelwaarde. De drempelwaarde is gelegd bij een drukhoogte van $h = -70$ cm. Indien de berekende drukhoogte op een bepaalde dag kleiner is dan de drempelwaarde (de grond is dan dus droger) dan is de grond bewerkbaar, is de drukhoogte echter groter dan is de grond onbewerkbaar (zie ook Van Wijk en Feddes, 1986 en Van Lanen et al., 1987). Op grond van de analyse per dag over een 30 jarige periode kan voor elke decade aangegeven worden wat de gemiddelde kans is op een onwerkbare dag. Op deze wijze zijn in de figuren 8 en 9 voor de Mn12bA en de Mn15aA uitgezet: het over dertig jaren gemiddelde percentage van de dagen per decade dat de grond onbewerkbaar is.

Uit figuur 8 blijkt dat voor grondwatertrap VI en VII bij de Mn12bA nooit meer dan 15% van het aantal dagen per decade (=1.5 dag in decade) de drukhoogte groter is dan -70 cm ofwel dat op deze plaatgrond de grond vrijwel nooit zo nat is dat men de bovengrond niet kan berijden cq. bewerken. Wanneer de grondwaterstand echter hoger is, nl. een grondwatertrap IV dan wordt het percentage dagen per decade dat de grond niet bewerkbaar is veel groter, althans in een groot deel van het jaar. Met name in de maanden dat de hoofdgrondbewerking september, oktober, de zaai- en oogstbereiding maart, april en de oogstwerkzaamheden september t/m november van rooivuchten moeten worden uitgevoerd is de grond in meer dan de helft van de dagen niet bewerkbaar. In figuur 9



Figuur 8 Het gemiddelde percentage dagen per decade bij drie ontwateringstoelstanden dat een plaatgrond Mn12bA onbewerkbaar is



Figuur 9 Het gemiddelde percentage dagen per decade bij drie ontwateringstoelstanden dat een zavelgrond Mn15aA onbewerkbaar is

is de bewerkbaarheid uitgezet voor het aflopende lichte zavelprofiel Mn15aA. Het aantal dagen dat deze zavelgrond bij een grondwatertrap VI en VII bewerkbaar is, is dus met name in de winter, maar ook in het voorjaar, duidelijk geringer dan bij de plaatgrond Mn12bA. Ook hier is duidelijk uit de figuur af te lezen dat het percentage onwerkbaar dagen per decade bij een grondwatertrap IV erg hoog is. In de maanden juni en juli is zij nog 20%, maar vanaf september is zij al meer dan 60% en loopt zelfs op tot 100% in november tot en met januari. Deze grond is bij een grondwatertrap IV vanaf september tot half mei moeilijk te bewerken en veelal te nat.

5 BETROUWBAARHEID VAN DE RESULTATEN

5.1 Inleiding

Wanneer men wil toetsen of de berekende vochttekorten overeenkomen met de in werkelijkheid optredende vochttekorten, doet zich de moeilijkheid voor dat deze laatste niet meetbaar zijn. Een moderne methode om de werkelijk optredende vochttekorten nauwkeurig af te leiden is gebaseerd op remote sensing (Nieuwenhuis, et al. 1985). Deze methode meet overigens niet het vochttekort als seizoenswaarde maar de bladtemperatuur waaruit de verdampingsreductie (potentiële - werkelijke verdamping) voor een bepaalde dag voor een groot aantal verschillende locaties kan worden afgeleid. Mits meerdere malen per seizoen een opname kan worden gemaakt biedt remote sensing de mogelijkheid om simulatiemodellen die het vochttekort berekenen te valideren. Validatie door remote sensing kon voor dit onderzoek echter niet worden toegepast. Wel is er tijdens een excursie naar de Braakmanpolder in september '86 een globale validatie uitgevoerd door veldbodemkundigen die constateerden dat de berekende vochttekorten voor de bestudeerde profielen en de onderlinge verschillen en overeenkomsten goed in overeenstemming zijn met hun verwachtingen. Op grond daarvan kan worden gesteld dat de berekende vochttekorten de werkelijk optredende vochttekorten redelijk benaderen.

Ondanks de gunstige uitkomsten van deze validatie blijven er verschillen tussen berekende en werkelijke vochttekorten optreden omdat:

- het modelconcept de werkelijkheid slechts benaderd,
- de onnauwkeurigheid van de invoergegevens.

In dit hoofdstuk zal getracht worden een indruk te geven van de invloed van aannamen die gedaan zijn bij de invoer van gegevens door deze te variëren en te bestuderen welke invloed dit heeft op de berekende vochttekorten. Er wordt een aantal zogenaamde gevoeligheidsanalyses uitgevoerd die hierna worden beschreven.

Deze gevoeligheidsanalyses hebben als voordeel dat men een beter inzicht krijgt in de invloed van de verschillende invoergegevens op de resultaten die in hoofdstuk 4 werden weergegeven. Soortgelijke gevoeligheidsanalyses voor andere gronden zijn uitgevoerd door Van Bakel (1979), Bouma en Van Heesen (1979), De Laat (1980) en Van Lanen (1981b).

5.2 Uitvoering van de gevoeligheidsanalyse

Zoals reeds in hoofdstuk 3 werd uiteengezet, zijn voor de berekening van de vochttekorten 3 categorien gegevens nodig, te weten:

- a. de meteorologische gegevens;
- b. de bodemkundige en bodemfysische gegevens;
- c. de hydrologische gegevens.

Aangezien de nauwkeurigheid van deze gegevens soms te wensen overlaat, zal per categorie worden ingegaan op de effecten die andere waarden van de gegevens op de berekende vochttekorten hebben. Dit wordt gedaan voor alle 8 onderscheiden bodemprofielen voor het gewas aardappelen. Voor aardappelen is gekozen omdat dit het gevoeligste gewas is voor vochttekorten. Steeds wordt dus opnieuw gerekend met gedeeltelijk veranderde invoergegevens om de uitkomsten van de berekeningen te vergelijken met de in hoofdstuk 4 berekende uitkomsten voor de actuele situatie. Gemakshalve worden deze uitkomsten de referentiewaarden genoemd en ze zijn verkregen door, voor het gewas aardappelen, te rekenen met de volgende invoergegevens:

- Meteorologische: - neerslagcijfers;
 - open waterverdampingscijfers;
 - gewasverdampingsfactoren volgens tabel 1.
- Bodemkundige en: - bewortelingsdiepte van 45 cm;
 bodemfysische gegevens - doorlaatkarakteristieken volgens tabel 5;
 - geen hysteresis.
- Hydrologische: - gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand of GVG = 135 cm - mv.;
 - gemiddelde laagste grondwaterstand of GLG = 190 cm - mv.;
 - slootdiepte 120 cm - mv.

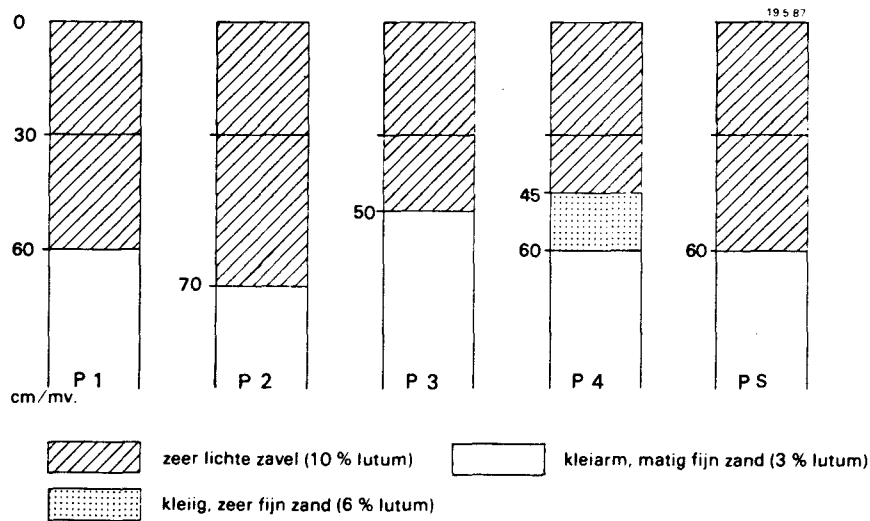
De effecten van het rekenen met andere waarden voor al deze invoergegevens op de berekende vochttekorten zullen worden besproken aan de hand van de langjarige (30 jaar) gemiddelde vochttekorten. De reden hiervoor is dat met deze cijfers het effect van de verandering duidelijk is te maken zodat niet verder hoeft te worden ingegaan op de frequentieverdelingen en andere rekenuitkomsten. De frequentieverdelingen behorend bij de gevoeligheidsanalyses staan vermeld in bijlagen 9-14.

5.3 De bodemkundige en bodemfysische gegevens

5.3.1 De variabiliteit binnen een kaarteenheid

Zoals in hoofdstuk 4 besproken is, zijn de vochttekorten bepaald voor 8 profielen. Deze acht profielen zijn beschreven in 3.3.1. Voor deze 8 profielen is gekozen omdat deze profielen een groot deel van de gekarteerde oppervlakte uitmaken. De 8 profielen zijn echter gemiddelde profielen, d.w.z. dat elk profiel van deze 8 is voortgekomen uit profielen met verschil in dikte en textuur van een horizont die tot dezelfde kaarteenheid behoren. Het nadeel van een gemiddeld profiel is dat niet duidelijk wordt hoe groot het vochttekort is voor elk profiel waaruit het gemiddelde profiel is ontstaan.

Om een indruk te krijgen van de grootte van de vochttekorten van de profielen binnen de kaarteenheid Mnl2aA zijn hiervan vier profielen doorgerekend en de vochttekorten bepaald. De profielen van het gemiddelde profiel Mnl2aA zijn in figuur 10 weergegeven.



Figuur 10 De profielen P1, P2, P3 en P4 waaruit het gemiddelde profiel Mnl2aA (PS) is opgebouwd

Bij vergelijking van de 4 profielen valt op dat met name de dikte van de horizont met zeer lichte zavel, boven op het kleiarme zand, nogal varieert (0 - 45 à 70 cm). In één profiel (no. P4) komt een 15 cm dik kleiig, zeer fijn zandlaagje voor.

De uitkomsten van de berekeningen zijn vermeld in tabel 18. Hierin staan voor de 4 profielen P1 tot P4 en het gemiddelde profiel PS de gemiddelde vochttekorten, de maximale vochttekorten die in 30 jaar zijn opgetreden, en de standaardafwijkingen vermeld.

Tabel 18 Gemiddeld en maximum (vochttekort in 30 jaar) met standaardafwijking (s) voor de vier profielen P1, P2, P3 en P4 van Mnl2aA en het gemiddelde Mnl2aA profiel (Ps).

	Vochttekort (mm)		
	gemiddeld	maximum	s
P1	64	280	62
P2	57	269	60
P3	71	289	64
P4	65	283	63
Ps	65	280	62

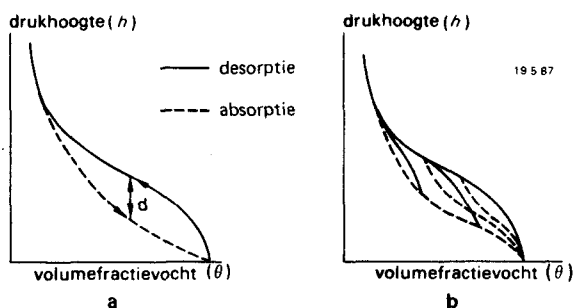
Uit tabel 18 blijkt dat de gemiddelde vochttekorten voor de 4 profielen weinig variëren, nl. van 57 mm (P2) tot 71 mm (P3). Deze gemiddelde vochttekorten wijken niet noemenswaardig af van die van het gemiddelde profiel PS (65 mm). Dit geldt ook voor de standaardafwijking en de maximum vochttekorten. De maximale vochttekorten van de vier profielen variëren relatief nog minder en bedragen ca. 280 mm. Voor wat betreft het berekende gemiddelde vochttekort voor de profielen P1 en P2 kan opgemerkt worden dat het verschil tussen die twee (ca. 7 mm) wordt veroorzaakt door de 10 cm dikkere laag zeer lichte zavel op het kleiarme zand bij P2. Op soortgelijke wijze kan het verschil tussen P1 en P3 worden verklaard. Ook hier is er sprake van een verschil in dikte van

de horizont van zeer lichte zavel boven het kleiarme zand ten gunste van P1 waar zich 10 cm meer lichte zavel op het kleiarm, matig fijne zand bevindt dan bij P3. Ook hier wordt voor het profiel met de dunste laag zeer lichte zavel op het kleiarme zand (P3) het grootste vochttekort berekend. Uit de berekende vochttekorten voor P1, P2 en P3 blijkt dat wanneer de dikte van de laag lichte zavel op kleiarm zand met 10 cm toeneemt het langjarig gemiddelde vochttekort met 7 mm afneemt. Het vochttekort van profiel P4 (met een 15 cm dikke laag van kleiig, zeer fijn zand op een diepte van 45 tot 60 cm) is ongeveer van dezelfde grootte als die voor profiel P1 nl. 65 mm. Beide profielen gaan op een diepte van 60 cm over in kleiarm matig fijn zand. Het verschil tussen beide profielen is het kleiige zand van 45 - 60 cm in P4. De zeer lichte zavel en het kleiige, zeer fijne zand, hebben op deze diepte (45 - 60 cm) bij een grondwatertrap VII weinig invloed op het vochttekort.

Concluderend kan worden gesteld dat de verschillen tussen de berekende gemiddelde vochttekorten voor de verschillende profielen van Mn12aA betrekkelijk gering zijn ten opzichte van het gemiddelde profiel. Het verschil in langjarig gemiddelde vochttekort bedraagt maximaal 10 %. Voor het maximale vochttekort zijn deze verschillen kleiner. Op grond hiervan kunnen de verschillende profielen worden samengenomen tot één gemiddeld profiel. Dit bespaart tevens veel computerrekening.

5.3.2 Het optreden van hysteresis

Vaak wordt de indruk gewekt dat er van een bepaald soort bodem-materiaal slechts één vocht karakteristiek bestaat, nl. die welke op grond van uitdroging van een verzadigd monster wordt bepaald (desorptiecurve). Dit is echter niet het geval, want men kan ook een vocht karakteristiek bepalen van een uitgedroogd grondmonster dat bevochtigd wordt (absorptiecurve). De vorm van deze curve is meestal anders dan die van de desorptiecurve zoals in figuur 11 is geïllustreerd.



Figuur 11 Hysteresis: de vocht karakteristiek is bij absorptie anders dan bij desorptie: a. Primaire curven van één grondmonster (d geeft afstand tussen beide curven weer); b. curven bij afwisselend indrogen en bevochtigen. Bron: Sluijs, P. van der, 1985b

Uit figuur 11 blijkt dat bij eenzelfde drukhoogte de grond natter is bij desorptie dan bij absorptie. Dit verschijnsel wordt hysteresis genoemd.

In eerste instantie is er bij de berekening van de vochttekorten geen rekening gehouden met het optreden van hysteresis. Deze vereenvoudiging van de werkelijkheid heeft consequenties voor de uitkomsten van de vochttekorten. De werkelijke vochttekorten zullen dan ook anders zijn dan die welke op deze wijze berekend werden.

Het simulatiemodel MUST2 biedt echter de mogelijkheid om wel rekening te houden met het verschijnsel hysteresis. Dit kan men doen door aan te geven hoever de desorptie- en absorbtiecurve uit elkaar liggen: de hysteresis factor. Zie ook figuur 11 waarin met het lijntje d de afstand tussen desorptie en absorbtiecurve is aangegeven. Voor de referentie werd gerekend met een hysteresis-factor van 0, met andere woorden de desorptie- en absorbtiecurve vallen samen. Voor de gevoeligheids analyse is gerekend met een hysteresis-factor 0.5. De uitkomsten van de berekeningen zijn samengevat in tabel 19.

Tabel 19 Langjarige gemiddelde vochttekorten (mm) en standaardafwijking (s) bij een waarde van de hysteresis factor van 0.5 en 0.0 (de referentiewaarde).

Profiel	Gemiddeld vochttekort		Referentie waarde mm
	mm	s	
Sn12A	63	65	60
Mn12aA	68	59	65
Mn12bkA	66	60	62
Mn12bA	74	61	68
Mn15aA	6	22	6
Mn15aAz	44	54	40
Mn25A	16	33	15
Mn25Az	39	51	36

Uit tabel 19 blijkt dat de vochttekorten die nu berekend worden iets groter zijn dan bij de referentieberekening. Dit komt omdat bij bevochtiging van de wortelzone door neerslag een groter deel van de neerslag naar de ondergrond verdwijnt (in de situatie met hysteresis), waardoor minder water in de wortelzone wordt opgeslagen. Het verschil is echter niet groot, nl. maximaal 6.0 mm ofwel 9 %. Deze verschillen met de uitkomsten van de vochttekorten bij de referentieberekening zijn zo klein dat gesteld mag worden dat het optreden van hysteresis geen grote invloed heeft op de berekende vochttekorten.

5.3.3 Doorlaatkarakteristieken

In hoofdstuk 3.3.2.3 is uiteengezet dat voor 4 typen van ondergronden de doorlaatkarakteristieken zijn bepaald. Daarbij kwam de moeilijkheid ter sprake van het bepalen van de juiste lijn (de K-h relatie) door de meetpunten (zie figuur 6). Er konden meerdere lijnen getrokken worden voor de ondergrondtypen 1, 2 en 3. Voor al deze doorlaatkarakteristieken (K-h relaties) werd de kritieke stijgafstand bepaald waarbij ervan uitgegaan werd dat het hele profiel uit dezelfde textuur bestaat. Deze kritieke stijgafstanden zijn samengevat in tabel 4 (hoofdstuk 3.3.2.3).

Het bleek moeilijk om de juiste (in de zin van de enig juiste) doorlaatkarakteristiek aan te geven. Toch werd er voor elk van de textuurtypen (no. 1 t/m 3 van tabel 4) een doorlaatkarakteristiek gekozen en wel die waarvan de kritieke stijgafstand een waarde heeft welke overeenkomt met de, op grond van ervaring ingeschatte, droogtegevoeligheid op gronden van deze textuur. Dit zijn de doorlaatkarakteristieken waarvan de kritieke stijgafstanden in tabel 4 gemerkt zijn met een sterretje (resp. 90, 100 en 147 cm). Met deze doorlaatkarakteristieken werd gerekend en zijn de in hoofdstuk 4 gegeven vochttekorten bepaald. Maar omdat onvoldoende bekend was welke invloed een bepaalde doorlaatkarakteristiek heeft op de grootte van de berekende vochttekorten is in het kader van deze gevoeligheidsanalyse gerekend met enkele andere doorlaatkarakteristieken uit tabel 4. In tabel 20 staat voor elk profiel per laag aangegeven met welke doorlaatkarakteristiek (via het bouwsteennummer) is gerekend in het kader van de gevoeligheidsanalyse (vgl. tabel 5).

Tabel 20 De doorlaatkarakteristieken (K-h relaties) die bij de gevoeligheidsanalyse werden gebruikt bij aardappelen.

Profiel	laag 1		laag 2		laag 3	
	diep- te')	bouw- steennr.	diep- te')	bouw- steennr.	diep- te')	bouw- steennr.
Sn12A	45-50	1	>50	4		
Mn12aA	45-60	6	>60	4		
Mn12bkA	45-60	6	60-70	1	>70	4
Mn12bA	45-60	6	>60	4		
Mn15aA	>45	5				
Mn15aAz	45-50	5	50-100	1	>100	4
Mn25A	45-50	6	>50	6		
Mn25Az	45-60	6	>60	1		

') cm t.o.v. de onderkant wortelzone

Bouw- steennr.	Omschrijving textuurtype	Variantnr. K-h relatie van dit textuurtype	Kritieke stijgaf- stand Z _k
1	kleiig, zeer fijn zand (M50 = 115)	1	100 cm
2	kleiig, zeer fijn zand (M50 = 115)	2	60 cm
3	kleiarm, matig fijn zand (M50 = 155)	1	70 cm
4	kleiarm, matig fijn zand (M50 = 155)	2	86 cm
5	zeer lichte zavel	1	147 cm
6	zeer lichte zavel	2	175 cm

Welke veranderingen in de doorlaatkarakteristieken zijn aangebracht kan men afleiden uit een vergelijking van de tabellen 5 en 20. De uitkomsten van de berekeningen staan vermeld in tabel 21.

Tabel 21 Langjarige gemiddelde vochttekorten (mm) en standaardafwijking (s) bij toepassing van de doorlaatkarakteristieken volgens tabel 20.

Profiel	Gemiddeld vochttekort		Referentie waarde
	mm	s	mm
Sn12A	52	62	60
Mn12aA	51	58	65
Mn12bkA	50	57	62
Mn12bA	56	60	68
Mn15aA	9	28	6
Mn15aAz	37	52	40
Mn25A	9	27	15
Mn25Az	59	59	35

Uit tabel 21 komt naar voren dat het gemiddelde vochttekort voor 6 van de 8 profielen lager is terwijl ze voor de 2 overblijvende hoger uitkomt dan bij de referentiewaarde.

Voor het profiel Mn15aA is het met de doorlaatkarakteristiek volgens tabel 20 bepaalde vochttekort groter dan eerst het geval was. Dit komt omdat voor het gehele profiel een K-h relatie is gebruikt die een geringere stijgafstand (175 vervangen door 147) heeft dan bij de referentieberekening.

Tabel 22 Kritieke stijgafstanden (in cm) zoals berekend ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse en zoals berekend ten behoeve van de referentieberekening.

Profiel	Z _k bij gevoeligheidsanalyse cm	Z _k bij referentieberekening cm
Sn12A	89	75
Mn12aA	100	85
Mn12bA	107	94
Mn12bAz	100	85
Mn15aA	147	175
Mn15aAz	105	105
Mn25A	175	147
Mn25Az	74	114

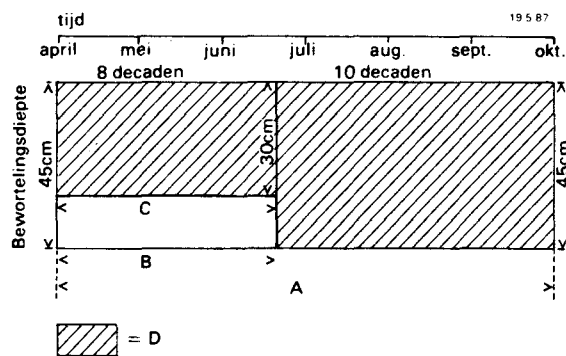
Bij de referentieberekening is in de meeste gevallen gebruik gemaakt van doorlaatkarakteristieken met kleinere stijgafstanden dan bij de gevoeligheidsanalyse (zie tabel 22). Dit verklaart dus de geringere vochttekorten die worden berekend in het kader

van de gevoeligheidsanalyse. De enkele keer (Mn15aA en Mn25Az) dat het vochttekort toch groter is, is ook gerekend met een doorlaatkarakteristiek met een geringere stijgafstand dan in hoofdstuk 4.

De gevonden verschillen in vochttekorten bij gebruikmaking van de K-h relaties met een dergelijk verschil in stijgafstand zijn van een dusdanige grootte (meestal 10 - 30 %) dat kan worden gesproken van een vrij grote invloed van de K-h relaties op de uitkomsten van de berekeningen.

5.3.4 Variabele bewortelingsdiepte

In hoofdstuk 3.3 is er bij de berekeningen vanuit gegaan dat het gewas aardappelen op deze gronden in de Braakmanpolder een worteldiepte heeft van 45 cm - mv. en dat de gewassen granen en suikerbieten een worteldiepte hebben variërend van 60 tot 100 cm - mv. afhankelijk van het voorkomen van kleiarm, matig fijn zand in de ondergrond. Deze getallen gelden, noodzakelijkerwijs, voor het gehele groeiseizoen van 1 april tot eind september, d.w.z. dat gedurende het gehele groeiseizoen, ook aan het begin, dezelfde worteldiepte wordt verondersteld. Het model MUST kan namelijk niet met een variabele bewortelingsdiepte rekenen. Uiteraard is dit niet in overeenstemming met de werkelijkheid. De in hoofdstuk 4 gegeven vochttekorten zijn dus een benadering van de werkelijke vochttekorten. Om een indruk te krijgen van de fout die bij het toepassen van een constante worteldiepte ontstaat zijn twee fasen (i.p.v. één) in diepte van de beworteling aangegeven. De eerste fase bestaat uit 8 decaden (april t/m 19 juni) met een worteldiepte van 30 cm en de tweede fase bestaat uit 10 decaden (19 juni tot eind september) met een worteldiepte van 45 cm. Zie ook figuur 12.



Figuur 12 Schema van de berekeningswijze met gefaseerde bewortelingsdiepte; A: 18 decaden met 45 cm bewortelingsdiepte; B: 8 decaden met 45 cm bewortelingsdiepte; C: 8 decaden met 30 cm bewortelingsdiepte; D. 8 decaden met 30 cm plus 10 decaden met 45 cm bewortelingsdiepte

Eerst werd het vochttekort berekend bij een bewortelingsdiepte van 30 cm voor de eerste 8 decaden (C). Om nu de vochttekorten te bepalen van de gefaseerde bewortelingsdiepte (1e t/m 8e decade: 30 cm + 9e t/m 18e decade: 45 cm) = D, dient men nu het vochttekort van de hele periode met een wortelzone van 45 cm (A) te verminderen met het (eveneens bekende) vochttekort van de eerste 8 decaden (dus ook met een bewortelingsdiepte van 45 cm) = B. Op deze manier verkrijgen we dus het vochttekort voor de tweede fase (A - B). Om het vochttekort over de gehele groeiperiode (D) vast te stellen moeten we dus bij deze uitkomst het vochttekort voor de eerste fase met een bewortelingsdiepte van 30 cm (C) optellen. Dus $D = (A - B) + C =$ het vochttekort bij een gefaseerde bewortelingsdiepte. Dit is gedaan voor 15 jaar van de rekenperiode (1970 - 1984) voor het droogtegevoelige profiel Mn12bA. In tabel 23 is af te lezen dat het vochttekort D van een gefaseerde wortelzone groter is dan het vochttekort zoals dat in hoofdstuk 4 werd weergegeven (A; bij een constante bewortelingsdiepte voor elke decade van 45 cm).

Tabel 23 Vochttekorten in mm van een plaatgrond (Mn12bA) voor de jaren 1970 - 1984 bij een gefaseerde bewortelingsdiepte voor het gewas aardappelen.

- A: 18 decaden met 45 cm bew.diepte;
 B: 8 decaden met 45 cm bew.diepte;
 C: 8 decaden met 30 cm bew.diepte;
 D: 8 decaden met 30 cm plus 10 decaden met 45 cm bew.diepte.

Jaar	A	B	C	D	%
1970	(97 - 33)	+ 43	= 107	10	
1971	(36 - 0)	+ 2	= 38	6	
1972	(17 - 0)	+ 0	= 17	0	
1973	(102 - 0)	+ 3	= 105	3	
1974	(73 - 15)	+ 23	= 81	11	
1975	(101 - 10)	+ 17	= 108	7	
1976	(289 - 41)	+ 51	= 299	4	
1977	(64 - 0)	+ 0	= 64	0	
1978	(24 - 7)	+ 12	= 29	21	
1979	(22 - 0)	+ 0	= 22	0	
1980	(15 - 15)	+ 21	= 21	29	
1981	(41 - 0)	+ 0	= 41	0	
1982	(100 - 8)	+ 14	= 106	6	
1983	(77 - 0)	+ 0	= 77	0	
1984	(40 - 0)	+ 0	= 40	0	
gem	73	C - B = 3.8	77	5.5%	

De in tabel 23 af te lezen grootste absolute toename van het vochttekort vindt plaats in 1970, wanneer het vochttekort oploopt van 97 mm (onder A) tot 107 mm (onder D). Procentueel is het verschil 10 %. Dit moet dus een jaar zijn met een droog eerste deel van het groeiseizoen. Procentueel gezien komen echter grotere toename's van het vochttekort voor, nl. 21% voor het

jaar 1978 en 29% voor het jaar 1980. Deze procentueel grotere toename's worden veroorzaakt door het geringere vochttekort dat was berekend voor de constante bewortelingsdiepte van 45 cm - mv. Gemiddeld over de 15 jaar is het vochttekort voor de eerste 8 decaden bij een bewortelde zone van 30 cm 3.8 mm (C - B) groter dan bij een bewortelde zone van 45 cm, terwijl de procentuele toename van het vochttekort t.o.v. A gemiddeld (over 15 jaar) 5.5% bedraagt, met maxima van 21% en 29% in 1978 en 1980. De op deze wijze berekende vochttekorten zijn nauwkeuriger dan de in dit rapport gegeven vochttekorten. Helaas kost het veel tijd om het vochttekort bij een gefaseerde bewortelingsdiepte te berekenen daar voor elke bewortelingsdiepte het programma-onderdeel UNSAT2 van MUST2 opnieuw dient te worden gedraaid (zie ook 2.1).

Wil men nauwkeurige uitkomsten waarbij rekening wordt gehouden met de variabele bewortelingsdiepte dan zal men gebruik moeten maken van gecompliceerdere modellen zoals SWATRE (Belmans et al., 1983) en ONZAT (Van Drecht, 1983).

5.4 De meteorologische gegevens

5.4.1 De gewasverdampingsfactor

In 3.2 is de gewasverdampingsfactor besproken. Aangezien met behulp van de gewasverdampingsfactor de totale potentiële gewasverdamping per decade berekend wordt, zoals is geïllustreerd in figuur 4 (3.2) en daarmee de vraag naar water, zal verandering van de grootte van deze factor waarschijnlijk invloed hebben op de berekende vochttekorten.

Bij de referentieberekening is uitgegaan van de gewasverdampingsfactoren zoals die staan vermeld in tabel 1 (3.2). Deze factoren zijn opgesteld op grond van waterbalansstudies in alle stadia van de gewasontwikkeling, waarbij ze gerelateerd worden aan de openwaterverdamping. Over de grootte van de gewasfactoren is mede gezien de nauwkeurigheid van de bepalingmethode nogal eens discussie (Romijn, 1985). Omdat niet bekend is hoe groot het effect van deze factor is op de grootte van het berekende vochttekort, is de gewasverdampingsfactor voor het gewas aardappelen vergroot, nl. met 0.1 per decade. Dit betekent dus een toename van de potentiële gewasverdamping in het hele groeiseizoen.

De resultaten van de berekeningen met deze gewasverdampingsfactoren staan vermeld in tabel 24.

Tabel 24 Langjarige gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) bij verhoging van de gewasverdampingsfactor met 0.1.

Profiel	Gemiddeld vochttekort		Referentie waarde
	mm	s	mm
Sn12A	99	76	60
Mn12aA	103	71	65
Mn12bkA	101	70	62
Mn12bA	110	72	68
Mn15aA	9	30	6
Mn15aAz	71	65	40
Mn25A	25	42	15
Mn25Az	60	62	35

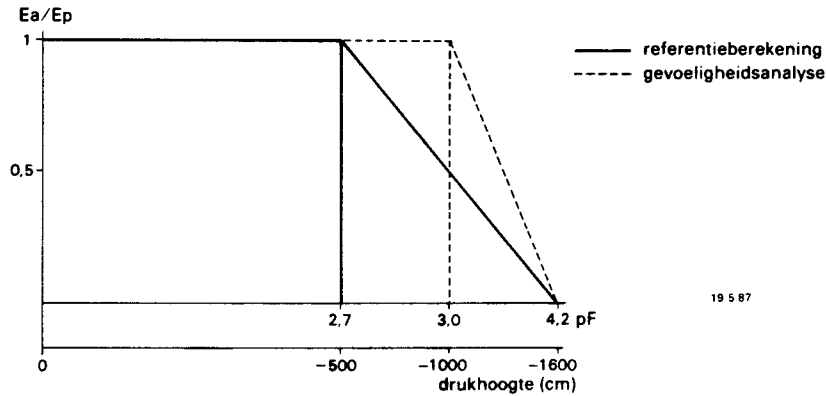
In vergelijking met de referentieberekening werd gerekend met een hysterese factor van 0.5. Dit gegeven heeft echter maar een beperkte invloed op de berekende vochttekort, zoals in 5.3.2 blijkt. Duidelijk komt uit deze resultaten naar voren dat de berekende vochttekorten veel groter zijn dan die welke werden berekend bij de referentieberekening. Voor de profielen Sn12A, Mn12aA, Mn12bkA, Mn12bA en Mn15aAz bedraagt de toename 30 - 40 mm en voor de profielen (Mn15aA, Mn25A en Mn25Az) varieert deze tussen 3 en 15 mm.

Een verhoging van de gewasverdampingsfactor met 0.1 per decade blijkt dus een grote verhoging van de gemiddelde vochttekorten te bewerkstelligen. Hieruit blijkt dat men zeer nauwgezet tewerk dient te gaan bij het vaststellen van de gewasverdampingsfactoren voor de verschillende gewassen en lijkt een nauwkeurigheid in tienden (waarin deze factor meestal wordt opgegeven) nauwelijks een voldoende nuancering. Indien de gewasweerstand voldoende bekend zijn verdient een andere berekening van de potentiële verdamping, namelijk met het weerstandenmodel Rijtema/Monteith (zie Ad Hoc Groep Verdamping, 1984) de voorkeur.

5.4.2 Het verdampingsreductiepunt

Bij voldoende gemakkelijk beschikbaar bodemvocht in de wortelzone zal de door een gewas gerealiseerde werkelijke verdamping (E_a) gelijk zijn aan de potentiële verdamping van dat gewas (E_p) op dat moment.

Wanneer echter niet voldoende beschikbaar bodemvocht in de wortelzone aanwezig is als gevolg van uitdroging dan zal het gewas op een bepaald moment niet meer in staat zijn om de potentiële verdamping te realiseren. In die situatie, die wordt gekarakteriseerd door een bepaalde waarde voor de drukhoogte (verdampingsreductiepunt), neemt de verhouding E_a/E_p af en wordt kleiner dan 1. In figuur 13 is de verhouding E_a/E_p uitgezet tegen de drukhoogte in de wortelzone.



Figuur 13 De twee relaties tussen de verhouding E_a/E_p en de drukhoogte in cm (pF)

Uit de figuur is af te lezen dat voor de referentieberekening de verhouding E_a/E_p gelijk is aan 1 voor drukhoogten tot $h = -500$ cm. Vanaf dat punt treedt een lineaire vermindering van de verhouding E_a/E_p op tot aan het verwelkingspunt ($h = -16000$ cm). Het punt waarop de verhouding E_a/E_p af gaat nemen noemt men het verdampingsreductiepunt. Tot nu toe is dus in dit rapport gerekend met de waarde van $h = -500$ cm ($pF = 2.7$) voor dit verdampingsreductiepunt, hetgeen een goede waarde is voor de gewassen aardappelen en suikerbieten (zie ook 3.2). Granen zijn echter in staat om ook wanneer de bodem verder is uitgedroogd dan $h = -500$ cm nog een potentiële verdamping te realiseren, nl. tot ca $h = -1000$ cm. Daarom zijn voor dit gewas de vochttekorten opnieuw berekend met een verdampingsreductiepunt dat ligt bij $h = -1000$ ($pF = 3.0$). De uitkomsten van deze berekeningen zijn vermeld in tabel 25.

Tabel 25 Langjarige gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) voor granen bij verlaging van het verdampingsreductiepunt van $h = -500$ cm naar $h = -1000$ cm.

	Gemiddeld vochttekort		Vermindering t.o.v. referentiewaarde	
	mm	s	absoluut (%)	(mm)
Sn12A	38	52	4	10
Mn12aA	25	43	7	22
Mn12bkA	16	37	4	24
Mn12bA	30	45	8	20
Mn15aA	0	0	0,2	100
Mn15aAz	27	43	7	20
Mn25A	0	0	0	0
Mn25Az	24	41	6	20

Uit de tabel blijkt dat de vochttekorten minder groot zijn dan wanneer gerekend wordt met een verdampingsreductiepunt bij $h = -500$ cm. Dit is dus in overeenstemming met het feit dat pas bij hogere drukhoogten de verhouding E_a/E_p kleiner wordt dan 1 waardoor vochttekorten niet zo snel optreden als bij een verdampingsreductiepunt bij $h = -500$ cm. Het verschil in vochttekort t.o.v. de referentieberekening dat is berekend voor de verschillende profielen bedraagt 10 - 24%, hetgeen overeenkomt met ca 4 - 8 mm. De uitschieters van 0 en 100% worden veroorzaakt doordat in deze respectievelijke gevallen het vochttekort reeds slechts 0 en 0.2 mm bedroeg, waardoor in het ene geval 0% reductie optrad, (0 naar 0) en in het andere geval 100% (0.2 naar 0). Deze uitschieters worden hier even buiten beschouwing gelaten. De gevonden verschillen zijn groot genoeg (10 - 24%) om te kunnen concluderen dat het verdampingsreductiepunt een belangrijke factor is waaraan de nodige aandacht dient te worden besteed bij het uitvoeren van vochttekort berekeningen. Met behulp van deze factor zal men immers onderscheid kunnen maken tussen gewassen die goed in staat zijn om moeilijk beschikbaar bodemvocht op te nemen en gewassen die dat niet kunnen. Bovendien valt daartussen waarschijnlijk nog een groep gewassen die redelijk in staat zijn dit vocht te benutten.

5.5 De hydrologische gegevens

Als onderrandvoorwaarde bij de berekening van het bodemvochttekort wordt, zoals uitgelegd is in 2.2 en 3.4, gebruik gemaakt van een zogenaamde grondwaterstand-afvoerrelatie ($q(h)$ -relatie). Deze relatie wordt gedefinieerd via de slootdiepte en de maximale afvoer. De constante toe- en afvoer (onderste gedeelte $q(h)$ -relatie; zie figuur 7) wordt iteratief door het model bepaald. De slootdiepte en de maximale afvoer voor de Braakmanpolder zijn enigszins arbitrair gekozen. Op de mate waarin deze keuze invloed heeft op de berekende vochttekorten wordt in dit hoofdstuk nader ingegaan.

5.5.1 De slootdiepte

De slootdiepte wordt bij de toepassing van het model MUST2 gebruikt om het knikpunt in de grondwaterstand-afvoerrelatie ($q(h)$) aan te geven. Als de berekende grondwaterstand boven dit punt ligt vindt de afvoer voornamelijk via de sloten plaats; ligt de grondwaterstand er echter onder dan wordt de afvoer of toevoer klein en konstant en verloopt via het watervoerende pakket. Aangezien niet bekend is hoe groot het effect van de ligging van het knikpunt (slootdiepte) is op de uitkomsten terwijl verder gesteld kan worden dat de slootdiepte in het gebied niet constant zal zijn, is gerekend met een slootdiepte van 140 cm - mv. Bij het berekenen van de vochttekorten in voorgaande hoofdstukken is gerekend met een slootdiepte van 120 cm - mv.

De berekende vochttekorten staan in tabel 26. Ook hier is sprake van een enkelvoudige verandering: alleen de waarde van de slootdiepte werd veranderd t.o.v. de referentieberekening.

Tabel 26 Langjarige gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) bij een slootdiepte van 140 cm en 120 cm (referentiewaarde).

Profiel	Slootdiepte		
	140 cm		120 cm
	gemiddeld vochttekort		referentie waarde
	mm	s	mm
Sn12A	63	67	60
Mn12aA	67	63	65
Mn12bkA	65	63	62
Mn12bA	68	63	68
Mn15aA	6	22	6
Mn15aAz	42	55	40
Mn25A	15	33	15
Mn25Az	36	51	35

De gemiddelde vochttekorten bij een slootdiepte van 140 cm - mv. zijn in vergelijking met die voor de referentiewaarde (120 cm) iets groter. Het hogere gemiddelde vochttekort wordt veroorzaakt door de slootdiepte van 140 cm - mv. in plaats van 120 cm - mv. Er vindt meer afvoer plaats via de sloot waardoor de grondwaterstanden lager zullen zijn dan bij geringere slootdiepten, zodat de te overbruggen afstand van grondwater naar wortelzone groter wordt, met als gevolg een groter vochttekort.

De grootte van het verschil, variërend van 1 - 3 mm (gemiddelde verschillen over 30 jaar) is gering zodat kan worden geconcludeerd dat deze factor niet veel invloed heeft op de grootte van de berekende vochttekorten.

5.5.2 De maximale afvoer

Bij de keuze van de maximale afvoer; dat is de afvoer die optreedt als de grondwaterstand aan maaiveld komt (zie figuur 7), is enigszins rekening gehouden met het ontwateringscriterium van bouwland. Uitgegaan is van een afvoer van 6 mm/dag bij een grondwaterstand van 50 cm - mv. Rekening houdend met een slootdiepte van 120 cm - mv. en een lineair verloop van de afvoer met de grondwaterstand komt men uit op een maximale afvoer van 10 mm/dag. Om na te gaan welke invloed een verandering van de maximale afvoer heeft op de berekende vochttekorten is de maximale afvoer verlaagd van 10 naar 8 mm/dag.

De berekende vochttekorten voor de situatie met een verlaagde maximale afvoer staan in tabel 27 en in bijlage 14.

Tabel 27 Langjarige gemiddelde vochttekorten (mm) en de standaardafwijking (s) bij een maximale afvoer van 8 mm per dag en 10 mm per dag (referentiewaarde).

Profiel	Maximale afvoer (mm/dag)		
	8		10
	gemiddeld	s	gemiddeld
Sn12A	60	66	60
Mn12aA	64	62	65
Mn12bkA	62	62	62
Mn12bA	70	64	68
Mn15aA	6	22	6
Mn15aAz	40	54	40
Mn25A	15	33	15
Mn25Az	35	51	35

Uit de in de tabel vermelde resultaten blijkt dat een kleine verandering in de maximale afvoer nauwelijks of geen effect heeft op de berekende vochttekorten. De maximale afvoer beïnvloedt voornamelijk de winter- en voorjaarsgrondwaterstanden en heeft daardoor weinig effect op de vochttekorten. De bewerkbaarheid van de grond wordt daarentegen wel duidelijk beïnvloed door de winter- en voorjaarsgrondwaterstanden (zie 4.3).

6 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Met behulp van een simulatiemodel voor onverzadigde grondwaterstroming en verdamping (MUST2) en de daarvoor noodzakelijke meteorologische, bodemkundige/bodemfysische en hydrologische gegevens werden voor acht veel voorkomende bodemprofielen in de Braakmanpolder in Zeeland de gemiddelde vochttekorten over de jaren 1955-1985 berekend en de frequentieverdelingen van deze vochttekorten. De berekende vochttekorten voor de verschillende profielen en gewassen (aardappelen, granen en suikerbieten) bleken goed overeen te komen met in de praktijk op dit soort profielen en voor deze gewassen waargenomen tendenzen, hetgeen nogmaals werd bevestigd tijdens een veldbezoek in de relatief droge nazomer van 1986. Bij de in de Braakmanpolder voornamelijk voorkomende grondwatertrap VII, met een gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) van 135 cm - mv. en een gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) van 190 cm - mv., werd voor het gewas aardappelen op plaatgronden een langjarig gemiddeld vochttekort berekend van 60 à 70 mm. Uit de verdeling van de vochttekorten over de jaren blijkt dat in 94% van de jaren het vochttekort lager is dan 125 mm. Slechts in 30% van de jaren is op de plaatgronden het vochttekort bij aardappelen klein, nl. tussen 0 - 25 mm. Voor de aflopende zavelprofielen is het langjarig gemiddelde vochttekort bij aardappelen kleiner dan 15 mm. Slechts in 2 tot 4 (6 en 13%) van de 30 jaren is het vochttekort op deze gronden groter dan 25 mm. Het vochttekort op dezelfde bodemprofielen is voor granen en suikerbieten kleiner dan voor aardappelen. De granen blijken het minst droogtegevoelig te zijn. Voor suikerbieten op de plaatgronden bedraagt het langjarig gemiddeld vochttekort 38 à 55 mm en voor granen 33 à 52 mm. Op de diep bewortelbare aflopende zavelprofielen treden vrijwel nooit vochttekorten op bij granen en suikerbieten.

Vervolgens is nagegaan in welke mate de vochttekorten in de actuele situatie, met name bij de plaatgronden, konden worden verkleind. Daartoe zijn potentiële situaties met verhoogde grondwaterstanden en met kunstmatige beregening gesimuleerd. In eerste instantie zijn de grondwaterstanden in geringe mate verhoogd tot een Gt VI (verhoging van gemiddelde grondwaterstanden t.o.v. Gt VII 25 à 30 cm ; GVG = 110 en GLG = 160 cm - mv.). Het langjarig gemiddelde vochttekort op de plaatgronden neemt door de geringe verhoging met 25 à 40% af. Bij de aflopende zavelgronden, die al een klein gemiddeld vochttekort hadden, is de procentuele afname nog groter, namelijk meer dan 50 %. Omdat er toch nog vochttekorten bleven bestaan bij een geringe verhoging van de grondwaterstand zijn de grondwaterstanden vervolgens met 55 à 60 cm t.o.v. de huidige situatie "verhoogd" tot een Gt IV met een GVG van 80 en een GLG van 120 cm - mv. Deze grotere grondwaterstandsverhoging heeft tot gevolg dat de gemiddelde vochttekorten op alle gronden en bij alle gewassen minder dan 10 mm bedraagt. Alleen in extreem droge jaren, zoals 1959 en 1976, zal het vochttekort nog groter worden dan 25 mm. Verhoging van de grondwaterstanden heeft een positief effect op de vochttekorten maar kan wel leiden tot een afname van werkbare dagen ten gevolge van een te natte boven-

grond. De mate van bewerkbaarheid van de gronden bij de verschillende grondwaterstanden werd gecontroleerd door de drukhoogte (maat voor het vochtgehalte) op 5 cm beneden maaiveld per dag voor een 30-jarige periode met behulp van het simulatiemodel ONZAT te berekenen. Uit deze resultaten kwam naar voren dat de drukhoogten zo laag zijn dat bewerken van de gronden moeilijk is in de herfst, winter en een deel van het voorjaar. Laatstgenoemde controlerende berekeningen van de bewerkbaarheid van de gronden bij de verschillende grondwaterstanden tonen aan dat alleen op grond van de berekeningen van de vochttekorten geen uitspraken kunnen worden gedaan over de optimale grondwaterstanden. Duidelijk komt uit de beide berekeningen naar voren dat de optimale grondwatertrap voor de aflopende zavelgronden (Mn15aA en Mn25A) in dit akkerbouwgebied grondwatertrap VI bedraagt, wanneer zowel naar het vochttekort als naar de bewerkbaarheid wordt gekeken. De plaatgronden Sn12A, Mn12aA, Mn12bkA en Mn12bA en de gronden Mn15aAz en Mn25A2 met zand ondieper dan 120 cm - mv. moeten daarbij hogere grondwaterstanden hebben.

Behalve het verhogen van de grondwaterstanden werd ook het effect van beregening op de vochttekorten berekend. Daarbij bleek dat beregening voor een aanzienlijke reductie van het vochttekort kan zorgen maar dat er een grote hoeveelheid water nodig is om dit effect te bereiken. De efficiency van het toegediende water (vermindering vochttekort/toegediende hoeveelheid water * 100) hangt sterk af van de grootte van het vochttekort dat men ook met beregening nog wil accepteren. In het tamelijk droge jaar 1983 werd op de profielen Sn12A, Mn12bA en Mn25A 100, 80 en 40 mm beregend om de drukhoogte groter dan $h = -1000$ cm te houden. De efficiëntie van dit toegediende water was resp. 80, 70 en 60%. Om de drukhoogte in de bodem in dit jaar groter dan $h = -500$ cm te houden moest voor de profielen Sn12A, Mn12bAz, Mn25A en Mn15aA respectievelijk 140, 120, 80 en 40 mm worden beregend, terwijl de efficiëntie van deze beregening daalde naar 74, 64, 42 en 12%.

De betrouwbaarheid van de resultaten werd vervolgens getoetst door het effect van kleine veranderingen aan de vooronderstellingen en de invoergegevens op de uitkomsten van de berekeningen te bestuderen. Zo werden voor een gemiddeld profiel de vochttekorten van enkele te onderscheiden profielen met verschillende ondergronden berekend, werden andere doorlaatkarakteristieken gebruikt en werd een fasering in de bewortelingsdiepte bij het gewas aardappelen vergeleken met de oorspronkelijke constante diepte. Daarnaast werd van een aantal invoergegevens de waarde gevarieerd, zoals van de hysteresefactor, de gewasverdampingsfactor, het verdampingsreductiepunt en de slootdiepte.

Uit de uitkomsten bleek dat het samenvoegen van verschillende profielen tot een zogenaamd gemiddeld profiel gerechtvaardigd is in dit gebied omdat niet meer dan 10% verschil in vochttekorten werd gevonden voor alle profielen. Het gebruiken van doorlaatkarakteristieken (K-h) met andere stijgafstanden levert afwijkingen op in het berekende vochttekort, nl. van 10 - 30 %. Dit duidt op het belang van een nauwkeurige K-h bepaling. Ook het invoeren van een gefaseerde i.p.v. een constante bewortelingsdiepte heeft

invloed op de uitkomsten van de vochttekorten. De vochttekorten zijn soms 10 mm groter dan bij een constante worteldiepte in het hele groeiseizoen. Wel dient rekening te worden gehouden met het feit dat het berekenen van het vochttekort bij een gefaseerde beworteling veel extra tijd kost met modellen van type MUST, zowel aan voorbereiding en interpretatie als aan computertijd. Indien men gefaseerde beworteling desondanks noodzakelijk vindt is overschakeling op een ander type model aan te bevelen (SWATRE, ONZAT). Van de variaties van de andere invoergegevens (hysterese factor, verdampingsreductiepunt, slootdiepte, etc) op de vochttekorten bleken de meeste niet meer dan ca 10% verschil met de oorspronkelijke berekeningen op te leveren. Een veel grotere invloed op de berekende vochttekorten (30 à 75 %) heeft een verandering in de gewasverdampingsfactoren. Deze konstatering geeft het belang aan van een nauwkeurige berekening van de potentiële verdamping. Indien dit met gewasverdampingsfactoren gebeurt, zoals in dit rapport, is een nauwkeuriger bepaling van de factoren noodzakelijk.

LITERATUURLIJST

- Ad Hoc Groep Verdamping, 1984. Herziening van de berekening van de gewasverdamping in het hydrologische model GELGAM. Dienst Waterbeheer Gelderland, Arnhem.
- Bakel, P.T.J. van, 1979. Verdamping in relatie tot de bodem en gewas. I.C.W. nota 1122, Wageningen.
- Bakker De, en Locher. Bodemnatuurkunde, bodemkunde in Nederland Deel 1, Algemene Bodemkunde. Uitg. Malmberg Den Bosch.
- Bannink, M.M., B.J. Bles en A.F van Holst, 1985. Bodemkundig-agrohydrologisch onderzoek Oostelijk Noord-Brabant, kaartblad 51 Oost. STIBOKA rapport 1777.
- Belmans, C., J.G. Wesseling and R.A. Feddes, 1983. Simulation models of the water balance of a cropped soil: SWATRE. Journ. of Hydrology 63: 271 - 286.
- Boheemen, P.J.M. van en Th. H.M. Reuling, 1984. Berekeningen op dagbasis met de modellen UNSAT en MUST van de vochttekorten van grasland op zandgrond te Barchem. ICW-nota 1531.
- Bouma, J. en H.C. van Heesen, 1979. Waterwingebied 't Klooster'. Toelichting bij de veldbodemkundige gevoeligheidsanalysen. STIBOKA rapport nr. 1432.
- Dekkers, J.M.J., 1981. Bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid van landbouwbedrijf J.F. Calen te Philippine. STIBOKA rapport 1545.
- Dekkers, J.M.J., 1982. Bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid van landbouwbedrijf A. Verdult te Biervliet. STIBOKA rapport 1635.
- Dekkers, J.M.J., 1982. Bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid van landbouwbedrijf G. Cullenaere te Philippine. STIBOKA rapport 1646.
- Dekkers, J.M.J., 1982. Bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid van landbouwbedrijf M.D. Waverijn te Philippine. STIBOKA rapport 1667.
- Dekkers, J.M.J., 1986. Bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid van 11 bedrijven in de Braakmanpolder. STIBOKA rapporten 1875-1883, 1885, 1886.
- Drecht, G. van 1983. Simulatie van het verticale, niet-stationaire transport van water en een daarin opgeloste stof in de grond (model ONZAT). RID mededeling 83-11.
- Ernst, L.F en R.A. Feddes, 1979. Invloed van grondwater onttrekking voor beregening en drinkwater op de grondwaterstand. ICW nota 1116, Wageningen.
- Laat, P.J.M. De, 1985. Must - a simulation model for unsaturated flow. Int. Inst. for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft. Report series no. 16.

- Laat, P.J.M. De, 1985. Simulatie van verdamping en berekening met MUST. H2O 18: 363 - 367.
- Laat, P.J.M. De, 1980. Model for unsaturated flow above a shallow water table, applied to a regional sub-surface flow problem. Thesis. Agric Res Rep. 895. Pudoc, Wageningen.
- Lanen, H.A.J. Van, 1981a. Berekening van de capillaire opstijg-hoogte en het bergend vermogen in gelaagde bodemprofielen., RID rapport Hy.h 81-10, Leidschendam.
- Lanen, H.A.J. Van, 1981b. De opbrengstverandering bij grasland ten gevolge van diepe grondwaterwinning in West-Utrecht. RID-mededeling 81-1, Leidschendam.
- Lanen, H.A.J. Van, 1983. Aanvullend onderzoek met het model GEL-GAM in het studiegebied Sleen (Drenthe). Deel III: Hydrologische effecten van intensieve berekening op het grondwater en het eerder of later opzetten van stuwen. RID rapport hy h 83 - 13., Leidschendam.
- Lanen, H.A.J. Van, 1984. Invoerbeschrijving model MUST2. RIVM notitie, Leidschendam.
- Lanen, H.A.J. Van, 1985. Zijn er verschillen in de effecten van grondwaterwinning voor berekening en voor de drinkwatervoorziening. H2O 18: 22 - 27.
- Lanen, H.A.J. Van, 1985. Grondwaterstands-afvoerrelaties als randvoorwaarden voor bodemvochttekortberekeningen met onverzadigde grondwaterstromingsmodellen. Cultuurtechnisch tijdschrift 25 (3): 185 - 195.
- Lanen, H.A.J. Van, M.H. Bannink and J. Bouma, 1987. Use of simulation to assess the effects of different tillage practices on land qualities of a sandy loam. Soil Tillage Research.
- LAGO, 1984. Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking. Berekening van schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand. Werkgroep Landbouwkundige Aspecten van Grondwateronttrekking. Landinrichtingsdienst Utrecht.
- Loon, C.D. Van, 1979. Berekening van aardappelen. Bedrijfsontwikkeling 2: 185 - 188.
- Nieuwenhuis, G.J.A., E.H. Smidt and H.A.M. Thunissen, 1985. Estimation of regional evapotranspiration of arable crops from thermal infrared images. Int. J. of Remote Sensing 6: 1319 - 1334.
- Reuling, Th. H.M., 1983. Gebruikershandleiding voor het model LAMOS. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Romijn, E., 1985. Valkuilen bij het bepalen van de potentiële verdamping van grasland door middel van 'f'-factoren. H2O 18: 265 - 270.

- Sluys, P. van der, 1985a. Grondwatertrappen. In W.P.Locher en H. de Bakker (red): Bodemnatuurkunde. Bodemkunde in Nederland Deel 1, Algemene Bodemkunde. Malmberg Den Bosch, pg. 99 - 112.
- Sluys, P. van der, 1985b. Vochtlevering door de grond. In W.P. Locher en H. de Bakker (red): Bodemnatuurkunde. Bodemkunde in Nederland Deel 1, Algemene Bodemkunde. Malmberg Den Bosch, pg. 99 - 112.
- Wösten, J.H.M., M.H., Bannink en J. Beuving, i.v. Waterretentie- en doorlaatkarakteristieken van boven en ondergronden in Nederland: Staringreeks. ICW, STIBOKA.
- Wijk, A.L.M. Van, and R.A. Feddes, 1986. Simulating effects of soil type and drainage on arable crop yield. In: A.L.M. van Wijk and J. Wesseling (eds.). Proc. CEC-workshop on Agricultural Water Management, Arnhem, The Netherlands.
- Zuijlen, E.J. Van, J.N.B. Poelman en C. Hoekstra, 1985. Vochtkaarakteristieken van kleilagen in het zeekleigebied af te leiden uit enige eenvoudige eigenschappen van de grond. STIBOKA rapport 1895, Wageningen.

BIJLAGE 1

Neerslag- en potentiële verdampingssommen (in mm) per groeiseizoen 1 april t/m 30 september voor aardappelen, granen en suikerbieten over de periode 1955-1985.

Jaren	Neerslagsom per groeiseizoen (mm)	Potentiële verdampingssom per groeiseizoen (Ep) (mm)		
		Aardappelen	Granen	Suikerbieten
1955	345	428	365	441
1956	298	387	335	396
1957	431	462	414	467
1958	423	405	351	415
1959	190	507	441	520
1960	488	403	366	407
1961	365	413	363	422
1962	319	405	342	417
1963	442	401	349	407
1964	328	443	374	458
1965	463	392	339	401
1966	446	421	363	429
1967	333	437	385	445
1968	518	407	359	415
1969	434	441	384	449
1970	343	441	384	452
1971	361	412	361	422
1972	445	402	356	408
1973	339	445	388	456
1974	390	430	377	439
1975	369	457	387	467
1976	162	504	442	512
1977	309	404	361	403
1978	357	387	331	395
1979	348	376	326	385
1980	367	375	343	380
1981	301	359	311	370
1982	283	430	375	436
1983	356	424	358	437
1984	384	378	323	391
Gemiddeld:	365	419	365	428

Bijlage 2 : Vochtkarakteristieken en doorlaatkarakteristieken welke werden gebruikt voor de gemiddelde profielen bij een bewortelde zone van 45 cm (gewas : aardappelen)

Mortelzone's		1.0	1.3	1.5	1.7	2.0	2.4	2.7	3.0	3.4	3.7	4.0	4.2	
pro- diep- fiel (cm)	te pF h (cm)	0	-10	-20	-31	-50	-100	-250	-500	-1000	-2500	-5000	-10000	-16000
Sn12A														
0-30.	pF	45.0	41.0	40.0	38.5	32.0	24.0	16.0	12.0	09.0	06.0	05.0	04.0	03.5
30-45.	pF	45.0	41.0	40.0	38.5	32.0	24.0	16.0	12.0	09.0	06.0	05.0	04.0	03.5
Mn12aA														
0-30.	pF	42.0	38.0	37.0	35.8	34.7	32.0	27.5	24.0	21.5	17.5	14.2	11.0	09.0
30-45.	pF	43.0	40.0	39.0	38.0	36.0	33.0	29.8	21.8	19.0	16.0	13.3	11.0	10.0
Mn12bA														
0-30.	pF	43.0	40.0	38.0	37.0	36.0	34.0	30.0	27.0	24.0	21.0	18.0	15.0	13.0
30-45.	pF	42.0	39.0	38.0	36.8	35.6	34.0	27.5	24.0	21.5	18.3	16.0	14.0	13.0
Mn15aA														
0-30.	pF	42.0	38.0	37.0	35.8	34.7	32.0	27.5	24.0	21.5	17.5	14.2	11.0	09.0
30-45.	pF	43.0	40.0	39.0	38.0	36.0	33.0	29.8	21.8	19.0	16.0	13.3	11.0	10.0
Mn25A														
0-30.	pF	39.4	38.0	37.2	36.7	36.0	34.0	31.5	30.0	28.3	25.8	22.2	19.0	17.0
30-45.	pF	39.4	38.0	37.2	36.7	36.0	34.0	31.5	30.0	28.3	25.8	22.2	19.0	17.0
Mn25Az														
0-30.	pF	39.4	38.0	37.2	36.7	36.0	34.0	31.5	30.0	28.3	25.8	22.2	19.0	17.0
30-45.	pF	43.0	40.0	39.0	38.0	36.0	33.0	29.8	21.8	19.0	16.0	13.3	11.0	10.0
ondergronden														
pro- diep- fiel (cm)	te pF h(cm)	0	1.0	1.3	1.5	1.7	2.0	2.4	2.7	3.0	3.4	3.7	4.0	4.2
		0	-10	-20	-31	-50	-100	-250	-500	-1000	-2500	-5000	-10000	-16000
Sn12A														
45-50.	pF	34.4	34.0	33.6	33.0	31.0	19.0	08.5	05.2	04.5	03.5	02.5	02.0	01.8
	Kh	17.	16.	14.	11.	4.9	1.1e-1	2.5e-3	4.0e-4	8.5e-5	1.5e-5	4.0e-6	1.5e-6	8.0e-7
	>50.	pF	36.2	35.9	35.4	31.0	10.0	05.0	03.5	02.7	02.1	01.9	01.6	01.4
		Kh	450.	70.	33.	7.	4.0e-2	6.0e-4	4.0e-5	3.0e-6	2.0e-7	4.0e-8	1.0e-8	8.0e-9
Mn12aA														
45-60.	pF	43.0	40.0	39.0	38.0	36.0	33.0	25.8	21.8	19.0	16.0	13.3	11.0	10.0
	Kh	31.	12.	6.5	4.8	2.8	6.5e-1	2.5e-2	3.7e-3	1.3e-3	4.8e-4	2.0e-4	7.0e-5	3.0e-5
	>60.	pF	36.2	35.9	35.4	31.0	10.0	05.0	03.5	02.7	02.1	01.9	01.6	01.4
		Kh	450.	70.	33.	7.	4.0e-2	6.0e-4	4.0e-5	3.0e-6	2.0e-7	4.0e-8	1.0e-8	8.0e-9
Mn12bA														
45-60.	pF	42.0	39.0	38.0	36.8	35.6	34.0	27.5	24.0	21.5	18.3	16.0	14.0	13.0
	Kh	31.	12.	6.5	4.8	2.8	6.5e-1	2.5e-2	3.7e-3	1.3e-3	4.8e-4	2.0e-4	7.0e-5	3.0e-5
	60-70.	pF	34.4	33.6	33.0	31.0	19.0	08.5	05.2	04.5	03.5	02.5	02.0	01.8
		Kh	17.	14.	11.	4.9	1.1e-1	2.5e-3	4.0e-4	8.5e-5	1.5e-5	4.0e-6	1.5e-6	8.0e-7
	>70.	pF	36.2	35.9	35.4	31.0	10.0	05.0	03.5	02.7	02.1	01.9	01.6	01.4
		Kh	450.	70.	33.	7.	4.0e-2	6.0e-4	4.0e-5	3.0e-6	2.0e-7	4.0e-8	1.0e-8	8.0e-9

Bijlage 3 : Vocht karakteristieken en doorlaat karakteristieken welke werden gebruikt voor de gemiddelde profielen bij een bewortelde zone variërend van 60 - 100 cm (gewassen : granen en suikerbieten)

Mortelzone's		1.0	1.3	1.5	1.7	2.0	2.4	2.7	3.0	3.4	3.7	4.0	4.2
pro- diep- fiel (cm)	PF 0 0 h (cm) 0	-10	-20	-31	-50	-100	-250	-500	-1000	-2500	-5000	-10000	-16000
Sn12A	0-30. PF 45.0	41.0	40.0	38.5	32.0	24.0	16.0	12.0	09.0	06.0	05.0	04.0	03.5
*	30-50. PF 34.4	34.0	33.6	33.0	31.0	19.0	08.5	05.2	04.5	03.5	02.5	02.0	01.8
Mn12aA	0-30. PF 42.0	38.0	37.0	35.8	34.7	32.0	27.5	24.0	21.5	17.5	14.2	11.0	09.0
*	30-60. PF 43.0	40.0	39.0	38.0	36.0	33.0	25.8	21.8	19.0	16.0	13.3	11.0	10.0
Mn12bA	0-30. PF 43.0	40.0	38.0	37.0	36.0	34.0	30.0	27.0	24.0	21.0	18.0	15.0	13.0
*	30-60. PF 42.0	39.0	38.0	36.8	35.6	34.0	27.5	24.0	21.5	18.3	16.0	14.0	13.0
Mn15aA	0-30. PF 42.0	38.0	37.0	35.8	34.7	32.0	27.5	24.0	21.5	17.5	14.2	11.0	09.0
*	30-100. PF 43.0	40.0	39.0	38.0	36.0	33.0	25.8	21.8	19.0	16.0	13.3	11.0	10.0
Mn15aA20	0-30. PF 42.0	38.0	37.0	35.8	34.7	32.0	27.5	24.0	21.5	17.5	14.2	11.0	09.0
*	30-50. PF 43.0	40.0	39.0	38.0	36.0	33.0	25.8	21.8	19.0	16.0	13.3	11.0	10.0
Mn25A	0-30. PF 39.4	38.0	37.2	36.7	36.0	34.0	31.5	30.0	28.3	25.8	22.2	19.0	17.0
*	30-50. PF 42.2	41.0	40.3	39.0	37.5	36.0	31.0	28.0	25.5	22.7	20.8	18.0	17.0
Mn25A7	0-30. PF 39.4	38.0	37.2	36.7	36.0	34.0	31.5	30.0	28.3	25.8	22.2	19.0	17.0
*	30-60. PF 42.0	39.0	38.0	36.8	35.6	34.0	27.5	24.0	21.5	18.3	16.0	14.0	13.0
Mn12aA	>50. PF 36.2	36.0	35.9	35.4	31.0	10.0	05.0	03.5	02.7	02.1	01.9	01.6	01.4
*	Kh 450.	110.	31.	12.	4.	5.0e-3	6.0e-4	1.1e-4	2.5e-7	7.0e-6	3.0e-6	1.1e-6	6.0e-7
Mn12aA	>60. PF 36.2	36.0	35.9	35.4	31.0	10.0	05.0	03.5	02.7	02.1	01.9	01.6	01.4
*	Kh 450.	110.	31.	12.	4.	5.0e-3	6.0e-4	1.1e-4	2.5e-7	7.0e-6	3.0e-6	1.1e-6	6.0e-7
Mn12bA	>70. PF 36.2	36.0	35.9	35.4	31.0	10.0	05.0	03.5	02.7	02.1	01.9	01.6	01.4
*	Kh 450.	110.	31.	12.	4.	5.0e-3	6.0e-4	1.1e-4	2.5e-7	7.0e-6	3.0e-6	1.1e-6	6.0e-7

ondergronden: vocht karakteristieken en doorlatendheidskarakteristieken

Mn12b1A															
*	45-60.	pF	42.0	39.0	38.0	36.8	35.6	34.0	27.5	24.0	21.5	18.3	16.0	14.0	13.0
*		Kh	31.	12.	6.5	4.8	2.8	6.5e-1	2.5e-2	3.7e-3	1.3e-3	4.8e-4	2.0e-4	7.0e-5	3.0e-5
*	>60.	pF	36.2	36.0	35.9	35.4	31.0	10.0	05.0	03.5	02.7	02.1	01.9	01.6	01.4
*		Kh	450.	150.	70.	33.	7.	4.0e-2	6.0e-4	4.0e-5	3.0e-6	2.0e-7	4.0e-8	1.0e-8	8.0e-9
Mn15aA															
*	>60.	pF	44.1	43.9	43.6	43.0	42.0	39.1	22.1	18.0	15.5	13.0	11.2	09.3	08.2
*		Kh	5.5	2.4	1.5	1.1	0.7	2.5e-1	2.5e-2	3.7e-3	1.3e-3	4.8e-4	2.0e-4	7.0e-5	3.0e-5
Mn15bAz															
*	45-50.	pF	44.1	43.9	43.6	43.0	42.0	39.1	22.1	18.0	15.5	13.0	11.2	09.3	08.2
*		Kh	31.	12.	6.5	4.8	2.8	6.5e-1	2.5e-2	3.7e-3	1.3e-3	4.8e-4	2.0e-4	7.0e-5	3.0e-5
*	50-100.	pF	34.4	34.0	33.6	33.0	31.0	19.0	08.5	05.2	04.5	03.5	02.5	02.0	01.8
*		Kh	17.	16.	14.	11.	4.9	1.1e-1	2.5e-3	4.0e-4	8.5e-5	1.5e-5	4.0e-6	1.5e-6	8.0e-7
*	>100.	pF	36.2	36.0	35.9	35.4	31.0	10.0	05.0	03.5	02.7	02.1	01.9	01.6	01.4
*		Kh	450.	150.	70.	33.	7.0	4.0e-2	6.0e-4	4.0e-5	3.0e-6	2.0e-7	4.0e-8	1.0e-8	8.0e-9
Mn25A															
*	45-50.	pF	42.2	41.0	40.3	39.0	37.5	36.0	31.0	28.0	25.5	22.7	20.8	18.0	17.0
*		Kh	31.	12.	6.5	4.8	2.8	6.5e-1	2.5e-2	3.7e-3	1.3e-3	4.8e-4	2.0e-4	7.0e-5	3.0e-5
*	>50	pF	44.1	44.0	43.6	43.0	42.0	39.1	22.1	18.0	15.5	13.0	11.2	09.3	08.2
*		Kh	31.	12.	6.5	4.8	2.8	6.5e-1	2.5e-2	3.7e-3	1.3e-3	4.8e-4	2.0e-4	7.0e-5	3.0e-5
Mn25Az															
*	45-60.	pF	42.0	39.0	38.0	36.8	35.6	34.0	27.5	24.0	21.5	18.3	16.0	14.0	13.0
*		Kh	31.	12.	6.5	4.8	2.8	6.5e-1	2.5e-2	3.7e-3	1.3e-3	4.8e-4	2.0e-4	7.0e-5	3.0e-5
*	>60.	pF	34.4	34.0	33.6	33.0	31.0	19.0	08.5	05.2	04.5	03.5	02.5	02.0	01.8
*		Kh	17.	16.	14.	11.	4.9	1.1e-1	2.5e-3	4.0e-4	8.5e-5	1.5e-5	4.0e-6	1.5e-6	8.0e-7

N.B. * : in het laboratorium van Stiboka bepaalde pF en Kh relaties, de andere zijn gevonden in de literatuur, te weten Stiboka-rapport 1895 (blz 65/67) en Stiboka-rapport 1680 (Krabbenberg) aff. 136; no. r-3-2

BIJLAGE 4

Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie met een Gt VII (GVG = 135 cm en GLG = 190 cm - mv.).

Gemiddeld en maximum vochttekort van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	60	291	66
Mn12aA	64	280	62
Mn12bkA	62	279	61
Mn12bA	68	289	63
Mn15aA	6	107	22
Mn15aAz	40	242	54
Mn25A	14	151	33
Mn25Az	34	229	51

Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte												N =
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	11	5	3	7	2					1		1	30
Mn12aA	9	5	4	8	2					1		1	30
Mn12bkA	9	6	3	8	2					1		1	30
Mn12bA	9	5	4	6	4					1		1	30
Mn15aA	28		1										30
Mn15aAz	15	5	7	1				1		1			30
Mn25A	26	2			1			1					30
Mn25Az	16	7	5					1		1			30

Frequentieverdeling van de vochttekorten in procenten.

Profiel	Klassegrootte												%
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	37	17	10	23	7					3		3	100
Mn12aA	30	17	13	27	7					3		3	100
Mn12bkA	30	20	10	27	7					3		3	100
Mn12bA	30	17	13	20	13					3		3	100
Mn15aA	93		3		3								100
Mn15aAz	50	17	23	3				3		3			100
Mn25A	87	7			3			3					100
Mn25Az	53	23	17					3		3			100

BIJLAGE 5

Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie met een Gt VI (GVG = 110 cm en GLG = 160 cm - mv.).

Gemiddeld en maximum vochttekort van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	46	263	60
Mn12aA	47	50	57
Mn12bkA	39	237	54
Mn12bA	52	260	59
Mn15aA	2	59	11
Mn15aAz	14	169	37
Mn25A	7	110	23
Mn25Az	12	155	34

Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte												N =
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	15	3	8	2				1		1			30
Mn12aA	14	4	6	4				1		1			30
Mn12bkA	15	6	6	1			1		1				30
Mn12bA	13	5	3	7				1		1			30
Mn15aA	29		1										30
Mn15aAz	26	2				1	1						30
Mn25A	28		1		1								30
Mn25Az	27	1			1		1						30

Frequentieverdeling van de vochttekorten in procenten.

Profiel	Klassegrootte												%
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	50	10	27	7				3		3			100
Mn12aA	47	13	20	13				3		3			100
Mn12bkA	50	20	20	3			3		3				100
Mn12bA	43	17	10	23				3		3			100
Mn15aA	97		3										100
Mn15aAz	87	7				3	3						100
Mn25A	93		3		3								100
Mn25Az	90	3			3		3						100

BIJLAGE 9

Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie na verandering van de hysteresefactor volgens 5.3.2.

Gemiddeld en maximum vochttekort van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	62	298	65
Mn12aA	67	274	59
Mn12bkA	65	274	59
Mn12bA	75	283	60
Mn15aA	6	109	22
Mn15aAz	43	240	53
Mn25A	15	151	33
Mn25Az	38	228	50

Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte												N =
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	10	5	5	6	2					1		1	30
Mn12aA	7	7	4	8	2					1	1		30
Mn12bkA	7	7	4	9	1					1	1		30
Mn12bA	6	7	5	5	5					1		1	30
Mn15aA	28		1		1								30
Mn15aAz	15	5	8				1		1				30
Mn25A	25	3			1	1							30
Mn25Az	15	5	8				1		1				30

Frequentieverdeling van de vochttekorten in procenten.

Profiel	Klassegrootte												%
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	33	17	17	20	7					3		3	100
Mn12aA	23	23	13	27	7					3	3		100
Mn12bkA	23	23	13	30	3					3	3		100
Mn12bA	20	23	17	17	17					3		3	100
Mn15aA	93		3		3								100
Mn15aAz	50	17	27				3		3				100
Mn25A	83	10			3	3							100
Mn25Az	50	17	27				3		3				100

BIJLAGE 10

Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen na verandering van K-h relaties volgens 5.3.3.

Gemiddeld en maximum vochttekort van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	51	275	62
Mn12aA	51	261	58
Mn12bkA	50	255	57
Mn12bA	55	268	60
Mn15aA	9	131	27
Mn15aAz	37	234	52
Mn25A	8	125	26
Mn25Az	58	265	59

Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte												N =
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	14	4	5	5					1			1	30
Mn12aA	13	4	6	5					1		1		30
Mn12bkA	13	5	5	5					1		1		30
Mn12bA	9	7	5	7					1		1		30
Mn15aA	28			1		1							30
Mn15aAz	16	6	6					1		1			30
Mn25A	28			1		1							30
Mn25Az	9	6	5	7	1				1		1		30

Frequentieverdeling van de vochttekorten in procenten.

Profiel	Klassegrootte												%
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	47	13	17	17					3			3	100
Mn12aA	43	13	20	17					3		3		100
Mn12bkA	43	17	17	17					3		3		100
Mn12bA	30	23	17	23					3		3		100
Mn15aA	93			3		3							100
Mn15aAz	53	20	20					3		3			100
Mn25A	93			3		3							100
Mn25Az	30	20	17	23	3				3		3		100

BIJLAGE 11

Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie na verhoging van de gewasverdampingsfactor volgens 5.4.1.

Gemiddeld en maximum vochttekort van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	99	349	67
Mn12aA	102	336	70
Mn12bkA	101	334	70
Mn12bA	109	345	71
Mn15aA	9	139	30
Mn15aAz	70	295	65
Mn25A	25	186	41
Mn25Az	60	277	61

Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte												N =
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	3	5	6	3	3	7	1						30
Mn12aA	1	6	5	4	4	8						1	30
Mn12bkA	3	5	4	5	3	8							30
Mn12bA		6	4	6	2	8	2						30
Mn15aA	28			1		1							30
Mn15aAz	7	7	3	6	5					1		1	30
Mn25A	21	6	1			1		1					30
Mn25Az	10	5	5	6	2					1		1	30

Frequentieverdeling van de vochttekorten in procenten.

Profiel	Klassegrootte												%
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	11	18	21	11	11	25	4						100
Mn12aA	3	21	17	14	14	28						3	100
Mn12bkA	10	17	14	17	10	28						3	100
Mn12bA		21	14	21	7	29	7						100
Mn15aA	93			3		3							100
Mn15aAz	23	23	10	20	17					3		3	100
Mn25A	70	20	3			3		3					100
Mn25Az	33	17	17	20	7					3		3	100

BIJLAGE 12

Overzicht van de rekenuitkomsten bij granen voor de situatie na verandering van het verdampingsreductiepunt volgens 5.4.2.

Gemiddeld en maximum vochttekort van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	37	234	52
Mn12aA	25	191	42
Mn12bkA	15	169	36
Mn12bA	29	203	45
Mn15aA	0	0	0
Mn15aAz	26	192	42
Mn25A	0	0	0
Mn25Az	24	186	41

Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte												N =
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	16	5	6		1		1			1			30
Mn12aA	19	8		1		1		1					30
Mn12bkA	27		1		1		1						30
Mn12bA	18	9		1		1			1				30
Mn15aA	30												30
Mn15aAz	18	9		1		1		1					30
Mn25A	30												30
Mn25Az	20	7		1	1			1					30

Frequentieverdeling van de vochttekorten in procenten.

Profiel	Klassegrootte												%
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	53	17	20		3		3			3			100
Mn12aA	63	27		3		3		3					100
Mn12bkA	90		3		3		3						100
Mn12bA	60	30		3		3			3				100
Mn15aA	100												100
Mn15aAz	60	30		3		3		3					100
Mn25A	100												100
Mn25Az	67	23		3	3			3					100

BIJLAGE 13

Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie na verandering van de slootdiepte volgens 5.5.1.

Gemiddeld en maximum vochttekort van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	62	290	66
Mn12aA	67	279	62
Mn12bkA	65	278	62
Mn12bA	68	298	63
Mn15aA	6	103	21
Mn15aAz	42	240	54
Mn25A	15	150	33
Mn25Az	36	225	51

Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte												N =
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	10	6	3	7	2				1		1		30
Mn12aA	8	6	4	5	5				1		1		30
Mn12bkA	8	7	3	9	2				1		1		30
Mn12bA	9	5	4	6	4								30
Mn15aA	28		1		1								30
Mn15aAz	15	4	8	1			1		1				30
Mn25A	25	3			1		1						30
Mn25Az	16	5	6	1			1		1				30

Frequentieverdeling van de vochttekorten in procenten.

Profiel	Klassegrootte												%
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	33	20	10	23	7				3		3		100
Mn12aA	27	20	13	17	17				3		3		100
Mn12bkA	27	23	10	27	7				3		3		100
Mn12bA	30	17	13	20	13				3		3		100
Mn15aA	93		3		3								100
Mn15aAz	50	13	27	3			3		3				100
Mn25A	83	10			3		3						100
Mn25Az	53	17	20	3			3		3				100

BIJLAGE 14

Overzicht van de rekenuitkomsten bij aardappelen voor de situatie met lagere maximale afvoer volgens 5.5.2.

Gemiddeld en maximum vochttekort van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	60	291	66
Mn12aA	64	280	62
Mn12bkA	62	279	61
Mn12bA	69	289	63
Mn15aA	6	108	11
Mn15aAz	39	242	54
Mn25A	14	152	33
Mn25Az	34	229	50

Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte											N =
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	
Sn12A	11	5	3	7	2				1		1	30
Mn12aA	9	5	4	8	2				1		1	30
Mn12bkA	9	6	4	8	1				1		1	30
Mn12bA	8	6	4	5	5				1		1	30
Mn15aA	28		1		1							30
Mn15aAz	15	5	7	1			1		1			30
Mn25A	26	2			1		1					30
Mn25Az	16	7	5				1		1			30

Frequentieverdeling van de vochttekorten in procenten.

Profiel	Klassegrootte											%
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	
Sn12A	37	17	10	23	7				3		3	100
Mn12aA	30	17	13	27	7				3		3	100
Mn12bkA	30	20	13	27	3				3		3	100
Mn12bA	27	20	13	17	17				3		3	100
Mn15aA	93		3		3							100
Mn15aAz	50	17	23	3			3		3			100
Mn25A	87	7			3		3					100
Mn25Az	53	23	17				3		3			100

BIJLAGE 15

Overzicht van de rekenuitkomsten bij granen voor de situatie met een grondwatertrap VII (GVG = 135 cm en GLG = 190 cm - mv.).

Gemiddeld en maximum vochttekort van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	51	254	56
Mn12aA	46	221	50
Mn12bkA	33	204	46
Mn12bA	52	233	52
Mn15aA	0	19	3
Mn15aAz	22	179	39
Mn25A	0	7	1
Mn25Az	12	148	31

Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte												N =
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	13	5	4	5		1		1			1		30
Mn12aA	13	5	9		1		1		1				30
Mn12bkA	17	5	5	1		1			1				30
Mn12bA	13	4	5	5	1			1		1			30
Mn15aA	30												30
Mn15aAz	20	7		1	1			1					30
Mn25A	30												30
Mn25Az	27		1	1		1							30

Frequentieverdeling van de vochttekorten in procenten.

Profiel	Klassegrootte												%
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	43	17	13	17		3		3			3		100
Mn12aA	43	17	30		3		3		3				100
Mn12bkA	57	17	17	3		3			3				100
Mn12bA	43	13	17	17	3			3		3			100
Mn15aA	100												100
Mn15aAz	67	23		3	3			3					100
Mn25A	100												100
Mn25Az	90		3	3		3							100

BIJLAGE 18

Overzicht van de rekenuitkomsten bij suikerbieten voor de situatie met een grondwatertrap VII (GVG = 135 cm en GLG = 190 cm - mv.).

Gemiddeld en maximum vochttekort van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	54	278	67
Mn12aA	49	257	60
Mn12bkA	38	242	56
Mn12bA	54	267	61
Mn15aA	1	27	5
Mn15aAz	27	223	50
Mn25A	0	14	2
Mn25Az	15	181	40

Frequentieverdeling van de vochttekorten in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte												N =
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	14	4	4	4	2						1	1	30
Mn12aA	14	4	5	5					1			1	30
Mn12bkA	18	5	4	1				1	1				30
Mn12bA	11	7	5	4	1				1	1			30
Mn15aA	29	1											30
Mn15aAz	19	6	3			1		1					30
Mn25A	30												30
Mn25Az	26	2				1		1					30

Frequentieverdeling van de vochttekorten in procenten.

Profiel	Klassegrootte												%
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	250-275	275-300	
Sn12A	47	13	13	13	7						3	3	100
Mn12aA	47	13	17	17				3			3		100
Mn12bkA	30	17	13	3				3	3				100
Mn12bA	37	23	17	13	3				3	3			100
Mn15aA	97	3											100
Mn15aAz	63	20	10			3		3					100
Mn25A	100												100
Mn25Az	87	7				3		3					100

BIJLAGE 21

Overzicht van de rekenuitkomsten die gemaakt zijn voor de watergiften die nodig zijn wanneer de drukhoogtewaarden lager dan h = -500 zijn.

Gemiddelde en maximum watergiften van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	78	240	55
Mn12aA	87	240	52
Mn12bkA	85	240	52
Mn12bA	89	260	53
Mn15aA	10	140	31
Mn15aAz	58	200	51
Mn25A	31	160	42
Mn25Az	52	200	50

Frequentieverdeling van de watergiften in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte											N =
	0- 25	25- 50	50- 75	75- 100	100- 125	125- 150	150- 175	175- 200	200- 225	225- 250	250- 275	
Sn12A	7	4	5	1	9	2			1	1		30
Mn12aA	4	4	4	5	8	2	1		1	1		30
Mn12bkA	4	5	3	5	8	3			1	1		30
Mn12bA	4	3	4	6	9	2			1		1	30
Mn15aA	27	1			1	1						30
Mn15aAz	10	6	2	6	4			1	1			30
Mn25A	18	6	2	2			2					30
Mn25Az	12	4	4	6	2			1	1			30

Frequentieverdeling van de watergiften in procenten.

Profiel	Klassegrootte											%
	0- 25	25- 50	50- 75	75- 100	100- 125	125- 150	150- 175	175- 200	200- 225	225- 250	250- 275	
Sn12A	23	13	17	3	30	7			3	3		100
Mn12aA	13	13	13	17	27	7	3		3	3		100
Mn12bkA	13	17	10	17	27	10			3	3		100
Mn12bA	13	10	13	20	30	7			3		3	100
Mn15aA	90	3			3	3						100
Mn15aAz	33	20	7	20	13			3	3			100
Mn25A	60	20	7				7					100
Mn25Az	40	13	13	20	7			3	3			100

BIJLAGE 22

Overzicht van de rekenuitkomsten die gemaakt zijn voor de watergiften die nodig zijn wanneer de drukhoogtewaarden lager dan h = -1000 zijn.

Gemiddelde en maximum watergift van de dertigjarige periode 1955-1985 en de standaardafwijking.

Profiel	Gemiddeld vochttekort (mm)	Maximum (mm)	Standaard afwijking (s)
Sn12A	49	180	46
Mn12aA	56	200	49
Mn12bkA	51	180	45
Mn12bA	59	200	46
Mn15aA	5	100	21
Mn15aAz	38	180	45
Mn25A	10	120	28
Mn25Az	28	160	41

Frequentieverdeling van de watergift in absolute getallen.

Profiel	Klassegrootte												N =
	0- 25	25- 50	50- 75	75- 100	100- 125	125- 150	150- 175	175- 200	200- 225	225- 250	250- 275	275- 300	
Sn12A	14	3	5	4	2			2					30
Mn12aA	10	5	7	3	3			1	1				30
Mn12bkA	11	5	7	3	2			2					30
Mn12bA	10	4	5	7	2			1	1				30
Mn15aA	28		1		1								30
Mn15aAz	16	5	4	3			1	1					30
Mn25A	27	1			2								30
Mn25Az	21	4	2	1			2						30

Frequentieverdeling van de watergift in procenten.

Profiel	Klassegrootte												%
	0- 25	25- 50	50- 75	75- 100	100- 125	125- 150	150- 175	175- 200	200- 225	225- 250	250- 275	275- 300	
Sn12A	47	10	17	13	7			7					100
Mn12aA	33	17	23	10	10			3	3				100
Mn12bkA	37	17	23	10	7			7					100
Mn12bA	33	13	17	23	7			3	3				100
Mn15aA	93		3		3								100
Mn15aAz	53	17	13	10			3	3					100
Mn25A	90	3			7								100
Mn25Az	70	13	7	3			7						100