

NOTA 587

11 januari 1971

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschapper
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

EEN BEREKENINGSMETHODE VOOR DE BENADERING
VAN DE LANDBOUWSCHADE TEN GEVOLGE VAN GROND-
WATERONTTREKING

P. E. Rijtema

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

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

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

INHOUD

INLEIDING	1
METEOROLOGISCHE BASISGEGEVENS	2
ONTTREKKINGSSYSTEEM EN BODEMPROFIEL	3
VOORJAARSWATERSTAND EN AFVOER	7
BEREKENING VAN DE VOCHTLEVERANTIE UIT HET PROFIEL	12
BEPALING VAN DE MAXIMALE AANVOER SNELHEID UIT DE ONDERGROND	15
BEREKENING VAN CAPILLAIRE OPSTIJGING EN GRONDWATERSTAND IN AFHANKELIJKHEID VAN DE TIJD	17
VOCHTONTTREKKING UIT DE WORTELZONE EN VERDAMPING	24
DE AFVOER	25
VERDAMPING EN DROGE STOF PRODUCTIE	25
VOCHTVOORZIENING EN GRAANPRODUCTIE	26
VOCHTVOORZIENING EN AARDAPPELPRODUCTIE	29
VOCHTVOORZIENING EN GRASPRODUCTIE	36
GELDELIJKE GEVOLGEN VAN DE GRONDWATER- ONTTREKKING	40
CONCLUSIES	43
SAMENVATTING	47
LITERATUUR	47
BIJLAGEN 1 tot en met 8	

INLEIDING

In het rapport van de Centrale Commissie Drinkwatervoorziening wordt voor drinkwater een fors beroep gedaan op het grondwater. De in dit rapport genoemde mogelijke grondwateronttrekking is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. De maximale grondwateronttrekking in m³ en mm, de oppervlakte van de gebieden en de oppervlakte zandgronden in deze gebieden

	Noorden		Oosten		Zuiden	
	Gr.	Fr. Dr.	Gld.	Ov.	N. Br.	L.
Max. onttrekking x 10 ⁶ m ³		400		600		300
Opp. in ha.		764.000		546.000		407.000
Onttrekking in mm		53		110		74
Opp. zandgronden		400.000		385.000		300.000
Onttrekking bij gereduceerd oppervlak in mm		100		155		100

Ruwweg heeft ons land een neerslagoverschot van 300 mm per jaar. Op basis van deze jaarbalans zou een onttrekking van 150 mm zonder meer mogelijk moeten zijn. In de meeste gebieden wordt echter 80% van dit neerslagoverschot in het winter-halfjaar (okt. - april) afgevoerd en slechts 20% als basisafvoer via het diepe grondwater in het zomer-halfjaar. Ten aanzien van de verdamping is de verhouding juist omgekeerd, namelijk ongeveer 80% in het zomer-halfjaar en 20% in het winter-halfjaar. Bij een extra grondwateronttrekking van 0,3-0,5 mm per dag zal vooral in het zomerhalfjaar in de meeste gebieden een aanzienlijke daling van de grondwaterstand optreden, waarbij vooral in aanmerking moet worden genomen, dat deze onttrekking niet gelijkmatig over

het hele oppervlak van de zandgebieden zal plaatsvinden.

In verband hiermede is het noodzakelijk, dat een redelijke prognose kan worden gemaakt van de landbouwkundige gevolgen van deze grondwateronttrekking. Hoewel het in de volgende hoofdstukken gegeven rekenvoorbeeld vooral zal worden toegespitst op de landbouw, moet wel worden bedacht, dat bij onttrekking van gronden aan de landbouw voor bebossing, natuurgebieden en recreatiegebieden vrijwel even strenge eisen aan de watervoorziening van de aanwezige beplantingen moeten worden gesteld. Bij het rekenvoorbeeld zal vooral aandacht worden geschonken aan de vergroting van de droogteschade tengevolge van de grondwateronttrekking. Dezelfde berekeningstechniek kan in principe ook worden toegepast voor kwelgebieden, waarbij door de grondwateronttrekking een verbetering in de waterhuishouding ontstaat onder natte omstandigheden.

METEOROLOGISCHE BASISGEGEVENS

De eventueel schadelijke gevolgen van de grondwateronttrekking worden mede bepaald door twee meteorologische factoren, namelijk de neerslag en de verdamping gedurende het groeiseizoen. Van deze twee factoren is de neerslag de meest variabele, zowel wat betreft de hoeveelheid als wel de verdeling in de tijd. Voor voorspellingsdoeleinden is het echter mogelijk om met k-daagse neerslagsommen te werken en de neerslag regelmatig verdeeld over de betreffende periode in beschouwing te nemen, hoewel hierdoor een te gunstige verdeling wordt verkregen in verband met de watervoorziening van het gewas. Met de frequentie-verdeling van deze k-daagse neerslagsommen geeft de onderschrijdingskans van een bepaalde neerslagsom over het groeiseizoen een goed criterium om een bepaalde droogtegraad van deze periode weer te geven. Als criterium is aangehouden de onderschrijdingskans na een tijdvak van 120 dagen en langer. Binnen het tijdvak van 120 dagen is de verdeling van de neerslag nog vrij willekeurig. Bij de berekeningen zijn twee verdelingen binnen dit tijdvak gevolgd namelijk de droogste periode in het begin van het groeiseizoen en de droogste periode in de tweede helft van het groeiseizoen. Alleen voor de onderschrijdingskans van 90% is slechts een verdeling aangehouden. De bij de berekeningen gebruikte neerslagsommen zijn voor periodelengten die met 15 dagen toenemen weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. De k-daagse neerslagsommen vanaf 15 april in mm voor periodelengten die met 15 dagen toenemen en de daarbij behorende onderschrijdingskans na een periode van 120 dagen

Droogste periode	Onderschrijdingskans n x 100 jaar	Periodelengte in dagen									
		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
	90	32	74	111	157	203	250	294	332	381	419
vroeg	50	21	50	79	117	152	185	223	255	297	328
laat	50	30	70	99	138	171	205	233	255	297	328
vroeg	20	13	28	46	75	111	145	176	202	237	260
laat	20	22	54	82	121	148	172	189	202	237	260
vroeg	10	9	21	40	69	97	125	157	182	214	237
laat	10	21	52	72	104	128	155	172	182	214	137
vroeg	1	4	10	24	39	52	75	99	120	147	169
laat	1	18	37	51	68	85	102	115	120	147	169

De maximale verdamping vertoont veel minder variatie dan de neerslag. Doorgaans zal de variatie over een heel groeiseizoen tussen de verschillende jaren niet veel meer bedragen dan 10%. Op grond hiervan is met de in tabel 3 gegeven verdeling van de verdampingssommen gewerkt, waarbij is aangenomen dat deze verdampingshoeveelheden optreden bij de in tabel 2 gegeven neerslagverdelingen.

Door de berekeningen uit te voeren met een relatief droogste periode aan het begin en aan het einde van het groeiseizoen zullen de gevolgen van grondwateronttrekking, behalve bij extreme neerslagen aan het begin en aan het einde van het groeiseizoen, voor andere neerslagverdelingen tussen de resultaten van beide aangenomen verdelingen in liggen.

ONTTREKKINGSSYSTEEM EN BODEMPROFIEL

Voor berekeningen van de vochtleverantie door het profiel bij de verschillende situaties is het noodzakelijk om het vochtonttrekkings-

Tabel 3. De k-daagse verdampingssommen vanaf 15 april in mm voor periodelengten die met 15 dagen toenemen. Er is aangenomen dat deze verdampingssommen optreden bij de overeenkomstige neerslagsommen in tabel 2.

Droogste periode	Over schrij- dingskans n x 100 jaar	Periodelengte in dagen									
		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
	90	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
vroeg	50	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
laat	50	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
vroeg	20	40	83	124	176	228	279	328	372	419	405
laat	20	35	80	120	170	224	276	326	372	419	405
vroeg	10	41	85	128	182	235	288	339	384	431	470
laat	10	35	80	120	173	226	282	336	387	431	470
vroeg	1	44	90	140	190	243	306	358	408	454	495
laat	1	41	82	128	177	237	298	356	408	454	495

patroon door het gewas te schematiseren. Om deze reden wordt het begrip effectievewortelzone van het gewas geïntroduceerd. Deze effectieve wortelzone kan worden gedefinieerd als die laag van het profiel waarin 80% van de wortels aanwezig is. Voor deze laag wordt aangenomen dat geen verticale gradienten in de zuigspanning aanwezig zijn, zodat de wateropname in deze laag alleen via radiale stroming naar de wortels plaatsvindt. Het betekent tevens dat deze laag volledig kan uitdrogen tot verwelkingspunt.

Van de hoeveelheid water die beschikbaar komt door capillaire opstijging uit de ondergrond, wordt verondersteld dat deze aan de onderzijde van de effectieve wortelzone door het gewas wordt opgenomen.

Indien de opbouw van het bodemprofiel geen beperkingen geeft voor de bewortelingsdiepte kunnen de in tabel 4 gegeven effectieve bewortelingsdiepten worden gebruikt.

Vaak zal de opbouw van het bodemprofiel de bewortelingsdiepte beperken. In deze gevallen wordt de diepte van de effectieve wortelzone aangenomen tot op de diepte van de beperkende laag.

Tabel 4. Bewortelingstype en de overeenkomstige effectieve wortelzone

Bewortelingstype	Effectieve wortelzone in cm -mv	Gewasvoorbeeld
Ondiepe beworteling	30	grasland
Matig ondiepe beworteling	40	aardappels
Matig diepe beworteling	60	granen
Diepe beworteling	80	lucerne

De hoeveelheid water die door capillaire opstijging uit de ondergrond voor de plant beschikbaar komt is afhankelijk van de vocht karakteristiek en het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond. Bij een niet homogene ondergrond zal deze in een aantal lagen moeten worden verdeeld, die ieder hun eigen vocht karakteristiek en capillair geleidingsvermogen hebben. Hoewel ogenschijnlijk een nauwkeuriger resultaat zal worden bereikt, door met de bodemfysische gegevens te werken, die zijn bepaald uit ter plaatse genomen monsters, zal door de heterogeniteit in de profielopbouw voor grotere gebieden en de onnauwkeurigheid in de hydrologische factoren over het algemeen kunnen worden gewerkt met de bodemfysische gegevens van een reeds eerder gepubliceerde reeks standaardgronden (RIJTEMA, 1969 b).

Ter verduidelijking van de berekeningsmethode, zal de verdere discussie worden gegeven met behulp van een rekenvoorbeeld. Voor dit rekenvoorbeeld is een droogtegevoelig bodemprofiel gekozen, bestaande uit een doorwortelbare humeuze deklaag van 40 cm dikte, op een niet doorwortelde ondergrond van matig grof zand. De vocht karakteristieken van dit profiel zijn gegeven in tabel 5.

Voor het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond is aangenomen, dat tot 90 cm zuigspanning wordt voldaan aan de vergelijking $k = k_0 e^{-\alpha \psi}$, met k_0 is 300 cm dag^{-1} en $\alpha = 0,138 \text{ cm}^{-1}$. Voor hogere waarden van de zuigspanning voldoet het capillair geleidingsvermogen aan de vergelijking $k = a \psi^{-1.4}$, waarbij a gelijk is aan $0,63 \text{ cm}^{2.4} \text{ dag}^{-1}$. Om een indruk te geven van de mogelijke stroomsnelheden in de onverzadigde ondergrond is in tabel 6 voor stationnaire toestanden voor een aantal stroomsnelheden het verband gegeven tussen de zuigspanning

Tabel 5. Vochtkarakteristieken van het bodemprofiel gebruikt bij het rekenvoorbeeld

Vochtspanning in cm	Vochtgehalten in volume percentage	
	humeuze deklaag	ondergrond
0	43.5	36.5
2,5	42.6	35.7
10	40.8	33.1
31	34.8	27.4
100	27.0	9.5
200	23.3	6.5
500	19.3	5.2
2500	14.0	3.1
16000	9.7	1.7
10^6	3.0	0.4

(vochtgehalte) en de hoogte boven het grondwater.

Tabel 6. Het verband tussen de zuigspanning, het vochtgehalte en de hoogte boven het grondwater voor verschillende stroomsnelheden

Ψ cm	θ vol%	Z cm	V (mm dag ⁻¹)							
			5,0	4,0	3,0	2,0	1,5	1,0	0,6	0,2
20	30,0		19,8	19,8	19,9	19,9	19,9	19,9	20,0	20,0
50	16,0		42,9	43,9	45,0	46,3	47,1	47,9	48,7	49,5
100	9,5		46,4	48,0	50,1	53,0	55,1	58,0	61,7	69,7
250	6,2		46,5	48,2	50,3	53,3	55,5	58,7	62,8	73,0
500	5,2		46,6	48,2	50,4	53,5	55,8	59,1	63,5	74,9
1000	3,8		46,6	48,3	50,5	53,7	56,0	59,4	64,0	76,3
2500	3,1		46,7	48,4	50,6	53,8	56,1	59,6	64,4	77,5
5000	2,5		46,7	48,4	50,6	53,9	56,2	59,7	64,6	78,2
10000	2,0		46,7	48,4	50,7	53,9	56,3	59,9	64,8	78,8
16000	1,7		46,7	48,5	50,7	54,0	56,4	59,9	64,9	79,1

Uit deze tabel blijkt, bij een effectieve wortelzone van 40 cm en een transportovername door de plantenwortels aan de onderkant van de wortelzone, dat de opstijging vanuit het grondwater kleiner is dan 1 mm/dag wanneer de grondwaterstand is gedaald tot beneden 1 m -mv.

VOORJAARSWATERSTAND EN AFVOER

Voor de berekening van het vochtleverend vermogen van de ondergrond is de grondwaterstand op het tijdstip, dat het verdampingsoverschot begint op te treden, van groot belang. De verdeling en de grootte van de neerslag voor het begin van het verdampingsoverschot zal bepalend zijn voor de uiteindelijke voorjaarswaterstand, waarvan bij de berekening zal moeten worden uitgegaan. Tevens bepaalt de hoeveelheid neerslag en de verdeling in de tijd op welke datum de berekeningen moeten worden begonnen. Deze begindatum zal in de meeste jaren variëren tussen begin en eind april. Aangezien het doel van de berekening is, om een verwachte toekomstige droogteschade te berekenen tengevolge van een extra grondwateronttrekking kan bij alle berekeningen worden uitgegaan van de gemiddelde voorjaarswaterstand voor de grondwateronttrekking en de te verwachten voorjaarswaterstand als de onttrekking is gerealiseerd. Als begindatum voor de berekeningen is aangehouden 15 april.

Gedurende het groeiseizoen treedt een daling op van de grondwaterstand die zowel wordt veroorzaakt door de verdamping en capillaire opstijging vanuit de ondergrond, als wel door de afvoer naar het diepe pakket. Fig. 1a geeft de vochtverdeling in het profiel weer, uitgaande van een voorjaarswaterstand van 60 cm -mv, wanneer de grondwaterstands daling uitsluitend wordt veroorzaakt door verdamping en capillaire opstijging. Fig. 1b geeft hetzelfde weer, maar in dit geval is de daling uitsluitend veroorzaakt door de afvoer. Hoewel in beide gevallen eenzelfde grondwaterstand is gegeven is de vochtverdeling in het profiel verschillend. Uit beide figuren komt echter duidelijk naar voren, dat een gedeelte van het bodemvocht, dat aan het profiel moet worden onttrokken, zowel door de verdamping als door de afvoer uit het profiel kan verdwijnen. In het rekenschema zal daarom de capillaire stromingsnelheid aan de onderkant van de effectieve wortelzone en de afvoersnelheid op het niveau van de grondwaterstand worden gecombineerd voor de

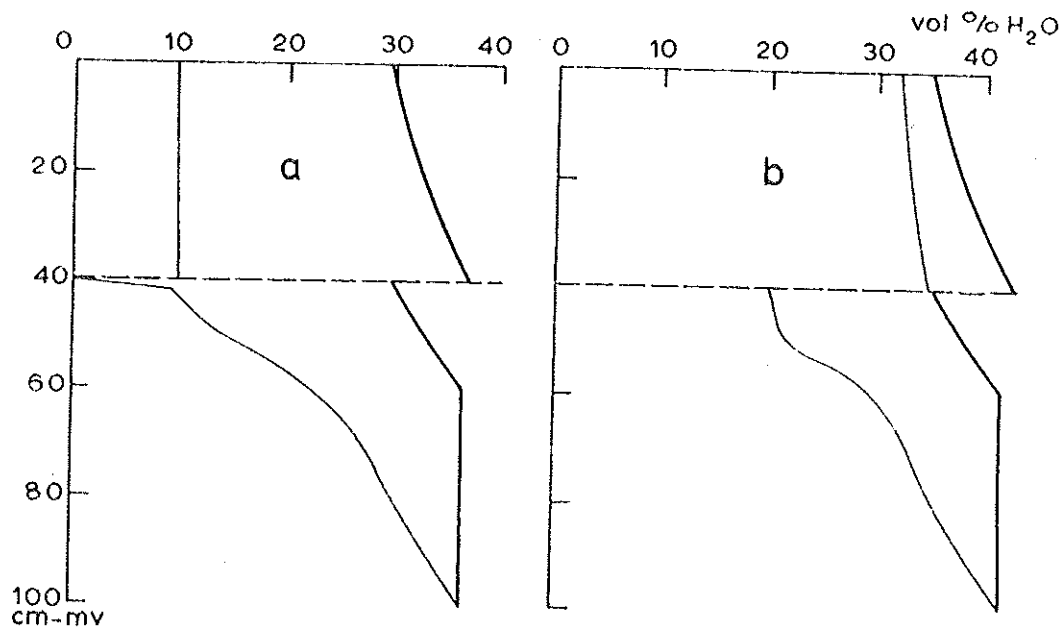


Fig. 1. Vochtgehalteverdeling in het profiel:
 a. bij daling van de grondwaterstand t. g. v. verdamping en capillaire opstijging ———— uitgangstoestand
 b. bij daling van de grondwaterstand t. g. v. afvoer via ondergrond

berekening van de dalingsnelheid van de grondwaterstand. In gebieden met kwel kan hetzelfde schema worden gevolgd door de kwel als negatieve afvoer te beschouwen.

De basisafvoer van een perceel naar het diepe grondwater is zowel afhankelijk van de stijghoogten van het ondiepe en het diepe grondwater, als wel van de c -waarde van het afdekkende pakket. Door de daling van de stijghoogten in het ondiepe en het diepe pakket ten opzichte van een waterloop, zal in droge perioden deze basisafvoer in de loop van de tijd afnemen. Zowel de grootte van de basisafvoersnelheid als de afname in de tijd worden volledig bepaald door de hydrologische parameters van het gebied.

In fig. 2 is een schematische voorstelling van een hydrologische situatie gegeven zonder grondwateronttrekking (fig. 2a) en met grondwateronttrekking (fig. 2b). Voor het tussen A en B gelegen gebied is in het rekenvoorbeeld aangenomen dat het in fig. 3 gegeven verband tussen de grondwaterstand (ondiep) en de basisafvoer geldig is. In het geval van grondwateronttrekking zal op een zekere afstand x van het onttrekkingspunt geen gradient in het diepe grondwater optreden, zodat de horizontale stroming in dat punt juist gelijk is aan nul, terwijl de stroming daar in geval (a) gelijk was aan q_x . Door de geringere stijghoogte van het diepe grondwater zal voor het gebied rechts van het punt x een vergroting van de basisafvoer optreden, waardoor weer een toenemende horizontale stroomsnelheid in de richting van de waterloop tot stand komt. De grootte van de toename van de basisafvoer wordt bepaald door de daling van de stijghoogte van het diepe grondwater en de c -waarde van het afdekkende pakket. Vooral bij lage c -waarden geeft een daling van de stijghoogte van het diepe grondwater bij gelijkblijvende stijghoogte van het ondiepe grondwater reeds een aanzienlijke toename van de basisafvoer. Voor het rekenvoorbeeld voor het beschouwde gebied tussen A en B is aangenomen, dat de basisafvoersnelheid in fig. 3 tengevolge van de onttrekking met een constant bedrag van 0,5 mm/etm. toeneemt.

In het voorbeeld zullen nu de volgende gevallen worden uitgerekend:

- I. Basisafvoer is nul, voorjaarswaterstand 60 cm -mv.
- II. Basisafvoer volgens fig. 3, voorjaarswaterstand 60 cm -mv.
- III. Als II met een extra basisafvoer van 0,5 mm/dag
- IV. Als III doch met een voorjaarswaterstand van 70 cm -mv.
- V. Als III doch met een voorjaarswaterstand van 80 cm -mv.

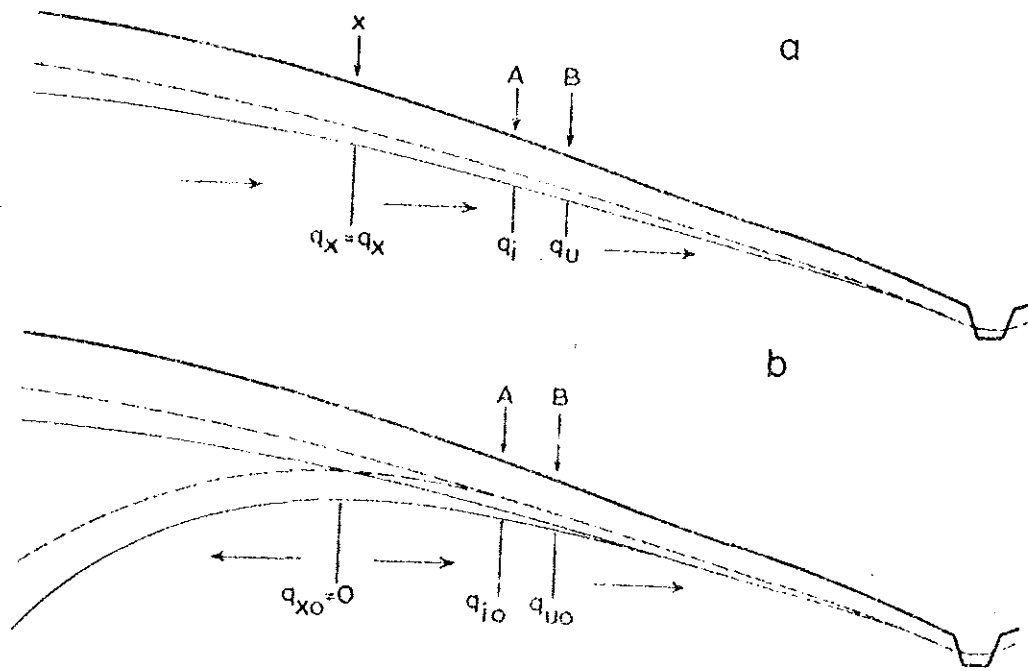


Fig. 2. Geschematiseerde voorstelling van de stijghoogten van het ondiepe grondwater (----) en het diepe grondwater (—). De pijlen geven de stromingsrichting aan van het water in het diepe pakket.
 a. zonder grondwateronttrekking; b. met grondwateronttrekking

$$q_i \quad q_{i0} \quad q_4 \quad q_{40} \quad q_4 - q_i \quad q_{40} - q_{i0}$$

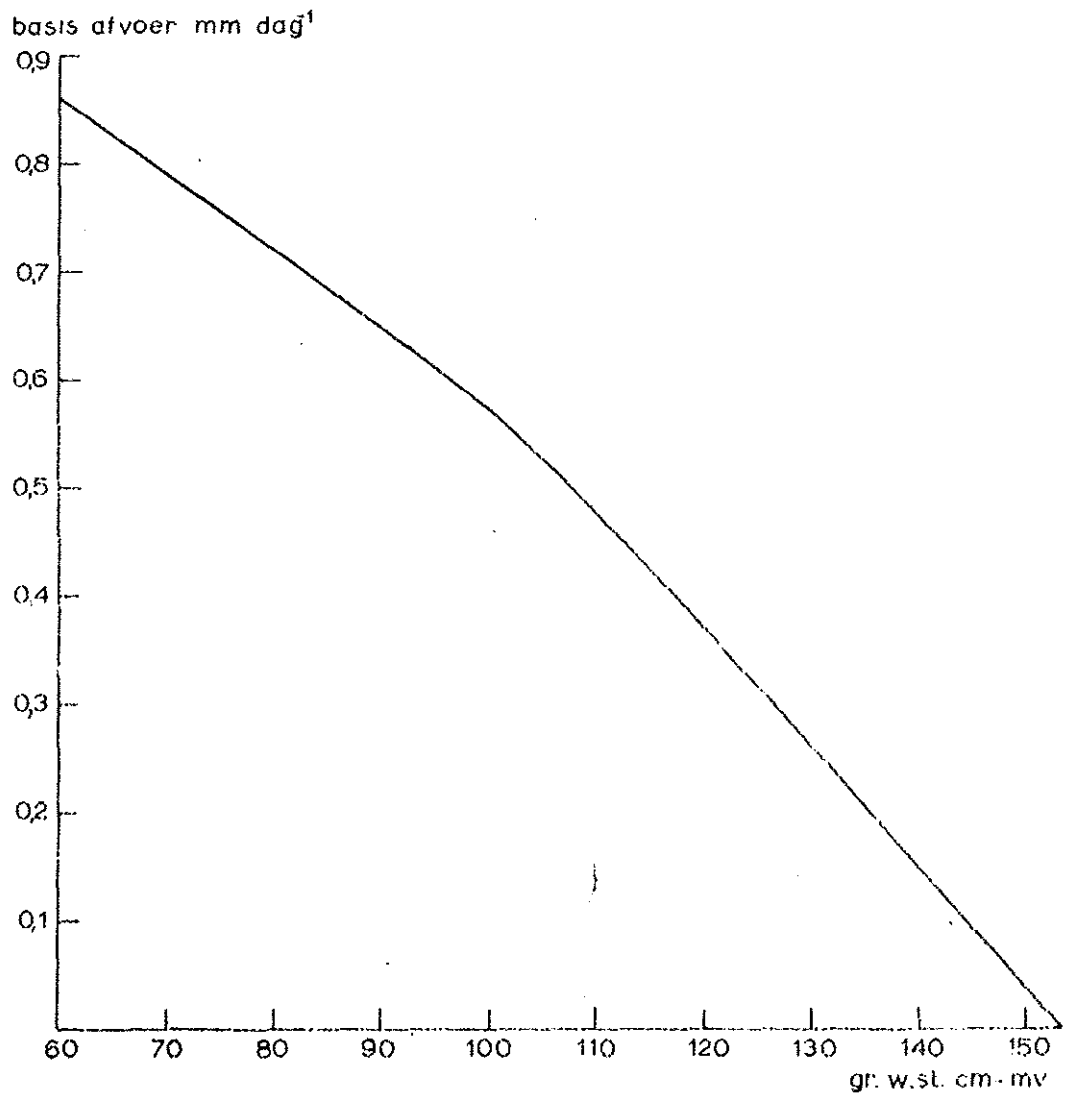


Fig. 3. Het bij de berekeningen aangenomen verband tussen de snelheid van de basisafvoer en de grondwaterstand

BEREKENING VAN DE VOCHTLEVERANTIE UIT HET PROFIEL

De vochtleverantie uit het profiel wordt naast de onttrekking uit de effectieve wortelzone van het gewas mede bepaald door de maximaal te realiseren onttrekkingsnelheid uit de ondergrond. Deze onttrekkingsnelheden zijn echter afhankelijk van het verloop van de zuigspanning aan de onderkant van de effectieve wortelzone en het verloop van de grondwaterstand. Het verloop van de zuigspanning aan de onderzijde van de effectieve wortelzone is echter afhankelijk van de vocht karakteristiek van de wortelzone en de snelheid waarmee het verdampingsoverschot wordt opgebouwd. Hiermede is wel duidelijk dat de vochtleverantie uit de ondergrond van jaar tot jaar zal verschillen in afhankelijkheid van de grootte en de verdeling van de neerslag.

Om de vochtleverantie te berekenen zijn daarom eerst een aantal stroomsnelheden aan de onderkant van de effectieve wortelzone aangenomen en is de onttrekking uit de ondergrond berekend voor verschillende dalingen van de grondwaterstand. In fig. 4 is een voorbeeld gegeven van de vochtverdeling in het profiel bij verschillende grondwaterstanden en een constante onttrekkingsnelheid van 2 mm/dag aan de onderzijde van de effectieve wortelzone. Met behulp van deze figuur kan nu voor deze onttrekkingsnelheid het verband tussen de grondwaterstand en de onttrekking uit de ondergrond worden bepaald. Tevens kan door middel van het vochtgehalte op het grensvlak met de wortelzone met behulp van de in tabel 5 gegeven vocht karakteristiek de zuigspanning op dit niveau worden bepaald. Aangezien bij de berekeningen wordt aangenomen, dat geen verticaal transport door de grond in de wortelzone plaatsvindt, kan ook de vochtverdeling in de wortelzone onder deze omstandigheden worden berekend. Deze vochtverdeling is voor de verschillende situaties ook weergegeven in fig. 4. Het tijdsverloop nodig voor de totale onttrekking wordt verkregen door de onttrekking uit de ondergrond te delen door de aangenomen onttrekkingsnelheid. De resultaten van deze berekening zijn weergegeven in tabel 6.

In de gekozen gevallen II tot en met V moet naast de onttrekkingsnelheid op het grensvlak van de effectieve wortelzone ook rekening worden gehouden met de optredende afvoer. Uit figuur 1 bleek, dat deze onttrekking tengevolge van de afvoer voor een belangrijk deel

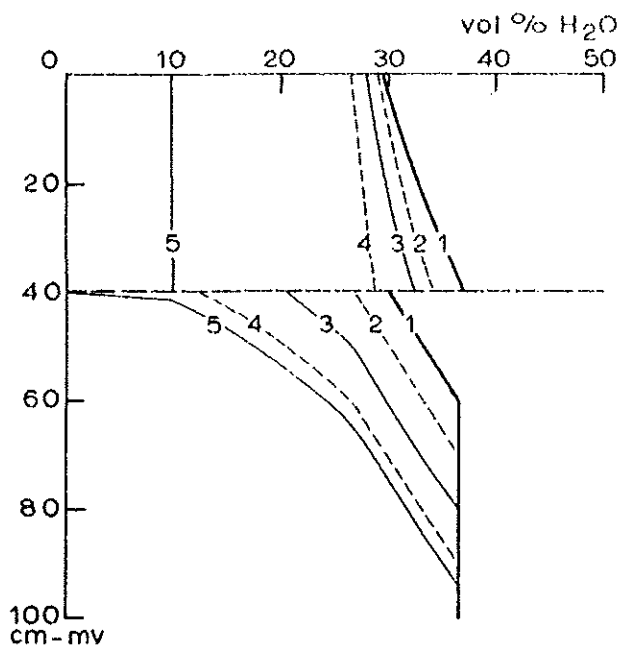


Fig. 4. De vochtverdeling in het profiel bij een aangenomen onttrekkings-
snelheid van 2 mm/dag aan de onderzijde van de effectieve
wortelzone

1. uitgangssituatie
2. grondwaterstand gedaald tot 70 cm
3. " " tot 80 cm
4. " " tot 90 cm
5. " " tot 94 cm

Tabel 6. Het verband tussen de grondwaterstand, de vochtonttrekking en de tijd indien geen afvoer optreedt en een stroomsnelheid van 2 mm/dag op het grensvlak van de wortelzone optreedt

Grondwaterstand	cm -mv	60	70	80	90	94
Onttrekking ondergrond	mm	0	8,5	21,7	42,0	52,9
Onttrekking ondergrond per grondwaterstandsverschil	mm	0	8,5	13,2	20,3	12,9
Zuigspanning op grensvlak	cm	20	32	43	77	16000
Gem. zuigspanning wortelzone	cm	40	52	63	93	16000
Vochtonttrekking wortelzone	mm	0	7,0	12,2	21,8	93,1
Totale vochtonttrekking profiel	mm	0	15,5	33,9	63,8	146,0
Tijd	dagen	0	4,2		21,0	26,4

betrekking heeft op dezelfde hoeveelheid water, die anders via capillaire opstijging uit de ondergrond wordt onttrokken. Daardoor is het mogelijk om de tijdsduur in deze gevallen te berekenen uit de onttrekking aan de ondergrond en de som van capillaire opstijging en afvoer. De vochtleverantie aan het gewas wordt dan bepaald door het product van tijdsduur en aangenomen stroomsnelheid op het grensvlak van de wortelzone.

Bij de berekeningen wordt de gemiddelde afvoer tussen twee grondwaterstanden gebruikt, afgeleid uit fig. 3. Een voorbeeld van de berekening is gegeven in tabel 7.

Uit tabel 7 blijkt, dat de totale vochtleverantie aan het gewas ten gevolge van de afvoer vermindert, maar ook dat de tijdsduur korter wordt.

Deze berekeningen zijn voor een aantal verschillende stroomsnelheden op het grensvlak van de wortelzone uitgevoerd. Deze gegevens zijn wat betreft de onttrokken hoeveelheden vocht uit de ondergrond, de onttrekkingsnelheden, de tijdsduren en de grondwaterstanden weergegeven in bijlage 1 voor de 5 gevallen die in de vorige paragraaf zijn genoemd. In bijlage 2 zijn voor de overeenkomstige stroomsnelheden, de grondwaterstand, de vochtleverantie uit de ondergrond, de onttrekking uit de wortelzone, de totale vochtleverantie en de tijdsduur weergegeven.

Tabel 7. Het verband tussen de grondwaterstand, de vochtonttrekking, de tijd en de vochtleverantie aan het gewas bij een stroomsnelheid van 2 mm/dag op het grensvlak van de wortelzone bij aanwezigheid van een basisafvoer

Grondwaterstand	cm - mv	60	70	80	90	94
Onttrekking ondergrond	mm	0	8,5	21,7	42,0	52,9
Onttrekking ondergrond per grondwaterstandsverschil	mm	0	8,5	13,2	20,3	12,9
Afvoer	mm/dag	0,86	0,79	0,72	0,64	0,64
Gemiddelde afvoer	mm/dag		0,82	0,75	0,68	0,63
Gemiddelde afvoer + cap. opstijging	mm/dag		2,82	2,75	2,68	2,63
Tijdsduur per grondwaterstandsverschil	dagen		3,0	4,8	7,6	4,9
Som tijd	dagen	0	3,0	7,8	15,4	20,3
Vochtleverantie ondergrond	mm	0	6,0	15,6	30,8	40,6
Vochtleverantie wortelzone	mm	0	7,0	12,2	21,8	93,1
Totale vochtleverantie aan gewas	mm	0	13,0	27,8	52,6	133,7

BEPALING VAN DE MAXIMALE AANVOER SNELHEID UIT DE ONDERGROND

Door de daling van de grondwaterstand tengevolge van onttrekking en afvoer, neemt de mogelijke aanvoersnelheid uit de ondergrond in de loop van het groeiseizoen af. De vochtleverantie uit de ondergrond aan het gewas wordt daarom in hoge mate bepaald door de aanvoersnelheden in het begin van het groeiseizoen. Een redelijke schatting van de aanvoersnelheden in de beginfase wordt verkregen door de in bijlage 2 gegeven waarden voor de totale vochtonttrekking en de tijd tegen elkaar uit te zetten. Tevens worden in de ~~de~~ figuren de verdampingsoverschotten, berekend uit de tabellen 2 en 3, tegen de tijd uitgeset. Voor de neerslagverdelingen waarbij de droogste periode vroeg in het groeiseizoen optreedt zijn deze verbanden weergegeven in fig. 5. Uit deze figuren kan de tijd die nodig is om bijv. 40 mm aan het profiel te onttrekken, bij de verschillende snelheden voor capillaire nalevering uit de ondergrond worden afgeleid. Dit verband is voor de 5 verschillende

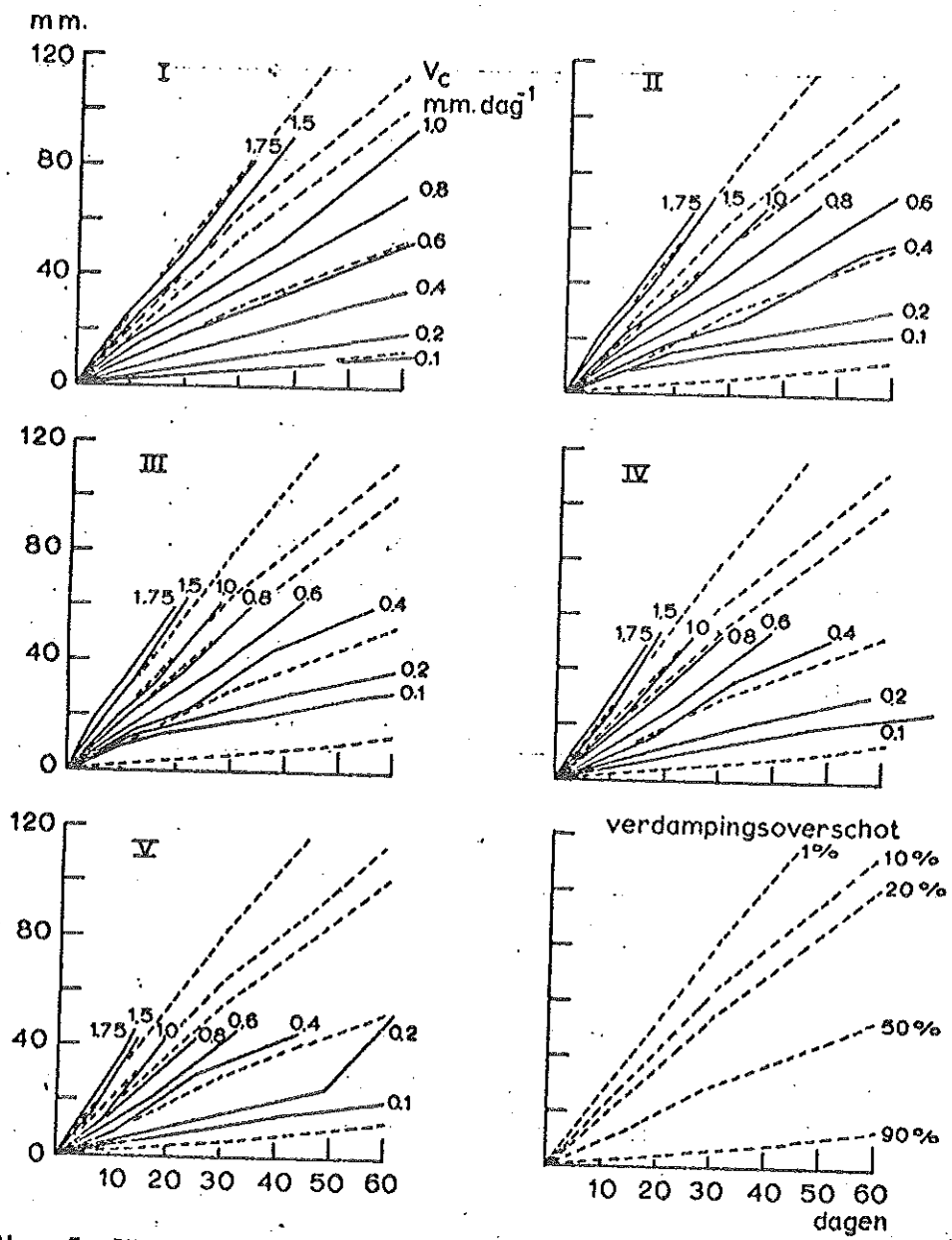


Fig. 5. Het verband tussen de vochtonttrekking uit het profiel en de tijd (—) voor de in bijlage 2 gegeven onttrekkingsmethoden en het verband tussen het verdampingoverschot en de tijd (---) met de droogste periode vroeg

gevallen weergegeven in fig. 6. Uit de lijnen voor het verdampingsoverschot in fig. 5 is tevens af te leiden de overschrijdingskans van een verdampingsoverschot van 40 mm na een zeker aantal dagen. Deze tijden zijn voor de verschillende overschrijdingskansen met pijlen in fig. 6 aangegeven, zodat hierdoor de maximale leveringsnelheid uit de ondergrond is bepaald.

Als de droogste periode laat in het groeiseizoen begint, dan zijn de beginonttrekkingsnelheden uit de ondergrond voor capillaire opstijging belangrijk lager, omdat de toename van het verdampingsoverschot langzamer verloopt met de tijd. Voor deze beginsnelheden is de hiervoor beschreven procedure eveneens uitgevoerd. Na het begin van de droge periode zijn die onttrekkingsnelheden voor capillaire opstijging genomen, waarvoor de hellingtangens van de lijn die het verband geeft tussen de vochtlevensantie uit het profiel en de tijd gelijk is aan de hellingtangens van het verband tussen het verdampingsoverschot en de tijd.

BEREKENING VAN CAPILLAIRE OPSTIJGING EN GRONDWATERSTAND IN AFHANKELIJKHEID VAN DE TIJD

Nu uit de in fig. 6 weergegeven bewerking de beginsnelheden van de capillaire nalevering bekend zijn, kan uit de fysische eigenschappen van de ondergrond, zowel het verloop van de capillaire aanvoersnelheid als wel de daling van de grondwaterstand worden berekend. Bij een voortschrijdende daling van de grondwaterstand kan de ondergrond op een gegeven moment niet meer voldoen aan de gestelde capillaire nalevering en moet stapsgewijs op een lagere capillaire opstijging worden overgegaan, waarbij gebruik wordt gemaakt van de in bijlage 1 en 2 vermelde gegevens. Voor de capillaire nalevering wordt in dat geval de gemiddelde snelheid van het begin en het einde van de aangenomen daling van de grondwaterstand genomen. Een voorbeeld van de berekening is in het 20% droge jaar voor het geval II weergegeven in tabel 8.

In het berekeningsschema is voor de bepaling van de capillaire aanvoersnelheid gebruik gemaakt van de procedure die in de figuren 5 en 6 is beschreven, terwijl de mogelijke aanvoersnelheid bij diepe grondwaterstanden is afgeleid uit bijlage 2 en figuren zoals gegeven in fig. 4. Uit dit type figuren kan tevens bij de gestelde grondwaterstanden de

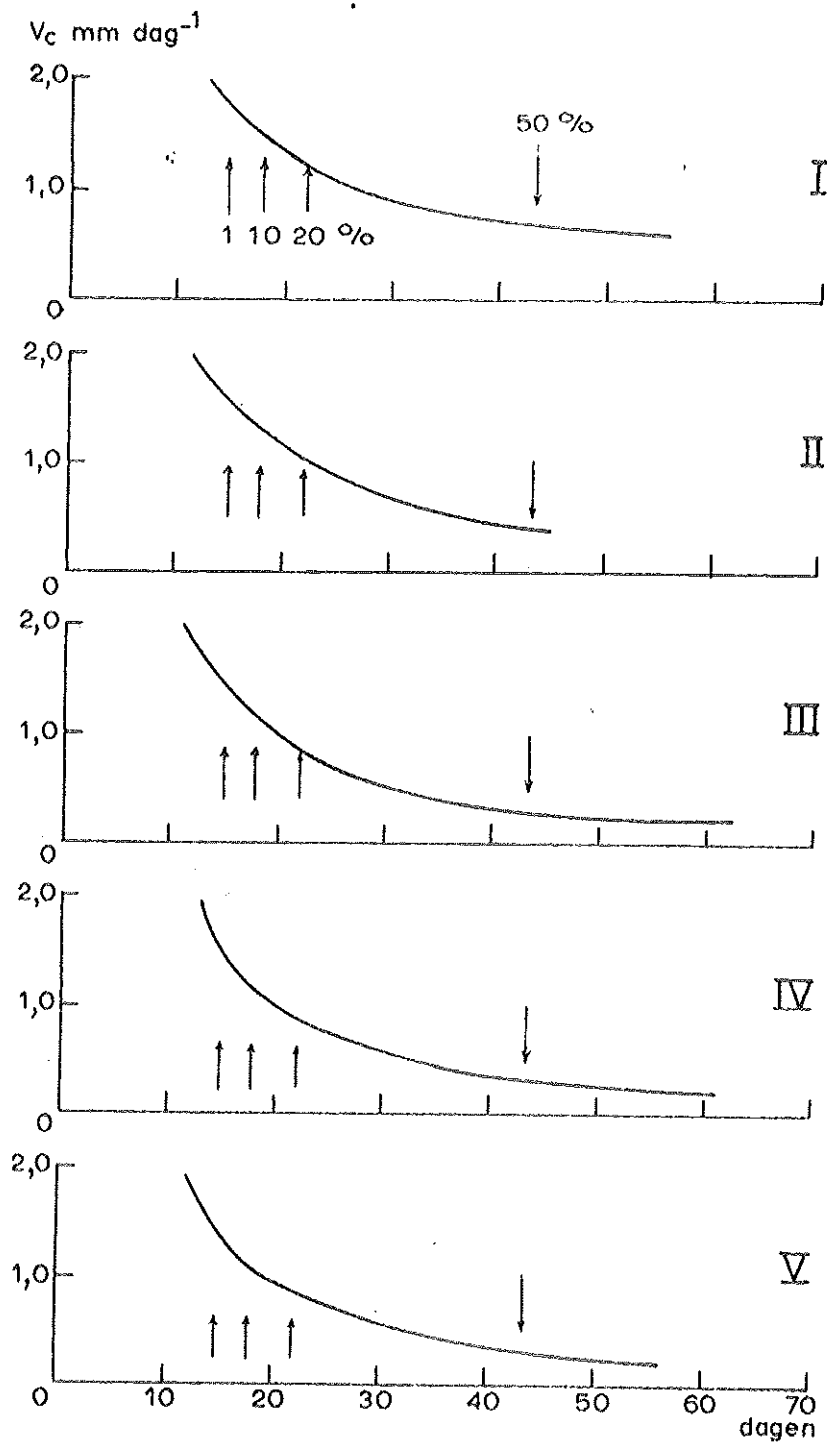


Fig. 6. Het verband tussen de snelheid van vochtleverantie uit de ondergrond en de tijd nodig voor 40 mm vochtonttrekking uit het gehele profiel. De pijlen geven de overschrijdingskanzen van een verdampingsoverschot van 40 mm in n dagen, indien de droogste periode vroeg aanwezig is

Tabel 8. Rekenvoorbeeld voor het geval II in het 20% droge jaar; a. droogste periode vroeg, b. droogste periode laat

a. droogste periode vroeg

Capillaire aanvoer (mm/dag)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,16	0,14
Grondwaterstand (cm -mv)	60	70	80	90	98	101	104	108	115	120	133
Onttrekking ondergrond (mm)	0	7,9	20,4	36,8	61,6	68,2	77,5	86,3	98,5	114,0	154,4
Gem. cap. aanvoer (mm/dag)	1,0	0,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,3	0,18	0,15	
Gem. afvoer (mm/dag)	0,83	0,75	0,68	0,62	0,58	0,55	0,52	0,46	0,40	0,30	
Totaal onttrekking (mm/dag)	1,83	1,75	1,68	1,62	1,48	0,25	1,02	0,76	0,58	0,45	
Δ ontr. ondergr. (mm)	7,9	12,5	16,5	24,8	6,6	9,3	8,8	12,2	15,5	40,4	
Δ tijd (dagen)	4,3	7,1	9,8	15,4	4,5	7,4	8,7	16,0	26,8	89,6	
Δ cap. aanvoer (mm)	4,3	7,1	9,8	15,4	4,0	5,2	4,3	4,8	4,3	13,4	
Totaal tijd (dagen)	0	4,3	11,5	21,2	36,6	41,0	48,5	57,2	73,7	100,5	190,1
Totaal aanvoer naar wortelzone (mm)	0	4,3	11,5	21,2	36,6	40,6	45,8	50,1	55,0	59,8	73,2

b. droogste periode laat

Cap. aanvoer (mm/dag)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4/0,8	0,6	0,4	0,2	0,16	0,14
Grondwaterstand (cm -mv)	60	70	80	90	100	104	108	115	120	130
Onttrekking ondergrond (mm)	0	7,6	20,0	36,4	59,2	77,5	86,3	98,5	114,0	154,4
Gem. cap. aanvoer (mm/dag)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,7	0,5	0,3	0,18	0,15	
Gem. afvoer (mm/dag)	0,83	0,75	0,68	0,61	0,55	0,52	0,46	0,40	0,30	
Totaal onttrekking (mm/dag)	1,23	1,15	1,08	1,01	1,25	1,02	0,76	0,58	0,45	
Δ ontr. ondergr. (mm)	7,6	12,4	16,4	22,8	18,3	8,8	12,2	15,5	40,4	
Δ tijd (dagen)	6,2	10,7	15,2	22,6	14,6	8,7	16,1	26,8	39,6	
Δ cap. aanvoer (mm)	2,5	4,3	6,1	9,1	10,2	4,3	4,8	4,8	13,4	
Totaal tijd (dagen)	0	6,2	17,0	32,1	54,7	69,4	78,0	94,1	120,9	210,5
Totaal aanvoer wortelzone (mm)	0	2,5	6,8	12,8	21,9	32,1	36,5	41,3	46,1	59,5

vochtonttrekking uit het profiel worden afgeleid. Voor elke stap in de grondwaterstands daling werd vervolgens de gemiddelde capillaire aanvoersnelheid en uit fig. 3 tevens de gemiddelde afvoersnelheid berekend. De som van beiden geeft de totale onttrekkingssnelheid aan de ondergrond. Uit deze onttrekkingssnelheid en de noodzakelijke waterafgifte voor het realiseren van de stap van de grondwaterstands daling is de benodigde tijd berekend, waarin uit de capillaire opstijgingssnelheid en de tijd de vochtleverantie uit de ondergrond naar de wortelzone wordt berekend.

Op basis van deze berekeningen is in bijlage 3 voor alle gevallen en de gegeven overschrijdingskansen het verband gegeven tussen de tijd en de grondwaterstand. Uit deze bijlage blijkt, dat voor elk geval de diepste zomerwaterstanden weinig uiteenlopen voor de verschillende droogtefrequenties, omdat met uitzondering van geval I de afvoer naar de diepe ondergrond, de dominante factor is voor de daling van de grondwaterstand later in het groeiseizoen. In fig. 7 is het verloop van de grondwaterstand met de tijd weergegeven voor het droge jaar met een overschrijdingskans van 1%. In deze figuur is zowel de daling tengevolge van alleen afvoer, alleen verdamping en de combinatie van beide factoren weergegeven. Uit deze figuren blijkt dat vooral de toename in de dalingssnelheid van het grondwater tengevolge van de afvoer bepalend is voor de lengte van de periode, dat de ondergrond door capillaire opstijging een redelijke vochtleverantie aan de wortelzone kan geven. Dit betekent dat niet de diepste zomerwaterstanden, maar de snelheid van daling van het grondwater in het begin van het groeiseizoen bepalend is voor de vochtleverantie uit de ondergrond.

Een tweede factor, die bepalend is voor het verloop van de grondwaterstand gedurende het groeiseizoen is de verdeling van de neerslag. Bij de berekeningen is uitgegaan van twee neerslagverdelingen, waarbij in het ene geval de relatief droogste periode aan het begin van het groeiseizoen is gekozen, terwijl in het tweede geval deze periode in de tweede helft van het groeiseizoen optreedt. In fig. 8 is het verloop van de grondwaterstand weergegeven voor geval II voor het jaar met een overschrijdingskans van 20%. Tevens is in deze figuur het verloop van de snelheid van capillaire opstijging bij beide neerslagverdelingen weergegeven. Uit fig. 8a blijkt dat de verdeling van de neerslag een belangrijke invloed heeft op het verloop van de grondwaterstand. Uit de gegeven capillaire aanvoer snelheden in fig. 8b blijkt echter dat als het begin van het groei-

fig 7

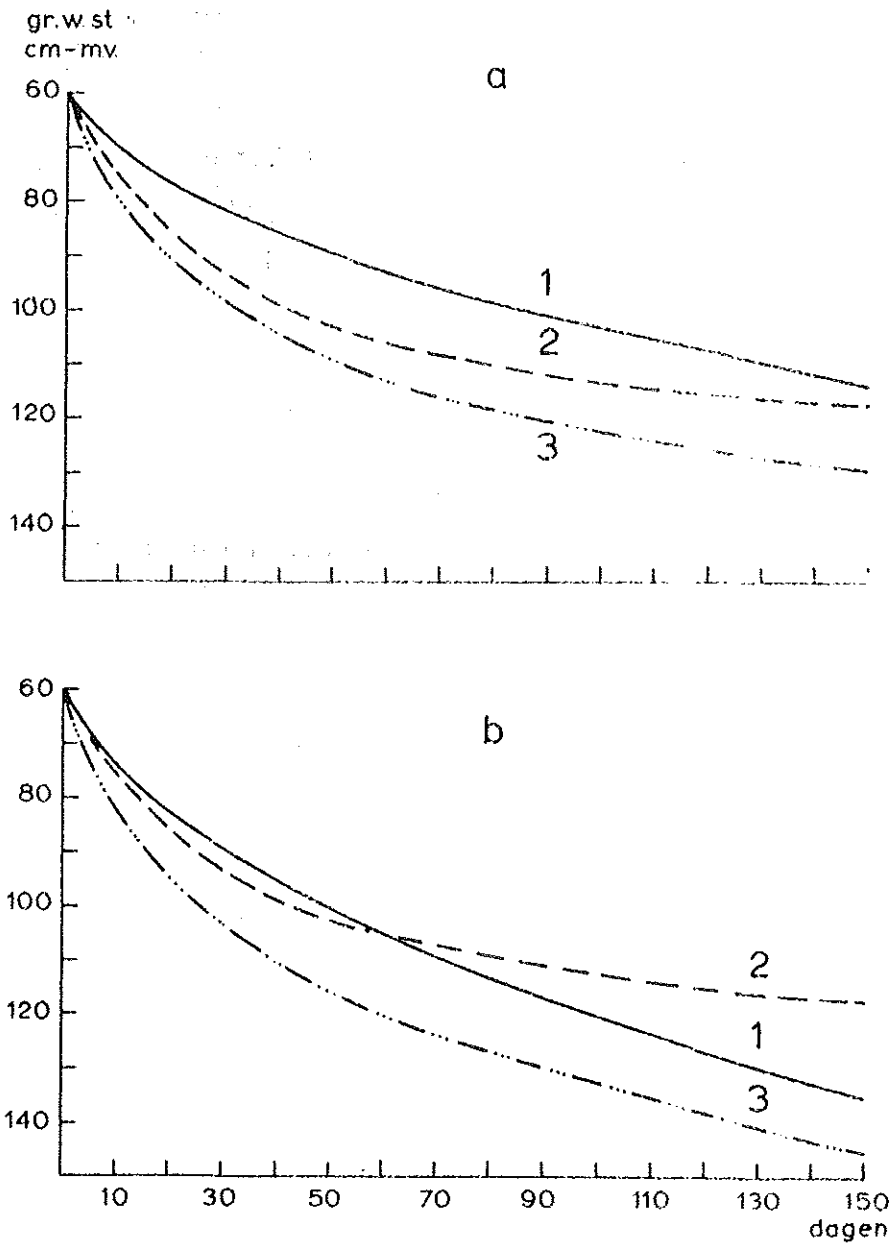


Fig. 7. Het verloop van de grondwaterstand met de tijd voor het droge jaar met een overschrijdingskans van 1%.
a. alleen basisafvoer; b. verhoogde afvoer t. g. v. grondwateronttrekking

1. verloop t. g. v. afvoer zonder verdamping
2. verloop t. g. v. verdamping zonder afvoer
3. verloop t. g. v. verdamping en afvoer

fig 8

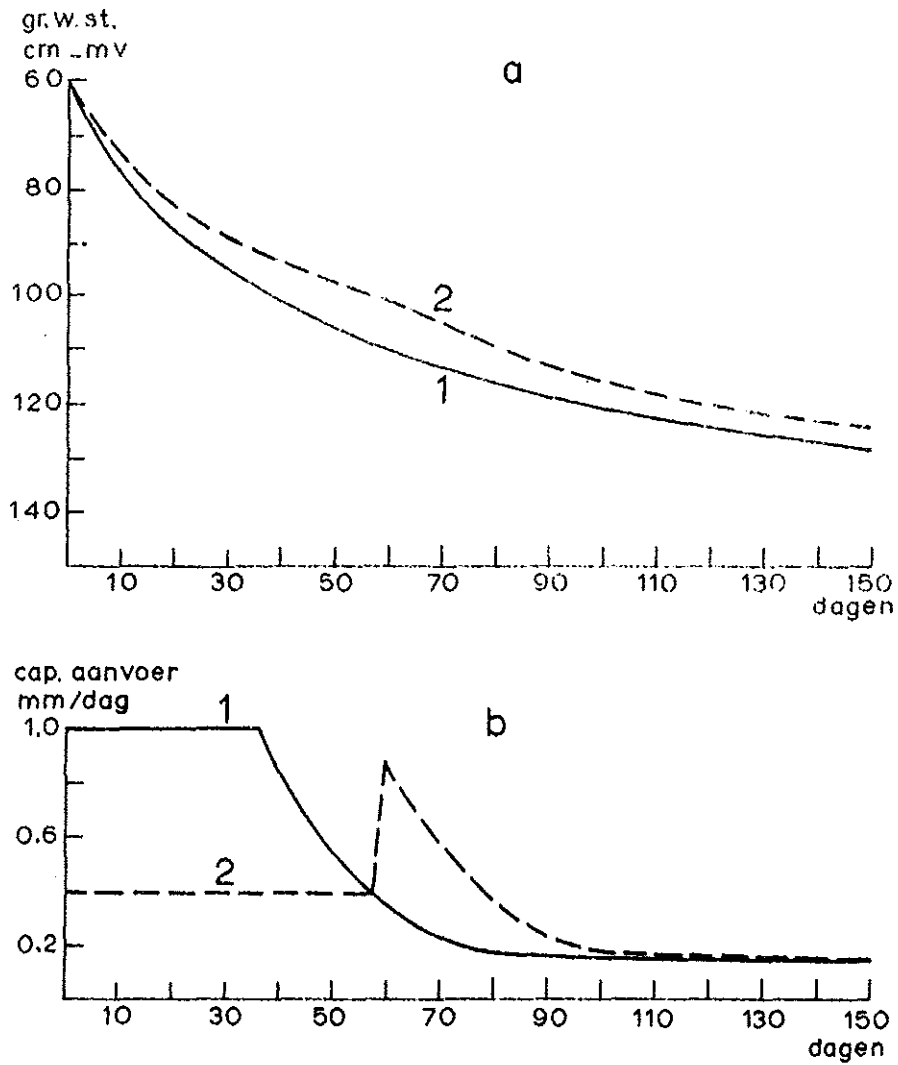


Fig. 8. a. Het verloop van de grondwaterstand met de tijd voor geval II in een jaar met een overschrijdingskans van 20%.
b. Het verloop van de capillaire aanvoersnelheid voor geval II in een jaar met een overschrijdingskans van 20%

1. droogste periode vroeg in het groeiseizoen
2. droogste periode laat in het groeiseizoen

seizoen relatief nat is, de geringere daling van de grondwaterstand wordt veroorzaakt door de lagere waarde van de capillaire aanvoer. Bij het invallen van de droge periode later in het seizoen neemt de capillaire aanvoer tijdelijk sterk toe, maar de grondwaterstand is reeds zover gedaald, dat reeds na zeer korte tijd een daling in de aanvoer optreedt. Voor de vochtleverantie uit de ondergrond heeft deze verdeling als consequentie, dat de totale hoeveelheid beschikbaar vocht kleiner wordt naarmate de relatief droogste periode later in het groeiseizoen begint. In bijlage 4 zijn de waarden voor de capillaire aanvoer naar de wortelzone van het gewas vermeld in afhankelijkheid van de tijd in het groeiseizoen.

VOCHTONTTREKKING UIT DE WORTELZONE EN VERDAMPING

Voor de bepaling van de vochtonttrekking uit de wortelzone en de verdamping is uitgegaan van de veronderstelling, dat de uitdroging in de wortelzone kan geschieden tot aan verwelkingspunt, zonder een reductie in de verdamping te veroorzaken. Hoewel reeds in een vroeger stadium van uitdroging reducties in de verdamping beginnen op te treden, veroorzaakt deze aanname maar een geringe fout bij de berekening van de totale verdamping over het groeiseizoen. Bovendien is voor de uiteindelijke schadeberekening niet de totale verdamping beslissend, maar de verschillen in verdamping bij de verschillende omstandigheden. Dit betekent in feite dat een consequente fout, die in alle gevallen in dezelfde richting werkt, op de verschillen veel minder invloed heeft.

Het verloop van de vochtonttrekking uit de wortelzone gedurende het groeiseizoen, kan nu op eenvoudige wijze uit het verdampingsoverschot en de vochtleverantie uit de ondergrond worden berekend, waarbij de maximale vochtleverantie uit de wortelzone de uiteindelijke grenswaarde aangeeft. De resultaten van deze berekening zijn weergegeven in bijlage 5. Hoewel uit bijlage 4 bleek, dat bij de droogste periode laat in het groeiseizoen de vochtleverantie uit de ondergrond kleiner is, dan wanneer de droogste periode vroeg begint, volgt uit bijlage 5, door de grotere neerslaghoeveelheden in het begin, dat de volledige uitputting van de wortelzone op een later tijdstip wordt bereikt. Dit effect kan vooral voor granen van groot belang zijn. Ook uit de in bijlage 6 gegeven verdampingscijfers blijkt, dat reducties in de verdamping bij een later droge periode later in het groeiseizoen optreden.

DE AFVOER

In bijlage 7 is de gesommeerde afvoer bij verschillende onderschrijdingskansen voor de gevallen II tot en met V weergegeven. Hoewel bij de berekeningen is aangenomen, dat bij onttrekking een extra afvoer van 0,5 mm/dag optreedt, veroorzaakt de versnelde daling van de grondwaterstand toch geen extra afvoer van 0,5 mm/dag in vergelijking met de afvoergegevens van geval II. Voor een periode van bijv. 150 dagen met een onderschrijdingskans van 10% met de droogste periode vroeg geeft geval II een totaal afvoer van 68,5 mm, terwijl de gevallen III tot en met V gemiddeld een totaal afvoer geven van 121 mm. Het verschil is 52,5 mm, terwijl als afvoerverhoging $150 \times 0,5 = 75$ mm zou moeten optreden. De aangenomen extra afvoer wordt dus voor een deel gecompenseerd door verlaging van de oorspronkelijke basisafvoer.

Een tweede opvallend aspect in bijlage 7 is, dat de afvoeren in de droge jaren betrekkelijk weinig uiteenlopen. Dit wijst erop dat gedurende een groot deel van het groeiseizoen, de afvoerterm de dominante factor is voor de daling van de grondwaterstand. Dit resultaat is uiteraard sterk afhankelijk van de capillaire eigenschappen van de ondergrond.

VERDAMPING EN DROGE STOF PRODUCTIE

Voor de berekening van de landbouwkundige gevolgen van de verhoogde afvoer ten gevolge van de grondwateronttrekking is ervan uitgegaan, dat er voor veel gewassen een lineair verband bestaat tussen de verdamping en de totale droge stof productie, inclusief de niet geoogste delen (RIJTEMA, 1969a, RIJTEMA and ENDRODI, 1970). Uit deze gegevens bleek echter tevens dat dit verband sterk afhankelijk is van het verzadigingsdeficiet van de dampspanning in de lucht tijdens het groeiseizoen. Teneinde deze klimaatseffecten te elimineren zullen de berekeningen van de droge stof productie worden uitgevoerd met de relatieve verdamping, dit is de werkelijke verdamping gedeeld door de potentiële verdamping. In tabel 9 wordt een overzicht gegeven van de begin en einddata van het groeiseizoen en de duur van het groeiseizoen voor enkele gewassen.

Voor de wintergranen zijn, in verband met de droge stof productie voor 15/4 alle verdampingscijfers verhoogd met 40 mm.

Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met een eventueel

Tabel 9. Begin- en einddatum van het groeiseizoen en de duur van de rekenperiode in dagen

Gewas	Begindatum	Einddatum	Lengte rekenperiode (dagen)
Wintergranen	15/4	15/7	90
Zomergranen	15/4	1/8	105
Middellate aardappels	1/5	15/8	105
Late aardappels	1/5	1/9	120
Gras	15/4	15/9	150

optredende verkorting van het groeiseizoen ten gevolge van droogteschade, waardoor regen, die na het afsterven van het gewas valt, dus ten onrechte als productie-verhogende verdamping in rekening wordt gebracht.

In bijlage 8 zijn voor de verschillende groepen gewassen de potentiële verdamping, de werkelijke verdamping en de werkelijke verdamping in procenten van de potentiële verdamping weergegeven.

VOCHTVOORZIENING EN GRAANPRODUCTIE

Bij de berekening van de graanproductie in afhankelijkheid van de vochtvoorziening is uitgegaan van een totale droge stof productie (inclusief wortels en stoppel) van 12.000 kg/ha voor wintergranen en 11.000 kg/ha voor zomergranen, indien de vochtvoorziening optimaal is. Uit onderzoek van HIDDING en WIND (1963) blijkt, dat de hoeveelheid droge stof, die in de wortels en de stoppel van graangewassen op het land achterblijft gesteld kan worden op 2000 kg/ha, zodat de maximaal geoogste droge stof in korrel en stro respectievelijk 10.000 en 9.000 kg/ha voor winter- en zomergraan bedraagt.

Alle productiecijfers zullen worden weergegeven op basis van "boerenschoon", hetgeen betekent, dat wordt gerekend met een vochtgehalte van 17% in het geoogst product. Bij de productieberekeningen is verder aangenomen dat de totale droge stof productie recht evenredig is met de relatieve verdamping. Op grond van deze overwegingen is in tabel 10 het

totaal geoogst product (korrel + stro) weergegeven voor verschillende onderschrijdingskansen.

Tabel 10. De onderschrijdingskansen en het totaal geoogst product (korrel + stro) op basis van een droge stof gehalte van 33% voor de berekende gevallen van de watervoorziening van het gewas.

Droog- ste pe- riode	Onder- schrij- dings- kans in %	Opbrengst in 10^3 kg ha^{-1}									
		wintergranen					zomergranen				
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
	90	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	10,35	10,85	10,85	10,85	10,85
vroeg	50	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	10,85	10,85	10,85	10,85	10,85
laat	50	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	10,85	10,85	10,85	10,85	10,85
vroeg	20	12,10	12,10	12,10	11,87	11,50	10,85	10,85	10,35	9,99	9,68
laat	20	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	10,25	10,79	10,14	9,88	9,63
vroeg	10	12,10	11,67	11,09	10,70	10,32	10,85	9,83	9,28	8,93	8,56
laat	10	12,10	12,10	11,84	11,51	11,28	10,85	9,82	9,22	8,96	8,76
vroeg	1	10,24	9,02	8,58	8,16	7,73	8,26	7,19	6,77	6,40	5,99
laat	1	11,45	10,01	9,23	8,92	8,83	8,60	7,41	6,80	6,50	6,11

Voor de beoordeling van de productie van granen is niet alleen het opbrengstniveau van het totaal geoogst product van belang, maar ook de verdeling tussen korrel- en stro-opbrengst. Hoewel hierover weinig gegevens bekend zijn, is uit proeven duidelijk gebleken (RIJTEMA, 1969a) dat de vochttoestand in de wortelzone van het gewas gedurende de overgang van het vegetatieve stadium naar het generatieve stadium beslissend is voor de korrel-stro verhouding. Duidelijk is aangetoond voor verschillende graansoorten, dat een hoge zuigspanning in de wortelzone in dit stadium beslissend is voor de korrelopbrengst, waardoor reducties tot 1000 à 1500 kg/ha in de korrelopbrengst kunnen optreden, die door overvloedige neerslag later in het seizoen niet worden gecompenseerd. Op grond van de weinige beschikbare gegevens is voor alle graangewassen de relatie tussen totaal geoogst product en korrelopbrengst aangehouden, zoals deze is weergegeven in fig. 9.

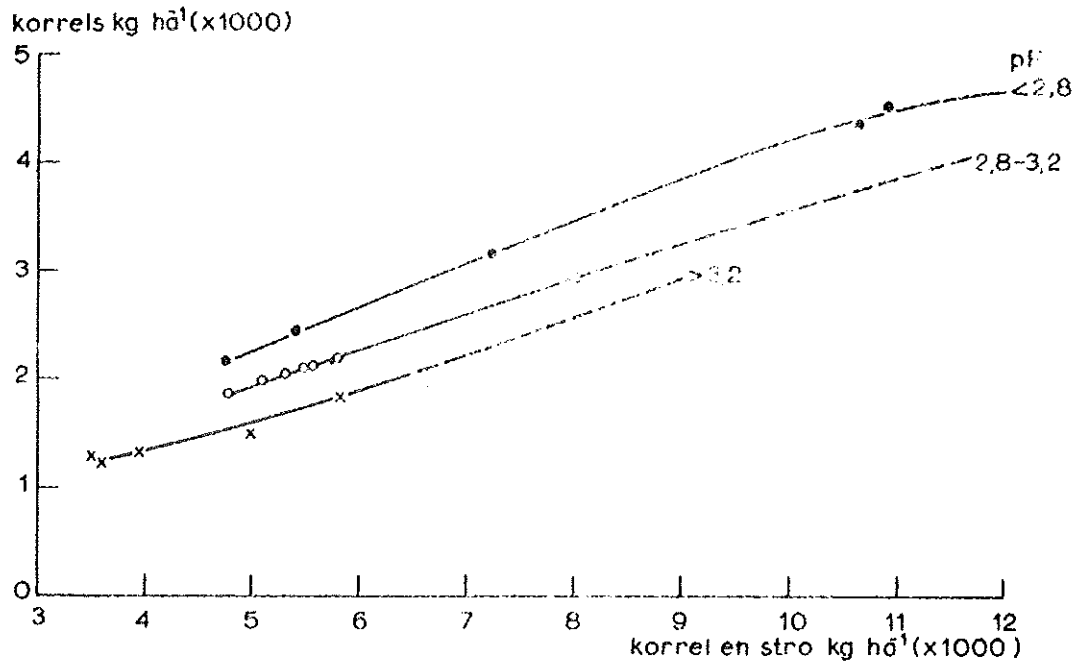


Fig. 9. Het verband tussen de korrelopbrengst en de totale opbrengst (korrel + stro) voor drie klassen van zuigspanningswaarden in de effectieve wortelzone gedurende het overgangsstadium van vegetatieve naar generatieve groei

Met behulp van de in bijlage 5 gegeven waarden voor de vochtleverantie uit de wortelzone en de in tabel 5 gegeven waarden voor de vocht karakteristiek is de gemiddelde zuigspanning berekend gedurende de overgangsfase van vegetatieve naar generatieve groei. Voor wintergranen is deze overgangsfase aangenomen gedurende de periode van 25/5 - 5/6 en voor zomergranen van 2/6 - 13/6. Dit betekent dat voor wintergranen de zuigspanning na 45 dagen representatief kan worden genomen, terwijl voor zomergranen de gemiddelde zuigspanning tussen 45 en 60 dagen na het begin van de rekenperiode representatief wordt geacht. In fig. 10 is het verband weergegeven tussen de totale opbrengst aan wintergranen (korrel + stro) en de onderschrijdingskans. In dezelfde figuur is tevens overschrijdingskans van bepaalde zuigspanningswaarden in de wortelzone gedurende de overgangsfase van vegetatieve naar generatieve groei weergegeven. De stippellijnen geven de grenswaarden aan waarbij de korrel-stro verhouding verandert, gebaseerd op fig. 9.

In fig. 11 zijn dezelfde relaties weergegeven voor zomergranen. Uit de figuren 9, 10 en 11 kan nu de onderschrijdingskans worden afgeleid voor een bepaalde korrelopbrengst. De resultaten van deze bewerking zijn voor de gevallen II tot en met IV weergegeven in fig. 12. Uit deze figuur blijkt, dat vooral het criterium droogste periode vroeggen-droogste periode laat een zeer grote invloed heeft op de grootte van de korrelopbrengst, omdat bij een vroege droge periode, het effect van de zuigspanning in de wortelzone in de overgangsfase bepalend is voor de verdeling van de droge stof over korrel en stro. Als de droge periode laat begint is de reductie in korrelopbrengst over het algemeen veel geringer. Tevens valt bij deze figuren op, dat door de toegenomen kans op een hoge zuigspanning in de wortelzone gedurende de overgangsfase, de grootste extra schaden tengevolge van grondwateronttrekking niet optreden in de meest extreem droge jaren, maar juist in de groepen van onderschrijdingskansen waarbij het al of niet bereiken van de kritieke grenswaarden voor de zuigspanning in de wortelzone een rol speelt.

VOCHTVOORZIENING EN AARDAPPELPRODUCTIE

Bij de berekening van de aardappelproductie in afhankelijkheid van de vochtvoorziening is uitgegaan van een totale droge stof productie van $13,5 \times 10^3 \text{ kg ha}^{-1}$ voor de middellate rassen (volledige afsterving

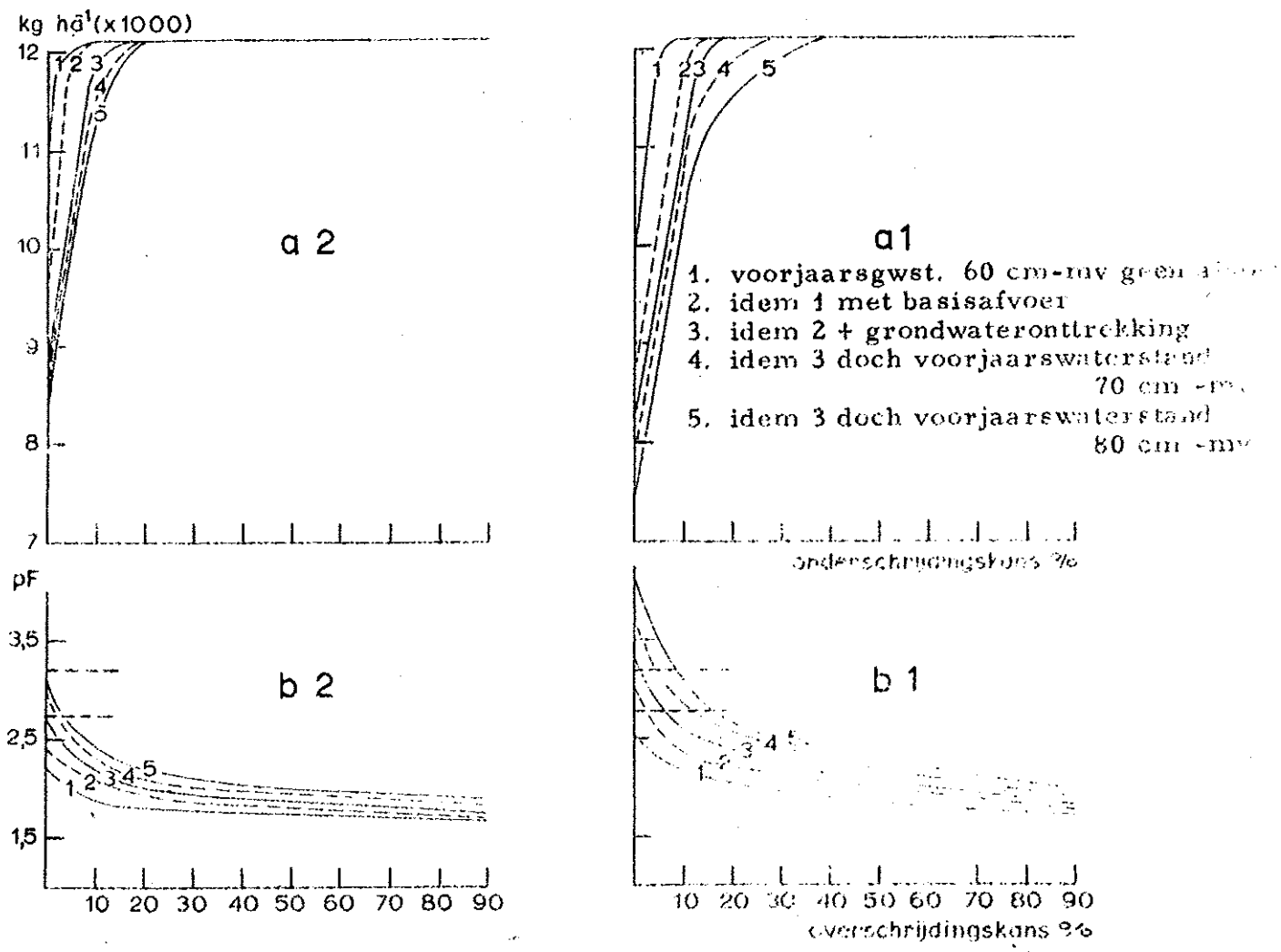


Fig. 10. a. Verband tussen het geoogst produkt en de onderschrijdskans voor wintergranen
 b. Verband tussen de gemiddelde zuigspanning in de wortelzone gedurende de overgangsfase voor wintergranen en de overschrijdskans. De stippellijnen geven de kritieke grenswaarden aan.
 1. droogsteperiode vroeg; 2. droogsteperiode laat

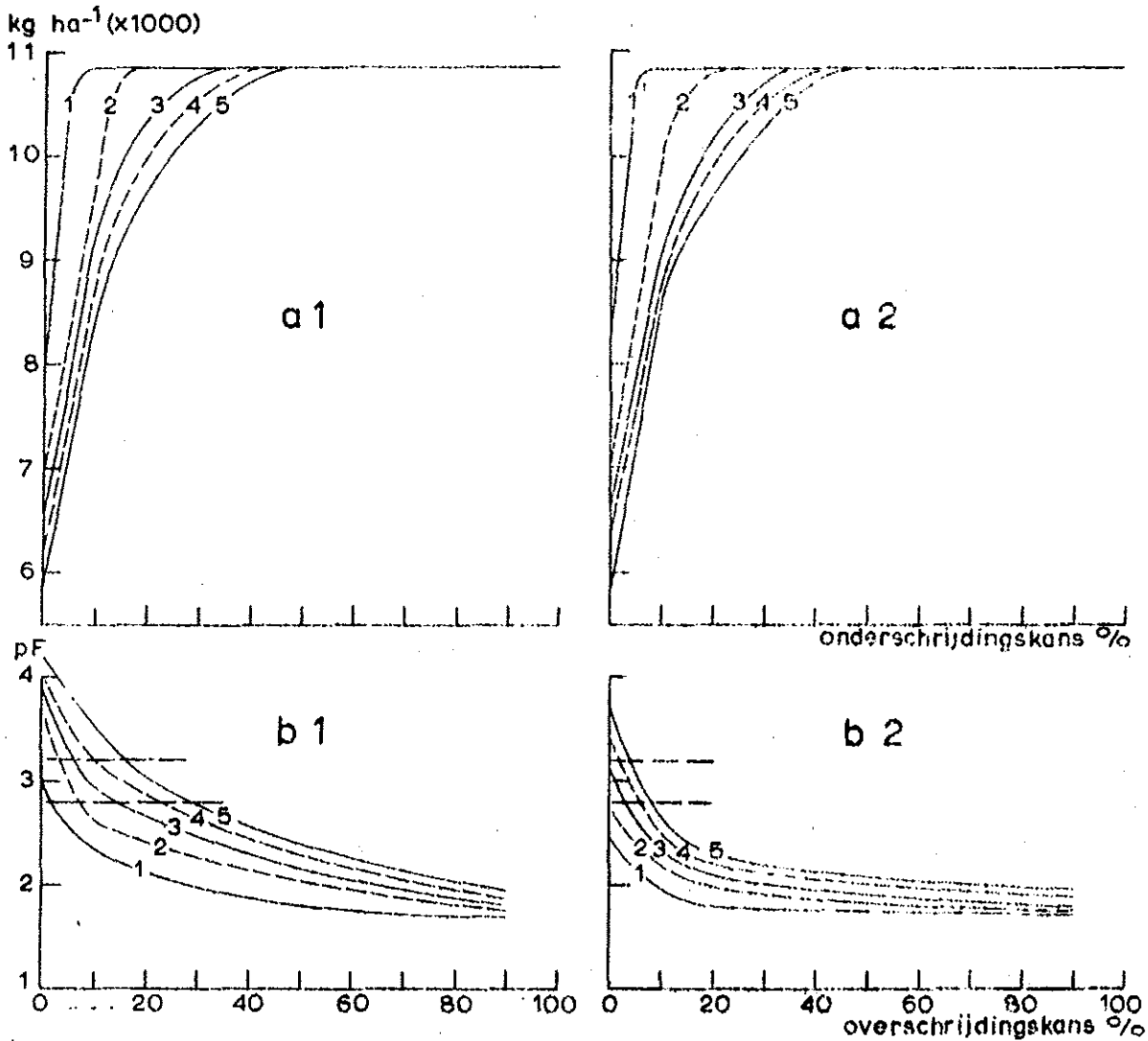


Fig. 11. a. Verband tussen geoogst produkt en de onderschrijdingskans voor zomergranen
 b. Verband tussen de gemiddelde zuigspanning in de wortelzone gedurende de overgangsfase en de overschrijdingskans. De stippellijnen geven de kritieke grenswaarden aan.

1. droogste periode vroeg; 2. droogste periode laat

1. voorjaarsgrondwaterstand 60 cm -mv geen afvoer

2. idem 1, met basisafvoer

3. idem 2 + grondwateronttrekking

4. idem 3, doch voorjaarsgrondwaterstand op 70 cm -mv

5. idem 3, doch voorjaarsgrondwaterstand op 80 cm -mv

half augustus) en $16.5 \times 10^3 \text{ kg ha}^{-1}$ voor de late rassen (doodspuiten begin september). Uit de gegevens van RIJTEMA en ENDRODI (1970) blijkt, dat ongeveer 1000 kg ha^{-1} aan droge stof in de vorm. van wortels niet oogstbaar is. Verder is voor de relatie totaal geogste droge stof (knollen + loof) en de droge stof in de knollen gebruik gemaakt van fig. 13 gebaseerd op gegevens van RIJTEMA en ENDRODI (1970).

Gebaseerd op de verdampingscijfers in bijlage 8 zijn voor de verschillende omstandigheden en onderschrijdingskansen de aardappelopbrengsten in kg droge stof weergegeven in tabel 11.

Tabel 11. De onderschrijdingskansen en de knolopbrengsten in kg droge stof per ha voor de berekende gevallen van de watervoorziening van het gewas

Droog- ste pe- riode	Onder- schrij- dings- kans in %	Opbrengst in 10^3 kg ha^{-1}									
		middellate rassen					late rassen				
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
	90	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	11,50	11,50	11,50	11,50	11,50
vroeg	50	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	11,50	11,50	11,50	11,50	11,50
laat	50	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	11,50	11,50	11,50	11,50	11,41
vroeg	20	9,60	9,08	8,50	8,26	7,91	11,50	10,55	9,87	9,60	9,24
laat	20	9,60	8,48	7,86	7,63	7,40	11,47	9,90	9,24	8,99	8,75
vroeg	10	9,32	8,02	7,51	7,19	6,91	11,22	9,31	8,72	8,40	8,00
laat	10	8,79	7,48	6,93	6,66	6,48	10,20	8,72	8,15	7,85	7,63
vroeg	1	6,42	5,41	5,00	5,65	4,30	7,50	6,40	5,91	5,57	5,20
laat	1	6,22	5,07	4,50	4,26	4,00	7,32	6,04	5,42	5,10	4,88

Voor de omrekening van droge stof in de knollen naar de knolopbrengst in kg ha^{-1} vers gewicht werd gebruik gemaakt van fig. 14, ontleend aan RIJTEMA en ENDRODI (1970). Uit deze figuur blijkt, dat een hogere droge stof opbrengst bij de late rassen niet tot uiting komt in het vers gewicht. Dit wordt veroorzaakt door een hoger zetmeelgehalte bij de late rassen.

Bij de berekening van de aardappelopbrengsten in kg vers gewicht onder de verschillende omstandigheden is geen rekening gehouden met

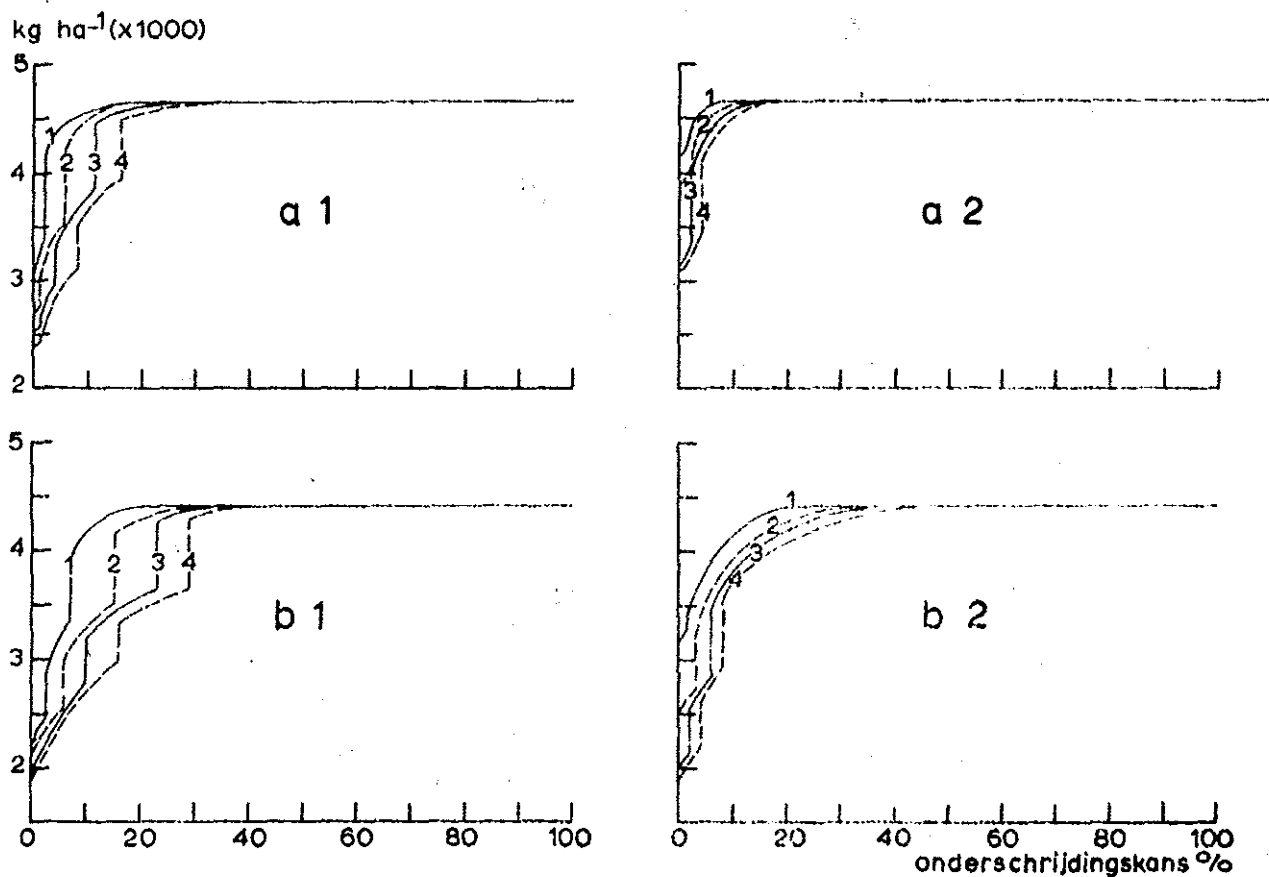


Fig. 12. Het verband tussen de korrelopbrengst van granen en de onderschrijdingskans
 a. wintergranen; b. zomergranen

1. droogste periode vroeg; 2. droogste periode laat

1. voorjaarsgrondwaterstand 60 cm -mv met basisafvoer

2. idem 1 + grondwateronttrekking

3. idem 2, doch voorjaarswaterstand 70 cm -mv

4. idem 2, doch voorjaarswaterstand 80 cm -mv

totaal drogestof
kg ha⁻¹ (x1000)

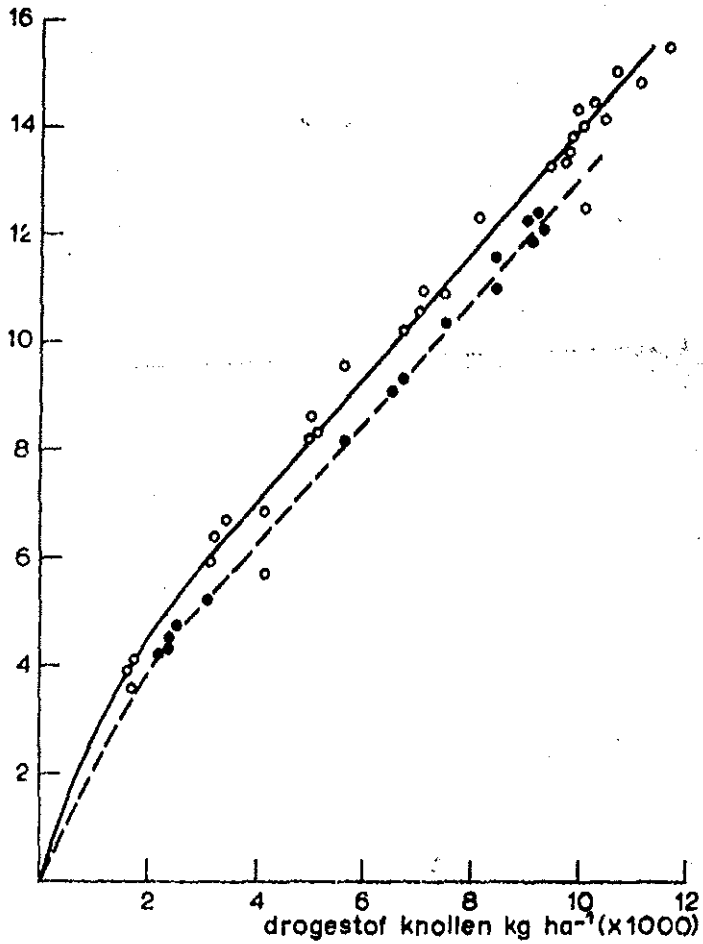


Fig. 13. Verband tussen totale drogestof en de drogestof aanwezig in de knollen

drooggewicht
kg ha⁻¹ (x1000)

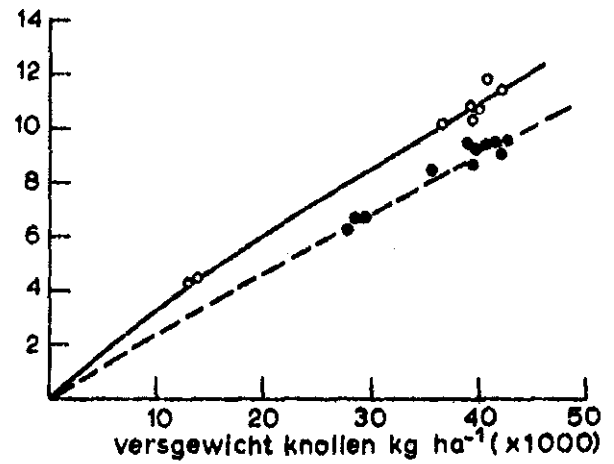


Fig. 14. Verband tussen drogestofopbrengst knollen en versgewicht

eventuele kwaliteitsvermindering tengevolge van doorwas, die optreedt door voorkomende groeistagnaties bij periodieke ernstige vochttekorten.

In fig. 15 is de aardappelopbrengst weergegeven voor de gevallen II tot en met V in verband met de daarbij behorende onderschrijdingskans. Ook uit deze figuur blijkt dat de grootste schade tengevolge van extra onttrekking in de berekende gevallen niet optreedt in de meest extreem droge jaren, maar in die groep van onderschrijdingskansen, waarbij in de oorspronkelijke situatie nog juist geen opbrengstreductie of slechts een matige opbrengstreductie optrad.

VOCHTVOORZIENING EN GRASPRODUCTIE

Bij de berekening van de grasproductie in afhankelijkheid van de vochtvoorziening is uitgegaan van het in fig. 16 gegeven verband tussen de droge stof productie van grasland en de relatieve verdamping. Deze figuur is ontleend aan gegevens van grasproductie op leemhoudend zand, veen en klei gedurende een periode van 150 dagen (RIJTEMA, 1969a). De opbrengsten zijn bij de berekening uitgedrukt in een equivalente hooi-opbrengst met een vochtgehalte van 14%. In feite wordt hierdoor een lagere gebruikswaarde in rekening gebracht dan in werkelijkheid optreedt, omdat de lagere grasproductie, doorgaans niet zal resulteren in een verminderde hooi-opbrengst, maar tot gevolg heeft dat de winning van kuilgras in het najaar niet kan plaatsvinden, terwijl bovendien mogelijk in droge jaren gedurende het weideseizoen bijvoeding moet plaatsvinden, waarvoor extra arbeids- en transportkosten zouden moeten worden opgevoerd.

Gebaseerd op de verdampingscijfers van bijlage 8 zijn de equivalent hooi-opbrengsten voor de verschillende omstandigheden en onderschrijdingskansen weergegeven in tabel 12.

Tevens is in fig. 17 voor de gevallen II tot en met V het verband tussen de equivalente hooi-opbrengst en de onderschrijdingskans grafisch weergegeven. Ook in deze figuur valt weer op, dat de grootste extra opbrengst reducties tengevolge van de onttrekking niet optreden bij de kleinste onderschrijdingskansen.

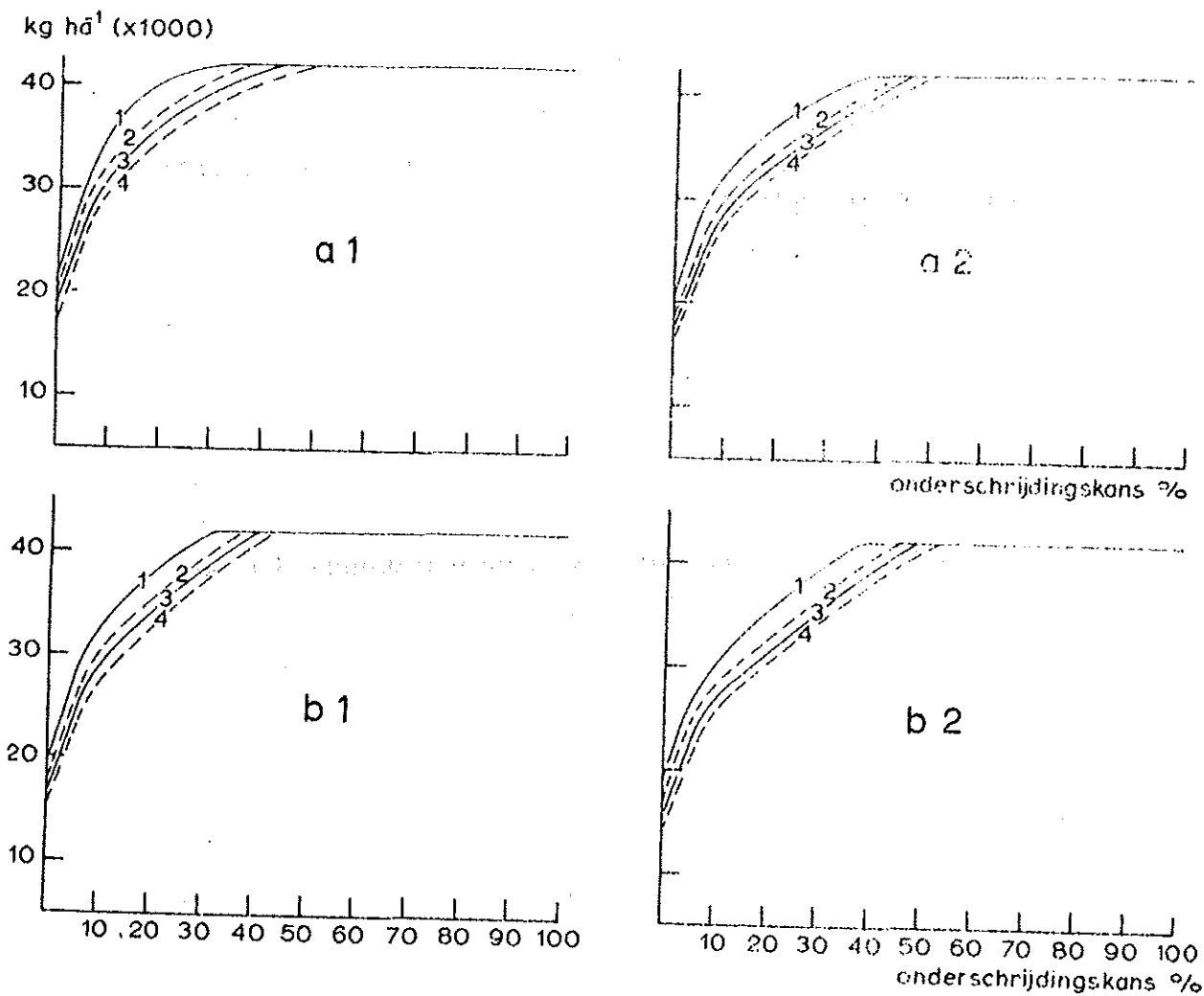


Fig. 15. Het verband tussen de aardappelopbrengst en de onderschrijdingskans.
 a. middellate rassen; b. late rassen
 1. droogste periode vroeg; 2. droogste periode laat

1. voorjaarsgrondwaterstand 60 cm -mv met basisafvoer
2. idem 1 + grondwateronttrekking
3. idem 2, doch voorjaarswaterstand 70 cm -mv
4. idem 3, doch voorjaarswaterstand 80 cm -mv

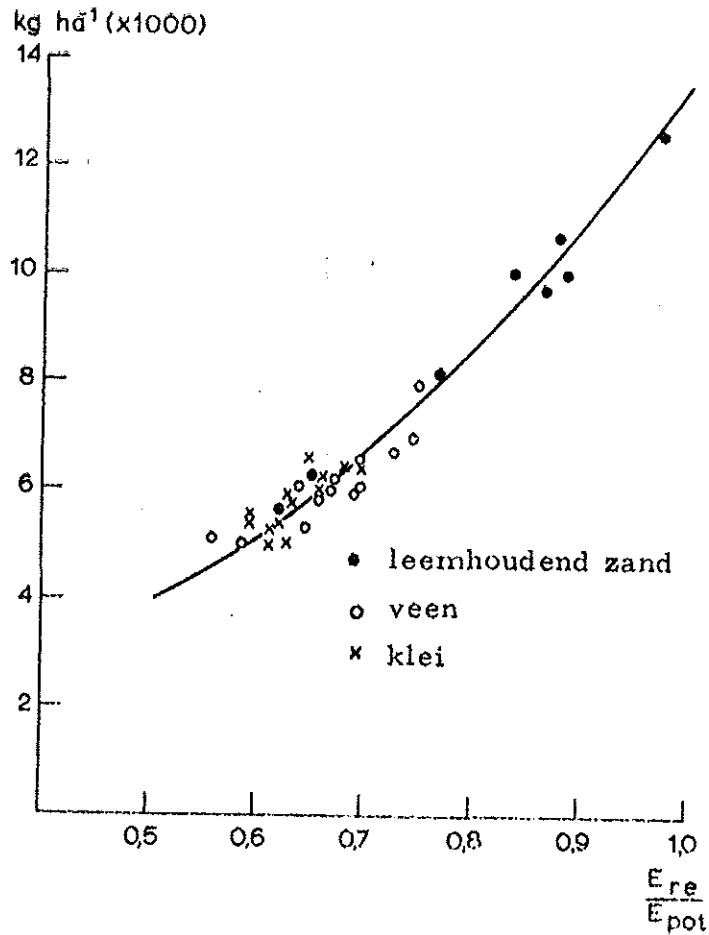


Fig. 16. Het verband tussen de drogestof productie van de bovengrondse delen van grasland en de relatieve verdamping voor een periode van 150 dagen

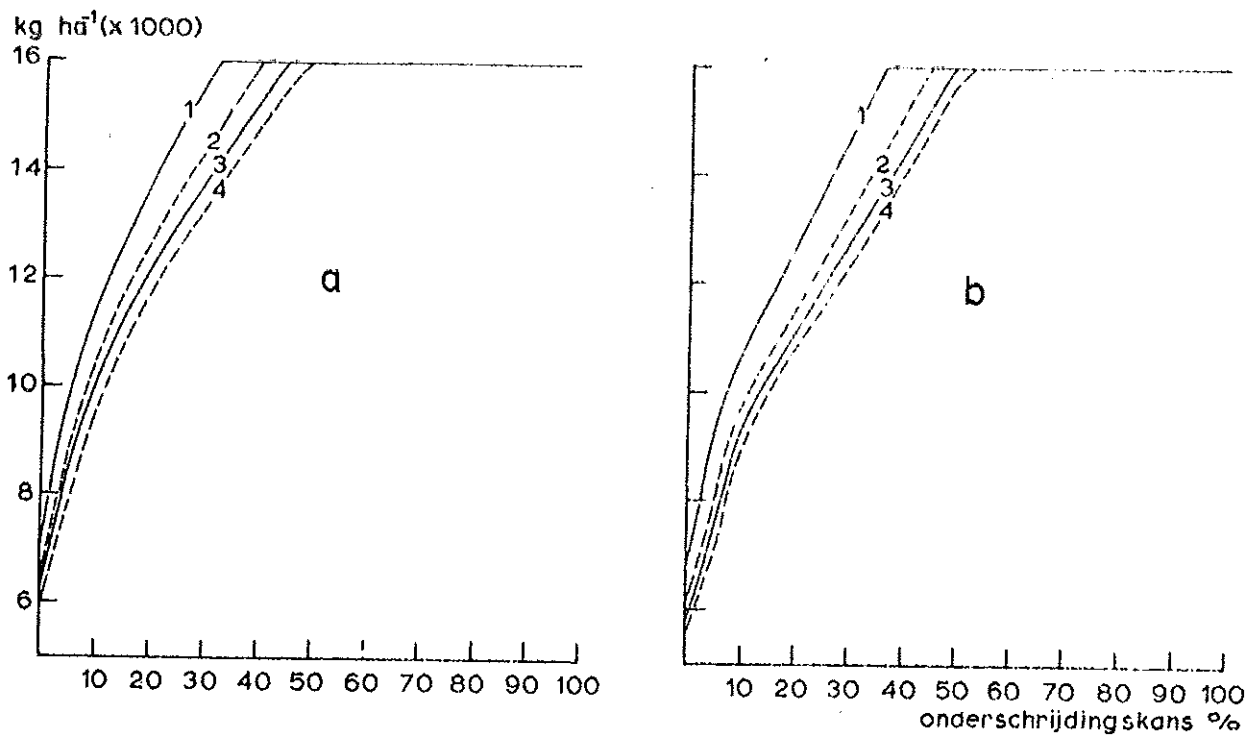


Fig. 17. Het verband tussen de equivalente hooiproduktie van grasland en de onderschrijdingskans.

a. droogste periode vroeg; b. droogste periode laat

1. voorjaarsgrondwaterstand 60 cm -mv met basisafvoer
2. idem 1 + grondwateronttrekking
3. idem 2, doch voorjaarswaterstand 70 cm -mv
4. idem 2, doch voorjaarswaterstand 80 cm -mv

Tabel 12. De onderschrijdingskansen en de equivalente hooi-opbrengst van grasland in kg ha⁻¹ voor de berekende gevallen van de vochtvoorziening van het gewas

Droogste periode	Onderschrijdingskans %	Equivalente hooi-opbrengst in 10 ³ kg ha ⁻¹				
		I	II	III	IV	V
	90	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
vroeg	50	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
laat	50	16,00	16,00	16,00	16,00	15,52
vroeg	20	15,82	13,38	12,38	11,84	11,40
laat	20	15,16	12,30	11,20	10,83	10,52
vroeg	10	15,07	11,31	10,47	10,00	9,54
laat	10	12,80	10,48	9,56	9,33	8,86
vroeg	1	8,72	7,35	6,80	6,48	6,13
laat	1	8,46	6,95	6,28	5,97	5,77

GELDELIJKE GEVOLGEN VAN DE GRONDWATERONTTREKING

Voor de gevallen II tot en met V is een onderlinge vergelijking mogelijk van de opbrengst van de verschillende gewassen uitgedrukt in guldens per ha. Hierbij moet worden opgemerkt dat voor de graan-gewassen alleen die gegevens worden gebruikt, die betrekking hebben op de neerslagverdeling, waarbij de droogste periode vroeg begint. Uit de gegevens bleek, dat de vochtonttrekking in de wortelzone gedurende de overgangsfase van vegetatieve naar generatieve groei zo sterk bepalend is voor de korrel-stro verhouding, dat naast het criterium voor de onderschrijdingskansen aan het einde van het groeiseizoen, tevens de onderschrijdingskansen van een bepaalde neerslagsom gedurende de overgangsfase in beschouwing moet worden genomen. De neerslagsommen bij de vroeg invallende droge periode zijn zodanig gekozen, dat de onderschrijdingskansen bij de overgangsfase in de groei juist gelijk zijn aan de onderschrijdingskansen aan het einde van het groeiseizoen. Uit gegevens van beregeningsproeven met granen (RIJTEMA, 1969a) bleek dat een overvloedige neerslag na deze overgangsfase geen invloed meer heeft op de korrel-stro verhouding.

Uit de figuren 10, 12, 15 en 17 kan de gemiddelde opbrengst voor ieder geval worden berekend. De resultaten zijn weergegeven in tabel 13.

Tabel 13. Het gemiddeld opbrengstniveau voor de verschillende gewassen en het relatieve productieniveau ten opzichte van de potentiële productie

Gewas	Opbrengst in 10^3 kg ha^{-1}				Relatief opbrengstniveau in %			
	II	III	IV	V	II	III	IV	V
Wintergranen korrel	4,60	4,55	4,49	4,41	99,8	97,8	96,5	94,8
Wintergranen stro	7,30	7,28	7,23	7,22	97,9	97,7	97,0	97,0
Zomergranen korrel	4,28	4,18	4,05	3,99	96,8	94,6	91,6	90,3
Zomergranen stro	6,29	6,25	6,26	6,21	97,8	97,2	97,3	96,6
Middellate aardappels	39,76	38,93	38,45	37,80	94,7	92,7	91,7	90,0
Late aardap- pels	39,40	38,30	37,67	37,21	93,8	91,2	89,7	88,8
Gras (hooi)	14,76	14,30	14,05	13,86	92,3	89,4	87,8	86,5

Voor de berekening van de waarde van de productievermindering is gebruik gemaakt van door LOCHT (1970) verstrekte gegevens. Deze gegevens zijn vermeld in tabel 14 en hebben wat betreft granen, stro en hooi betrekking op de gemiddelde prijs over de periode 1966/'67 tot en met 1968/'69 en voor consumptieaardappelen over 1960/'61 tot en met 1968/'69.

Om voor de gegeven hydrologische situatie en het gegeven bodemprofiel na te gaan wat de consequenties zijn van de extra afvoer tengevolge van de grondwateronttrekking worden in tabel 15 de opbrengstreducties van de gevallen III, IV en V tenopzichte van geval II gegeven. Deze opbrengstreducties zijn zowel in kg ha^{-1} als in guldens ha^{-1} weergegeven. Deze gegevens zijn afgeleid uit de tabellen 13 en 14.

Tabel 14. Marktprijzen en berekende privaat economische waarden voor diverse producten in guldens. De prijzen zijn af boerderij en voor granen gebaseerd op boerenschoon en 17% vocht, haver 16% vocht (LOCHT, 1970)

Product	Eenheid	Marktprijs guldens	Marginale oogst transport- en bewaarkosten guldens	Waarde extra productie
Tarwe	100 kg korrel	35, -	2,20	32,80
Zomergerst	"	30,75	2,20	28,55
Wintergerst	"	30,05	2,20	27,85
Rogge	"	30,75	2,20	28,55
Haver	"	28,70	2,20	26,40
Tarwe	1000 kg stro	75, -	12, -	63, -
Gerst	"	75, -	12, -	63, -
Rogge	"	78, -	12, -	66, -
Haver	"	69, -	12, -	57, -
Weidehooi	1000 kg	138, -	nih?	138, -
Kleiaard- appels	100 kg	12,60	1,65	10,95
Zandaard- appels	100 kg	9,10	1,45	7,65

Uit deze gegevens (tabel 15) blijkt, dat bij de wintergranen in het gekozen voorbeeld de geringste schade optreedt, gevolgd door zomergranen. Het uitdrukken van de grasproductie in een equivalent hooiwaarde heeft waarschijnlijk een onderschatting van de werkelijke schade tot gevolg, terwijl bij aardappels tengevolge van kwaliteitsvermindering de schade in werkelijkheid groter is, dan is aangegeven.

Bij de berekeningen is aangenomen, dat tengevolge van de grondwateronttrekking de afvoer met een waarde van 0,5 mm/dag toeneemt. Dit betekent dat hierdoor een extra afvoer van $1825 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ wordt veroorzaakt. Hoewel een deel van 1825 m^3 ten koste gaat van de basisafvoer is het reëel om voor een schadeberekening per m^3 extra wateronttrekking met de gehele hoeveelheid rekening te houden, zodat uit tabel 15 de schade per m^3 water voor de verschillende gewassen

Tabel 15. De gemiddelde opbrengstvermindering van verschillende gewassen voor de gevallen III, IV en V ten opzichte van geval II

Product	Opbrengstvermindering in kg ha ⁻¹			Opbrengstvermindering in gld ha ⁻¹					
	III	IV	V	III	IV	V			
Granen	<u>korrel</u>			<u>stro</u>					
Wintertarwe	50	110	190	20	70	80	17,66	40,49	67,36
Wintergerst	50	110	190	20	70	80	15,18	35,04	57,96
Rogge	50	110	190	20	70	80	15,60	36,03	59,52
Zomertarwe	100	230	290	30	20	80	34,69	76,70	100,16
Zomergerst	100	230	290	30	20	80	30,44	66,92	87,84
Haver	100	230	290	30	20	80	28,11	61,86	81,12
Middellate aardappels	830	1310	1960				63,50	100,22	149,94
Late aard- appels	1100	1730	2190				84,15	132,34	167,54
Gras (hooi)	460	710	900				63,48	97,98	124,20

kan worden berekend. Deze schade is in centen per m³ weergegeven in tabel 16.

CONCLUSIES

Hoewel op basis van de voorafgaande paragrafen geen conclusie mag worden getrokken ten aanzien van de schade van elke onttrekking in een gefixeerd bedrag per m³, levert het gegeven rekenvoorbeeld een aantal aspecten op, die voor de beoordeling van de gevolgen van grondwateronttrekking van belang zijn.

De snelheid waarmee het water uit de diepere lagen van het profiel voor het gewas beschikbaar komt, alsmede de totale hoeveelheid uit de diepere lagen is naast de bodemfysische eigenschappen van de ondergrond en de vocht karakteristiek van de wortelzone van het verdampingsoverschot afhankelijk.

Tabel 16, De gemiddelde schade per extra onttrokken m³ water voor de gevallen III, IV en V ten opzichte van geval II

Product	Schade in centen per m ³ onttrokken water		
	III	IV	V
Wintertarwe	0,97	2,22	3,69
Wintergerst	0,83	1,92	3,18
Rogge	0,84	1,97	3,26
Zomertarwe	1,90	4,18	5,48
Zomergerst	1,67	3,67	4,81
Haver	1,55	3,39	4,45
Middellate aardappels	3,48	5,48	8,20
Late aardappels	4,61	7,25	9,07
Gras (hooi)	3,48	5,37	6,81

De totale hoeveelheid capillair aangevoerd water uit de ondergrond bij een gestelde droogtefrequentie, wordt in hoofdzaak bepaald door de diepte van de voorjaarsgrondwaterstand en de grootte van de afvoersnelheid naar het diepe pakket. Vooral de laatste factor bepaald de tijdsduur mede gedurende welke het gewas met voldoende grote snelheid water uit de diepere lagen krijgt aangevoerd.

De diepste zomerwaterstanden zijn voor gronden met een sterke beperking in de capillaire opstijging weinig afhankelijk van de voorkomende droogtefrequentie, omdat zij dan in hoofdzaak worden bepaald door de afvoerterm. De diepste zomerwaterstanden geven dan ook weinig informatie betreffende de vochtleverantie uit de ondergrond.

Tabel 17. Maximaal te bereiken grondwaterstandsdiepten bij een gegeven capillaire aanvoersnelheid uit de ondergrond bij een effectieve wortelzone van 40 cm en een homogene ondergrond

Bodemtype	Maximaal te bereiken grondwaterstand in cm -mv bij een capillaire aanvoersnelheid van:			
	2 mm dag ⁻¹	1,5 mm dag ⁻¹	1 mm dag ⁻¹	0,6 mm dag ⁻¹
Grof zand	88,5	90,0	91,5	94,5
Matig grof zand	94,0	96,5	100,0	105,0
Matig fijn zand	121,0	126,0	133,5	145,5
Fijn zand	162,0	171,5	187,0	212,0
Zwak lemig matig grof zand	92,0	99,0	110,5	128,5
Lemig fijn zand	180,0	192,5	213,5	247,0
Zandig leem	100,0	104,0	110,0	117,0
Fijnzandig leem	237,0	255,0	295,0	333,0
Leem	192,0	208,0	233,0	270,0

Uit tabel 17 blijkt, dat de capillaire eigenschappen van de ondergrond in sterke mate bepalend zijn voor het effect van een grondwaterstands-daling op de vochtleverantie uit de ondergrond. Bij gronden met matige tot slechte capillaire eigenschappen is bij een goede vochtleverantie slechts een geringe daling van de waterstand mogelijk, terwijl de overgang van een hoge naar een kleine vochtleverantie zeer abrupt is. Voor gronden met goede capillaire eigenschappen kan ook bij relatief diepe voorjaarswaterstanden nog een redelijke vochtleverantie uit de ondergrond worden bereikt.

Bij het stellen van een bepaalde overschrijdingskans van het verdampingsoverschot gedurende het groeiseizoen is het noodzakelijk in verband met de vochtleverantie uit het profiel onderscheid te maken tussen de droogste periode vroeg in het groeiseizoen en laat in het groeiseizoen. Indien de droogste periode vroeg begint is de vochtleverantie uit het profiel groter dan bij een laat invallende droogte. Voor gewassen met een late en lange groeiperiode, is de eventueel optredende opbrengstreductie het grootst indien de droogste periode laat

optreedt.

Naast het stellen van de overschrijdingskans van het verdampingsoverschot voor het gehele groeiseizoen is voor gewassen met een overgangsfase van vegetatieve groei naar generatieve groei, de optredende vochtspanning in de wortelzone tijdens deze overgangsfase beslissend voor de uiteindelijke vruchtzetting en productie. Voor dit type gewassen geeft de overschrijdingskans van een bepaalde vochtspanning in de wortelzone een betere beschrijving voor het productieniveau. Voor graan- gewassen betekent dit dat een laat invallende droge periode in veel gevallen een veel kleinere opbrengstreductie geeft, dan een vroeg invallende droge periode. Bij de berekeningen van de reducties in de opbrengst is in feite een minimumwaarde voor de schade berekend, omdat a) de neerslag en de verdamping binnen de 15 daagse perioden regelmatig over de tijd verdeeld zijn aangenomen, b) geen rekening is gehouden met een verkorting van het groeiseizoen bij grote uitdroging van het profiel tengevolge van een vervroegde afsterving van het gewas c) eventueel optredende kwaliteitsvermindering van het geoogste product niet in beschouwing is genomen en d) voor grasland de hooiwaarde in rekening is gebracht en niet de waarde van het veredelde product.

Uit de vochtleverantie door het profiel en de onderschrijdingskansen van de neerslagsommen gedurende het groeiseizoen is voor verschillende gewassen de onderschrijdingskans van een bepaald productieniveau te berekenen en daaruit weer het gemiddelde productieniveau van de grond in verband met de waterhuishouding zonder en met grondwateronttrekking.

Met behulp van de marktprijzen en marginale kosten en de daaruit berekende privaat economische waarden is de opbrengstschade voor verschillende gewassen tengevolge van grondwateronttrekking berekend per ha en per m³ onttrokken waarde. Deze gegevens geven de mogelijkheid om via economische modellen voor de nieuwe situaties bij grondwateronttrekking een economisch optimaal bouwplan te bepalen.

SAMENVATTING

In verband met de onttrekking van grondwater voor niet-agrarische doeleinden is aan de hand van een voorbeeld een methode gegeven voor de bepaling van de consequenties van grondwateronttrekking voor de vochtvoorziening in de landbouw. Uitgaande van een gegeven hydrologische situatie en gegeven opbouw van het bodemprofiel werd met behulp van de onderschrijdingskansen van bepaalde neerslagsommen gedurende het groeiseizoen, het verloop van de grondwaterstand, de vochtleverantie uit het profiel en de werkelijke verdamping van het gewas berekend. Uit deze verdampingsgegevens werd de productie van een aantal gewassen berekend en de extra schade tengevolge van grondwateronttrekking, zowel in kg ha^{-1} als in guldens ha^{-1} .

LITERATUUR

- HIDDING, A. F. and G. P. WIND, 1963. Practical results of the improvement of clay cover soils. I. C. W. Techn. Bull. 30
- LOCHT, L. J., 1970. Persoonlijke mededeling
- RIJTEMA, P. E., 1969a. On the relation between transpiration, soil physical properties and crop production as a basis for water supply plans. I. C. W. Techn. Bull. 58
- RIJTEMA, P. E., 1969b. Soil moisture forecasting. I. C. W. nota 513
- RIJTEMA, P. E., and G. ENDRODI, 1970. Calculation of production of potatoes. I. C. W. Techn. Bull. 70.

Bijlage 1

Het verband tussen de grondwaterstand, vochtonttrekking uit de ondergrond, onttrekkingssnelheden, en tijd voor verschillende waarden van de stroomsnelheid (V_c) op het grensvlak met de wortelzone

Gwst. cm	Voorjaarsgrond- waterstand (cm -mv)			Onttrekkingssnelheid (mm/dag)					Tijd (dagen)				
	60	70	80	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
	onttrokken hoe- veelheid (mm)			(v_c)									
65	5,4			1,75	2,59	3,09			3,1	2,1	1,8		
75	15,7	8,1		1,75	2,54	3,04	3,02		9,0	6,1	5,1	2,7	
85	32,5	24,9	13,1	1,75	2,47	2,97	2,97	2,95	18,6	12,9	10,8	8,3	4,4
94	56,1	48,5	36,7	1,75	2,40	2,90	2,90	2,90	32,0	22,8	19,0	16,5	12,6
66	5,4			1,50	2,39	2,89			3,6	2,3	1,9		
76	16,8	9,2	14,4	1,50	2,28	2,78	2,77		11,2	7,2	6,0	3,3	
86	33,8	26,2	38,4	1,50	2,21	2,71	2,71	2,70	22,5	14,9	12,2	9,6	5,4
96	57,8	50,2	39,0	1,50	2,14	2,64	2,64	2,64	38,5	26,2	21,4	18,7	14,5
70	7,9			1,00	1,82	2,32			7,9	4,3	3,4		
80	20,4	12,8	1,0	1,00	1,75	2,25	2,25		20,4	11,5	8,9	5,7	
90	36,8	29,2	17,4	1,00	1,68	2,18	2,18	2,18	36,8	21,2	16,5	13,2	8,0
98	61,6	54,0	42,2	1,00	1,62	2,12	2,12	2,12	61,6	36,6	28,2	24,9	19,7
62	0,9			0,80	1,65	2,15			1,1	0,5	0,4		
72	9,6	2,0		0,80	1,60	2,10	2,07		12,0	6,0	4,6	1,0	
82	23,1	15,5	3,7	0,80	1,53	2,03	2,03	2,01	28,9	14,8	11,2	7,6	1,8
92	42,9	35,3	23,5	0,80	1,47	1,97	1,97	1,97	57,7	28,3	21,3	17,7	11,9
100	67,9	60,3	48,5	0,80	1,40	1,90	1,90	1,90	84,9	46,2	34,4	30,8	25,1
65	3,9			0,60	1,44	1,94			6,5	2,7	2,0		
75	13,4	5,8		0,60	1,39	1,89	1,87		22,3	9,6	7,0	3,1	
85	28,3	20,7	8,9	0,60	1,32	1,82	1,82	1,80	47,1	20,9	15,2	11,3	4,9
95	49,4	41,8	30,0	0,60	1,24	1,74	1,74	1,74	82,3	37,8	27,3	23,4	17,0
103	75,7	68,1	56,3	0,60	1,18	1,68	1,68	1,68	126,1	60,2	43,0	39,1	32,7
70	7,6			0,40	1,22	1,72			19,0	6,2	4,4		
80	20,0	12,4		0,40	1,15	1,65	1,65		50,0	17,0	11,9	7,5	

Bijlage 1 (vervolg 1)

Dwst. cm -mv	Voorjaarsgrond- waterstand (cm -mv)					Onttrekkingsnelheid (mm/dag)					Tijd (dagen)				
	60	70	80	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V		
	onttrokken hoe- veelheid (mm)			(v _c)											
90	36,4	28,8	17,0	0,40	1,08	1,58	1,58	1,58	91,0	32,1	22,3	17,9	10,4		
100	59,2	51,6	39,8	0,40	1,01	1,51	1,51	1,51	148,0	54,7	37,4	33,0	25,5		
106	86,2	78,6	66,8	0,40	0,94	1,44	1,44	1,44	215,5	83,3	56,1	51,7	44,2		
70	7,4			0,20	1,03	1,53			37,0	7,2	4,9				
80	19,2	11,8		0,20	0,95	1,45	1,45		96,0	19,6	13,0	8,1			
90	35,7	28,3	16,5	0,20	0,88	1,38	1,38	1,38	178,5	38,3	24,9	20,0	11,9		
100	57,6	50,2	38,4	0,20	0,81	1,31	1,31	1,31	288,0	65,4	41,6	36,8	28,7		
110	83,0	75,6	63,8	0,20	0,72	1,22	1,22	1,22	415,0	100,5	62,4	57,5	49,4		
120	113,9	106,5	94,7	0,20	0,62	1,12	1,12	1,12	669,5	150,1	89,9	85,0	76,9		
63	2,2			0,10	0,95	1,45			22,0	2,3	1,5				
73	11,2	3,6		0,10	0,90	1,40	1,38		112,0	12,3	7,9	2,6			
83	25,2	17,6	5,8	0,10	0,83	1,33	1,33	1,31	252,0	29,1	18,9	13,1	4,4		
93	44,6	37,0	25,2	0,10	0,76	1,26	1,26	1,26	446,0	54,6	33,8	28,5	19,8		
103	67,6	59,9	48,1	0,10	0,69	1,19	1,19	1,19	676,0	88,1	53,1	47,8	39,2		
113	92,9	85,3	73,5	0,10	0,60	1,10	1,10	1,10	929,0	130,7	76,3	71,0	62,4		
123	121,6	114,0	102,2	0,10	0,49	0,99	0,99	0,99	1216,0	188,9	105,2	99,9	91,2		
133	154,4	146,8	135,0	0,10	0,39	0,89	0,89	0,89	1544,0	274,1	142,3	137,0	128,3		

Het verband tussen de grondwaterstand, gemiddelde zuigspanning en de effectieve wortelzone, vochtleverantie uit de ondergrond, vochtonttrekking wortelzone, totale vochtleverantie en de tijd voor verschillende waarden van de capillaire opstijging (V_c)

Gwst. cm -mv	cm	Vocht uit ondergrond (mm)					Vocht uit wortelzone (mm)					Totale vochtleverantie (mm)					Tijd (dagen)				
		I	II	III	IV	V	I, II, IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V			
$(V_c = 1,75 \text{ mm/dag})$																					
65	48	5,4	3,7	3,1			4,8				10,2	8,5	7,9		3,1	2,1	1,8				
75	59	15,7	10,7	8,9	4,7		10,0	4,0			25,7	20,7	18,9	8,7	9,0	6,1	5,1	2,7			
85	69	32,5	22,6	18,9	14,5	7,6	13,6	7,6	3,2		46,1	36,2	32,5	22,1	10,8	18,6	12,9	10,8	8,3	4,4	
94	128	56,1	39,9	33,2	28,8	22,0	26,0	20,0	15,6		82,1	65,9	59,2	48,8	37,6	32,0	22,8	19,0	16,5	12,6	
$(V_c = 1,5 \text{ mm/dag})$																					
66	49	5,4	3,5	2,9			5,6				11,0	9,1	8,5		3,6	2,3	1,9				
76	59	16,8	10,8	9,0	4,9		10,0	4,0			26,8	20,8	19,0	8,9	11,2	7,2	6,0	3,3			
86	70	33,8	22,4	18,3	14,4	8,1	14,0	8,0	3,6		48,2	36,8	32,7	22,4	11,7	22,5	14,9	12,2	9,6	5,4	
96	155	57,8	39,3	32,1	28,1	21,7	32,4	26,4	22,0		90,2	71,7	64,5	54,5	43,7	38,5	26,2	21,4	18,7	14,5	
$(V_c = 1,0 \text{ mm/dag})$																					
70	51	7,9	4,3	3,4			6,4				14,3	10,7	9,8		7,9	4,3	3,4				
80	61	20,4	11,5	8,9	5,7		10,8	4,8			31,2	22,3	19,7	10,5	20,4	11,5	8,9	5,7			
90	75	36,8	21,2	16,5	13,2	8,0	15,6	9,6	5,2		52,4	36,8	32,1	22,8	13,2	36,8	21,2	16,5	13,2	8,0	
98	160	61,6	36,6	28,2	24,9	19,7	32,8	26,8	22,4		94,4	69,4	61,0	51,7	42,1	61,6	36,6	28,2	24,9	19,7	
$(V_c = 0,8 \text{ mm/dag})$																					
62	42	0,9	0,4	0,3			1,2				2,1	1,6	1,3		1,1	0,5	0,4				
72	53	9,6	4,8	3,7	0,8		7,2	1,2			16,8	12,0	10,9	2,0	12,0	6,0	4,6	1,0			
82	63	23,1	11,8	9,0	6,1	1,4	11,6	5,6	1,2		34,7	23,4	20,6	11,7	2,6	28,9	14,8	11,2	7,6	1,8	
92	87	42,9	22,6	17,0	14,2	9,5	19,2	13,2	9,2		6,1	41,8	36,2	27,4	18,7	53,6	28,3	21,3	17,7	11,9	

Gwst. cm -mv	cm	Vocht uit ondergrond (mm)					Vocht uit wortel- zone (mm)					Totale vochtleverantie (mm)					Tijd (dagen)				
		I	II	III	IV	V	I,II, III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V		
100	160	67,9	37,0	27,5	24,6	20,1	32,8	26,8	22,4	100,7	69,8	60,3	51,4	42,5	84,9	46,2	34,4	30,8	25,1		
$(V_c = 0,6 \text{ mm/dag})$																					
65	45	3,9	1,6	1,2			3,2			7,1	4,8	4,4			6,5	2,7	2,9				
75	56	13,4	5,8	4,2	1,9		8,4	2,4		21,8	14,2	12,6	4,3		22,3	9,6	7,9	3,1			
85	66	28,3	12,5	9,1	6,8	2,9	12,8	6,8	2,4	41,1	25,3	21,9	13,6	5,3	47,1	20,9	15,2	11,3	4,9		
95	94	49,4	22,6	16,4	14,0	10,4	20,8	14,8	10,4	70,2	43,4	37,2	28,8	20,8	82,3	37,8	27,3	23,4	17,0		
103	190	75,7	36,1	25,8	23,5	19,6	36,8	30,8	26,4	112,5	72,9	62,8	54,3	46,0	126,1	60,2	43,0	39,1	32,7		
$(V_c = 0,4 \text{ mm/dag})$																					
70	50	7,6	2,5	1,8			6,0			13,6	8,5	7,8			19,0	6,2	4,4				
80	60	20,0	6,8	4,8	3,0		10,4	4,4		30,4	17,2	15,2	7,4		50,0	17,0	11,9	7,5			
90	71	36,4	12,8	8,9	7,2	4,2	14,4	8,4	4,0	50,8	27,2	23,3	15,6	8,2	91,0	32,1	22,3	17,9	10,4		
100	142	59,2	21,9	15,0	13,2	10,2	30,4	24,4	20,8	89,6	52,3	45,4	37,6	30,2	148,0	54,7	37,4	33,0	25,5		
106	195	86,2	33,3	22,4	20,7	17,7	37,2	31,2	26,8	123,4	70,5	59,6	51,9	44,5	215,5	83,3	56,1	51,7	44,2		
$(V_c = 0,2 \text{ mm/dag})$																					
70	50	7,4	1,4	1,0			6,0			13,4	7,4	7,0			37,0	7,2	4,9				
80	60	19,2	3,9	2,6	1,6		10,4	4,4		29,6	14,3	13,0	6,0		96,0	19,6	13,0	8,1			
90	71	35,7	7,7	5,0	4,0	2,4	14,4	8,4	4,0	50,1	22,1	19,4	12,4	6,4	178,5	38,3	24,9	20,0	11,9		
100	92	57,6	13,1	8,3	7,4	5,6	20,4	14,4	10,0	78,0	33,5	28,7	21,8	15,7	288,0	65,4	41,6	36,8	28,7		
110	120	83,0	20,1	12,5	11,5	9,9	25,2	19,2	14,8	108,2	45,3	37,7	30,7	24,7	415,0	100,5	62,4	57,5	49,4		
120	10.000	113,9	30,0	18,0	17,0	15,4	80,0	74,0	69,6	193,9	110,0	98,0	91,0	85,0	569,5	150,1	89,9	85,0	76,9		
$(V_c = 0,1 \text{ mm/dag})$																					
63	43	2,2	0,2	0,2			2,0			4,2	2,2	2,2			22,0	2,3	1,5				

Gwst. cm -mv	cm	Vocht uit ondergrond (mm)					Vocht uit wortel- zone (mm)					Totale vochtleverantie (mm)					Tijd (dagen)				
		I	II	III	IV	V	I,II, III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V		
73	53	11,2	1,2	0,8	0,3		7,6	1,6		18,8	8,8	8,4	1,9	2,0	252,0	29,1	18,4	13,1	4,4		
83	64	25,2	2,9	1,8	1,3	0,4	12,0	6,0	1,6	37,2	14,9	13,8	7,3	2,0	252,0	29,1	18,4	13,1	4,4		
93	74	44,6	5,5	3,4	2,9	2,0	15,2	9,2	4,8	59,8	20,7	18,6	12,1	6,8	446,0	54,6	33,8	28,5	19,8		
103	98	67,5	8,8	5,3	4,8	3,9	22,0	16,0	11,6	89,5	30,8	27,3	20,8	15,5	675,0	88,1	53,1	47,8	39,2		
113	116	92,9	13,1	7,6	7,1	6,2	24,8	18,8	14,4	117,7	37,9	32,4	25,9	20,6	929,0	130,7	76,3	71,0	62,4		
123	400	121,6	18,9	10,5	10,0	9,1	50,4	44,4	40,0	172,0	69,3	60,9	54,4	49,1	1216,0	188,9	105,2	99,9	91,2		
133	16.000	154,4	27,4	14,2	13,7	12,8	93,1	87,1	82,7	247,5	120,5	107,3	100,8	95,5	1544,0	274,1	142,3	137,0	128,3		

Bijlage 3

Het verband tussen het tijdstip in het groeiseizoen en de diepte van de grondwaterstand voor verschillende overschrijdingskansen van het verdampingoverschot

Droog- ste pe- riode	Over- schrij- dings- kans	Tijd in dagen										
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
I	90%	60,0	62,0	64,0	65,5	67,5	69,0	71,0	72,5	73,5	75,0	76,0
vroeg	50%	60,0	71,5	78,5	84,0	89,0	93,5	97,5	101,5	105,0	108,0	110,5
laat	50%	60,0	65,0	68,0	74,0	80,5	86,5	92,0	96,5	100,5	104,0	107,5
vroeg	20%	60,0	76,0	86,5	94,5	100,0	104,5	108,0	111,0	113,5	115,0	116,0
laat	20%	60,0	71,5	79,5	84,5	88,5	95,0	99,0	103,0	107,0	109,5	112,0
vroeg	10%	60,0	79,5	91,0	99,0	103,5	107,0	110,5	113,0	115,0	116,0	117,0
laat	10%	60,0	71,5	80,0	87,0	92,0	96,5	100,0	104,0	107,5	110,0	113,0
vroeg	1%	60,0	81,0	93,5	101,5	105,0	108,5	111,0	113,5	115,5	116,5	117,5
laat	1%	60,0	76,0	86,0	93,0	97,5	102,0	106,0	109,0	112,0	114,0	115,5
II	90%	60,0	74,0	82,0	88,0	93,0	97,0	101,0	104,5	108,0	111,0	114,0
vroeg	50%	60,0	79,0	88,5	96,0	102,0	107,0	112,0	116,0	119,0	121,5	123,5
laat	50%	60,0	75,0	84,5	92,0	98,0	103,5	108,5	113,5	117,0	119,5	122,0
vroeg	20%	60,0	84,0	95,5	103,0	109,5	115,0	118,5	121,5	124,0	126,5	128,5
laat	20%	60,0	79,0	89,0	96,0	101,0	107,0	113,0	117,5	120,0	122,5	124,5
vroeg	10%	60,0	84,5	96,0	104,0	111,0	116,0	119,0	122,0	124,5	127,0	129,0
laat	10%	60,0	79,5	89,0	96,5	102,0	108,0	114,0	118,0	121,0	123,0	125,0
vroeg	1%	60,0	86,5	99,0	107,0	113,0	117,0	120,0	122,5	125,0	127,0	129,0
laat	1%	60,0	82,5	93,0	100,5	107,5	113,0	117,0	120,0	123,0	125,0	127,0
III	90%	60,0	79,5	89,5	98,0	105,0	111,5	117,0	122,5	127,0	132,0	136,0
vroeg	50%	60,0	82,5	94,5	103,0	110,5	116,5	122,0	126,5	131,0	135,5	139,5
laat	50%	60,0	80,0	91,5	99,5	106,0	114,0	120,0	124,5	129,5	133,5	138,0
vroeg	20%	60,0	86,0	98,0	108,0	116,0	121,5	126,5	131,0	135,5	139,5	143,5
laat	20%	60,0	83,0	95,0	103,0	110,5	117,0	122,0	126,5	131,0	135,5	139,5
vroeg	10%	60,0	87,5	100,0	110,0	118,0	123,0	128,0	132,0	136,0	140,0	144,0
laat	10%	60,0	83,0	95,0	103,0	110,5	118,0	122,5	127,5	132,0	136,0	140,0
vroeg	1%	60,0	89,5	103,5	113,5	120,0	125,0	129,5	133,5	137,5	141,5	145,0
laat	1%	60,0	84,5	96,5	106,0	114,5	121,0	126,0	130,5	134,5	138,5	142,0

Bijlage 3 (vervolg 1)

Droog- ste pe- riode	Over- schrij- dings- kans	Tijd in dagen										
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
IV	90%	70,0	84,0	93,0	101,0	107,5	114,0	119,5	125,0	129,5	134,0	138,0
vroeg	50%	70,0	88,0	98,0	106,0	113,5	118,5	123,5	128,5	132,5	137,0	140,5
laat	50%	70,0	85,0	93,5	101,5	109,5	116,5	121,5	126,5	130,5	135,0	139,0
vroeg	20%	70,0	90,0	101,0	110,5	118,0	123,5	128,5	132,0	136,5	140,5	144,0
laat	20%	70,0	87,0	97,5	106,0	113,0	118,0	123,0	128,0	132,5	136,5	140,0
vroeg	10%	70,0	91,5	102,5	112,0	119,0	124,5	129,0	133,0	137,5	142,0	145,5
laat	10%	70,0	87,0	98,0	106,0	113,0	119,0	124,5	129,0	133,5	138,0	142,0
vroeg	1%	70,0	92,5	105,0	115,0	120,5	125,0	130,0	134,0	138,5	142,5	146,0
laat	1%	70,0	88,0	99,5	109,0	116,5	122,0	127,0	132,0	136,0	140,0	143,5
V	90%	80,0	90,0	98,0	105,0	111,5	117,5	123,0	128,0	132,0	136,0	140,0
vroeg	50%	80,0	93,0	102,0	109,0	115,5	121,0	126,0	130,5	135,0	139,0	143,0
laat	50%	80,0	90,5	98,5	105,5	114,0	119,5	124,5	129,5	134,0	138,0	142,0
vroeg	20%	80,0	95,0	105,0	114,0	120,5	125,5	130,0	134,0	138,0	142,0	146,0
laat	20%	80,0	93,0	102,0	109,5	116,0	121,5	126,0	130,6	134,5	138,5	142,5
vroeg	10%	80,0	95,5	106,0	114,5	121,0	126,0	130,5	135,0	139,0	143,0	146,5
laat	10%	80,0	93,0	102,0	109,0	116,5	122,0	126,5	131,0	135,5	139,5	143,5
vroeg	1%	80,0	96,5	108,0	116,5	122,5	127,0	131,5	135,5	139,5	143,5	147,0
laat	1%	80,0	93,0	103,0	112,0	119,5	125,0	129,0	133,0	137,0	141,0	145,0

Bijlage 4

Vochtleverantie aan het gewas door capillaire opstijging uit de ondergrond

Droogste Periode	Over-schrij-dings-kans	Tijd in dagen										
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
I	90%		1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	12,0	12,0
vroeg	50%		9,0	18,0	27,0	36,0	45,0	56,0	69,0	79,0	86,5	91,0
laat	50%		3,0	6,0	12,0	21,0	30,5	42,5	54,5	67,0	77,5	85,0
vroeg	20%		16,5	33,5	51,0	66,5	77,0	85,5	90,0	94,5	98,0	100,5
laat	20%		9,0	18,0	27,0	37,0	50,5	62,5	73,5	82,5	88,0	93,0
vroeg	10%		21,5	43,0	64,0	75,0	83,5	88,5	93,5	98,0	100,5	103,5
laat	10%		9,0	19,0	31,5	43,5	55,5	67,0	78,0	85,5	90,0	94,5
vroeg	1%		26,0	52,0	69,0	79,0	86,5	91,5	96,0	100,0	103,0	106,0
laat	1%		15,0	30,0	45,0	60,0	72,5	81,0	88,0	92,5	97,0	100,0
II	90%		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,0	4,0
vroeg	50%		16,0	12,0	18,0	24,0	30,0	35,5	39,0	42,0	44,0	46,0
laat	50%		2,0	3,5	9,5	15,0	24,0	30,0	34,5	37,0	39,5	41,0
vroeg	20%		15,0	30,0	43,0	51,0	55,5	58,0	60,0	62,5	64,5	66,5
laat	20%		6,0	12,0	18,0	24,0	34,5	40,0	43,0	46,0	47,5	49,5
vroeg	10%		17,0	34,0	47,5	53,5	57,5	60,0	62,5	64,5	66,5	69,0
laat	10%		6,0	12,0	19,5	28,5	37,0	41,5	44,5	47,5	50,0	52,5
vroeg	1%		22,0	43,5	53,5	58,5	62,0	64,5	67,0	69,5	71,5	74,0
laat	1%		12,0	24,0	36,0	46,0	50,5	53,5	56,0	58,0	60,0	62,0
III	90%		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vroeg	50%		4,0	9,0	13,5	18,0	22,0	24,5	26,5	29,0	30,5	31,5
laat	50%		1,5	3,5	5,5	9,0	14,5	17,0	19,0	21,5	23,5	24,5
vroeg	20%		12,0	24,0	34,0	38,0	41,0	43,5	46,0	47,0	48,0	49,5
laat	20%		4,5	9,0	13,5	18,0	22,0	24,5	26,5	29,0	30,5	32,0
vroeg	10%		15,5	29,5	38,0	42,0	44,5	46,5	48,5	50,0	51,0	52,5
laat	10%		4,5	9,5	15,5	21,0	25,0	27,5	29,5	31,5	34,0	35,5
vroeg	1%		23,0	40,0	46,0	49,0	51,0	53,5	56,0	57,0	58,0	59,0
laat	1%		9,5	19,0	27,0	32,0	34,0	36,0	39,0	41,0	42,5	43,5

Bijlage 4 (vervolg 1)

Droog- ste pe- riode	Over- schrij- dings- kans	Tijd in dagen										
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
IV	90%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vroeg	50%	4,0	9,0	13,5	17,5	21,0	23,5	25,5	28,0	29,5	30,5	
laat	50%	1,5	3,5	5,5	11,0	15,0	17,5	19,5	21,5	23,0	24,5	
vroeg	20%	13,5	26,5	34,0	37,5	40,0	42,0	44,0	46,0	47,0	48,0	
laat	20%	4,5	9,0	13,5	18,0	21,0	24,0	26,0	28,0	29,5	30,5	
vroeg	10%	15,0	29,0	36,0	39,5	41,5	43,5	46,0	47,0	48,0	49,5	
laat	10%	4,5	9,5	15,5	21,0	24,5	26,5	28,5	31,5	32,0	34,0	
vroeg	1%	22,0	37,0	42,5	45,0	47,5	50,0	51,5	53,0	54,0	55,5	
laat	1%	9,0	17,5	26,0	30,5	33,0	35,0	37,0	39,0	40,0	41,0	
V	90%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
vroeg	50%	4,5	8,5	13,0	17,5	20,0	22,5	24,5	26,5	28,0	29,0	
laat	50%	1,5	3,0	6,5	12,5	15,0	17,5	19,5	22,0	23,0	24,5	
vroeg	20%	13,5	26,0	31,0	34,0	36,0	38,0	40,0	41,5	42,5	44,0	
laat	20%	4,5	9,0	13,5	17,5	20,0	22,0	24,5	26,5	28,0	29,0	
vroeg	10%	14,5	27,0	32,0	35,0	37,5	40,0	41,5	43,0	44,0	45,0	
laat	10%	4,5	10,0	16,0	20,5	23,5	26,0	28,5	29,5	30,5	32,0	
vroeg	1%	22,0	33,0	37,5	40,0	42,0	44,0	45,5	46,5	48,0	49,5	
laat	1%	9,0	17,5	24,0	27,5	30,0	32,5	34,0	36,0	37,0	38,0	

Bijlage 6

De totale werkelijke verdamping in mm

Droog- ste pe- riode	Over- schrij- dings- kans	Tijd in dagen									
		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
I	90%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
vroeg	50%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
laat	50%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
vroeg	20%	40	83	124	176	228	279	328	372	419	453,6
laat	20%	35	80	120	170	224	276	326	372,6	418,1	446,1
vroeg	10%	41	85	128	182	235	288	339	379,1	423,6	459,6
laat	10%	35	80	120	173	226	282	336	360,6	397,1	424,6
vroeg	1%	44	90	140	190	231,6	260,6	288,1	313,1	343,1	368,1
laat	1%	41	82	128	177	237,0	276,1	296,1	305,6	337,1	362,1
II	90%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
vroeg	50%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
laat	50%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
vroeg	20%	40	83	124	176	228	279	328	357,6	394,6	419,6
laat	20%	35	80	120	170	224	276	325,1	341,1	377,6	402,6
vroeg	10%	41	85	128	182	235	278,1	312,6	339,6	373,6	399,1
laat	10%	35	80	120	173	226	282	309,6	322,6	357,1	382,6
vroeg	1%	44	90	140	190	207,1	232,6	259,1	282,6	311,6	336,1
laat	1%	41	82	128	177	228,6	248,6	264,1	271,1	300,1	324,1
III	90%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
vroeg	50%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
laat	50%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
vroeg	20%	40	83	124	176	228	279	315,1	342,1	378,1	402,6
laat	20%	35	80	120	170	224	276	308,6	324,1	360,6	385,1
vroeg	10%	41	85	128	182	234,6	264,6	298,6	325,1	358,1	382,6
laat	10%	35	80	120	173	226	275,6	294,6	306,6	341,1	365,6
vroeg	1%	44	90	140	181,1	196,1	221,6	248,1	279,1	298,1	321,1
laat	1%	41	82	128	177	212,1	231,1	247,1	254,1	282,6	305,6

Bijlage 6 (vervolg 1)

Droog- ste pe- riode	Over- schrij- dings- kans	Tijd in dagen									
		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
IV	90%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
vroeg	50%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
laat	50%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	439,6
vroeg	20%	40	83	124	176	228	274,1	307,1	335,1	371,1	395,1
laat	20%	35	80	120	170	224	276	302,1	317,1	353,6	377,6
vroeg	10%	41	85	128	182	225,6	255,6	290,1	316,1	349,1	373,6
laat	10%	35	80	120	173	226	268,6	287,6	299,6	333,1	358,1
vroeg	1%	44	90	140	171,1	186,6	212,1	237,6	260,1	288,1	311,6
laat	1%	41	82	128	177	205,1	224,1	239,1	246,1	274,1	297,1
V	90%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	440
vroeg	50%	35	80	120	170	220	270	318	360	405	439,7
laat	50%	35	80	120	170	220	270	318	359,7	402,7	435,2
vroeg	20%	40	83	124	176	228	265,7	298,7	326,2	362,2	386,7
laat	20%	35	80	120	170	224	276	296,2	311,2	347,7	371,7
vroeg	10%	41	85	128	182	217,2	247,7	281,2	307,7	340,7	364,7
laat	10%	35	80	120	173	226	263,7	283,2	294,2	327,2	351,7
vroeg	1%	44	90	140	161,7	176,7	201,7	227,2	149,2	277,7	301,2
laat	1%	41	82	128	177	197,7	217,2	231,7	238,7	266,7	289,7

Bijlage 7

Gesommeerde afvoer in mm

Geval	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
•Onderschrijdingskans 90%										
II	11,0	21,5	31,5	40,5	49,0	58,0	66,5	75,5	81,0	88,0
III	19,5	37,0	53,5	69,0	84,0	98,0	111,0	123,5	134,5	145,0
IV	19,0	36,0	52,5	67,5	82,0	95,5	108,0	120,0	130,5	141,0
V	17,5	34,0	50,5	65,0	79,0	92,0	104,5	116,0	126,5	137,0
Onderschrijdingskans 50% Droogste periode vroeg										
II	11,5	21,5	31,0	40,0	48,0	55,5	62,0	68,0	73,0	77,0
III	19,0	36,0	52,0	68,5	82,0	95,0	108,5	118,5	128,0	135,0
IV	18,5	35,0	50,5	66,5	80,0	93,0	104,5	116,0	124,5	131,0
V	17,5	33,5	49,5	64,0	77,5	90,0	103,5	111,5	120,5	127,0
Onderschrijdingskans 50% Droogste periode laat										
II	12,0	23,0	33,0	43,0	51,0	58,5	66,0	72,5	77,5	82,0
III	19,0	37,0	53,0	69,5	83,5	97,5	109,5	121,5	132,5	139,5
IV	18,5	35,5	52,0	67,5	81,5	94,5	106,5	118,5	128,5	135,5
V	18,0	34,5	50,0	64,5	78,0	90,5	102,5	114,0	121,5	128,5
Onderschrijdingskans 20% Droogste periode vroeg										
II	11,0	21,0	30,0	37,5	44,5	50,5	55,5	60,5	64,5	69,0
III	18,5	35,0	49,5	63,5	77,0	88,5	101,0	111,0	118,0	124,5
IV	18,0	34,0	48,5	62,5	75,0	87,0	99,0	108,0	115,0	122,0
V	17,5	33,5	48,0	62,0	74,0	86,0	97,0	104,0	111,5	118,5
Onderschrijdingskans 20% Droogste periode laat										
II	12,0	21,5	31,0	40,5	48,0	55,5	61,5	67,5	72,0	76,0
III	10,0	36,0	52,0	68,5	82,0	95,0	106,5	118,5	128,0	135,0
IV	18,5	35,0	51,0	66,5	80,0	93,0	104,5	116,0	124,5	131,0
V	18,0	34,0	49,5	64,0	77,5	90,0	101,5	111,5	120,5	127,0
Onderschrijdingskans 10% Droogste periode vroeg										
II	11,5	21,0	30,0	37,0	43,5	50,0	55,5	60,0	64,5	68,5
III	18,5	35,0	50,5	65,0	77,5	89,0	101,0	110,0	117,5	124,5
IV	18,0	34,5	49,5	63,5	75,5	87,5	99,5	107,0	114,5	121,5
V	17,5	33,5	48,0	61,0	73,0	85,0	96,5	103,5	110,5	117,5
Onderschrijdingskans 10% Droogste periode laat										
II	12,0	21,5	31,0	40,0	48,0	55,0	61,0	67,0	71,5	75,5
III	19,0	36,0	52,0	68,0	81,5	94,0	106,0	118,0	127,0	134,0

Bijlage 8 (vervolg 1)

Droog- . Over-
ste pe- schrij-
riode dings-
kans

	van	E _{pot} in %	E _{pot} mm	Werkelijke verdamping in mm					Relatieve verdamping in %				
				I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
vroeg	1	364	269	239	226	216	205	73,9	65,7	62,1	59,3	56,3	
laat	1	367	265	230	213	205	198	72,2	62,7	58,1	55,9	53,9	
Late aardappels periode van 1/5-1/9													
	90	370	370	370	370	370	370	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
vroeg	50	370	370	370	370	370	370	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
laat	50	370	370	370	370	370	368	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5	
vroeg	20	379	379	355	338	331	322	100,0	93,6	89,2	87,3	85,0	
laat	20	384	383	343	326	319	313	99,8	89,4	85,0	83,1	81,5	
vroeg	10	390	383	333	317	308	300	98,3	85,5	81,3	79,0	76,9	
laat	10	396	362	322	306	298	292	91,5	81,3	77,3	75,3	73,8	
vroeg	1	410	249	268	254	244	2	73,0	65,3	61,9	59,5	57,1	
laat	1	413	296	259	242	230	226	71,7	62,7	58,6	56,4	54,7	
Grasland periode van 15/4-15/9													
	90	440	440	440	440	440	440	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
vroeg	50	440	440	440	440	440	440	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
laat	50	440	440	440	440	440	435	100,0	100,0	100,0	100,0	99,0	
vroeg	20	450	454	400	403	375	387	99,8	92,3	88,7	86,9	85,2	
laat	20	455	446	403	385	378	372	98,0	88,5	84,6	83,1	81,7	
vroeg	10	470	460	399	383	374	365	97,8	85,0	81,5	79,6	77,7	
laat	10	470	425	383	366	358	352	90,4	81,5	77,9	76,2	74,8	
vroeg	1	495	368	336	321	312	301	74,3	67,8	64,8	63,0	60,8	
laat	1	495	362	324	306	297	290	73,2	65,5	61,8	60,0	58,6	