

NN31545.0279

INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 279, d. d. 23 november 1964

Berekening van de verdamping van een zavelgrond
in Zeeland voor de jaren na 1957 op basis van
de studie van de grondwaterbeweging voor 1958

G.W. Bloemen

BIBLIOTHEEK DE WAAK
Droevendaalsesteeg 3a
Postbus 241
6700 AE Wageningen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemid-
delen, 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 onder-
zoek nog niet is afgesloten.
Aan gebruikers buiten het Instituut wordt verzocht ze niet in pu-
blikaties te vermelden.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking.

1783870



2. Inleiding

a. De berekening van de waterbalans uit waterstanden

Bij hernaling is aangegeven, hoe men uit grondwaterstandsgegevens, aanvullend met gegevens over de atmosferische verdamping en over de doorsneehoeveelheden, zich cijfers kan verschaffen over de grootte van de afstroming, van de vochtinhoudsveranderingen van de grond en van de verandering van een al dan niet begroeide grond. (VIGSTER en ROZENDAL 1955, 1957, 1960, ROZENDAL 1959, VIGSTER 1960).

De uitkomsten van de ontwikkelde bewerkingsmethode, die bruikbaar zijn voor tijdvakken van een maand of langer, blijken echter niet aan hoge eisen van nauwkeurigheid te voldoen wanneer ze betrekking hebben op de korte tijdvakken, waarin de opeenvolgende jaren zijn ongedeeld wanneer de waterstandsmetingen met tien- of vijftiendaagse intervallen herhaald zijn geworden. Deze onnauwkeurigheid zal, wanneer deze cijfers, of de verhoudingsgetallen er van met de atmosferische verdamping, worden gebruikt bij problemen als de berekening van wateraanvulling in de landbouw, van de frequentie van het optreden van een bepaalde waterbehoefte, of van de kwel, tot grote fouten in de uitkomsten aanleiding kunnen geven (VIGSTER, 1960).

Wanneer men de variatie van de werkelijke verdamping in opeenvolgende korte tijdvakken van jaar tot jaar wil geven met een nauwkeurigheid, die het gebruik als basis voor verdere berekeningen toelaat, dan moeten de onnauwkeurige cijfers, die uit de bewerking van grondwaterstandsgegevens worden gevonden, worden vereffend.

b. Vereffening van onnauwkeurige verdampingscijfers

Door de samenhang vast te stellen van de werkelijke verdamping met grootheden als de atmosferische verdamping en de vochttoestand van de grond kan vereffend worden. De toevalspreiding in de verdampingswaarden voor korte tijdvakken, die zijn gevonden bij het statistisch hydrologisch onderzoek, wordt dan door de berekening van lijnen die de samenhang met deze grootheden weergegeven geëlimineerd. Nauwkeuriger cijfers voor de werkelijke verdamp-

ping kunnen met de constanten, die deze lijnen beschrijven, uit de gegeven waarden voor atmosferische verdamping en vochttoestand worden teruggevonden (VISSER, 1964). Het blijkt echter dat de onnauwkeurigheid van de verdampingswaarden die met het statistisch hydrologisch onderzoek voor korte tijdvakken gevonden werden, zo groot kan zijn, dat een samenhang van werkelijke verdamping met atmosferische verdamping en vochttoestand niet meer tot uiting komt (VISSER en BLOEMER, 1965).

Andere technieken om de fouten wat te corrigeren staan echter ter beschikking. Zo is het berekenen van het gemiddeld jaarlijks beloop van de verdamping uit de voor de afzonderlijke jaren gevonden cijfers ook een vereffening. Behalve de toevalspreiding wordt hierbij echter ook een deel van de niet-toevallige spreiding uitgemiddeld. Wanneer desondanks de variatie die de werkelijke verdamping in de loop van een gemiddeld jaar vertoont, groot genoeg is, en wanneer het gemiddeld jaarlijks beloop van atmosferische verdamping en vochttoestand van de grond bekend is, dan kan de samenhang van de werkelijke verdamping met deze grootheden worden vastgesteld. Berekening van vereffende verdampingswaarden voor tijdvakken met gegeven waarden voor atmosferische verdamping en vochttoestand is met de beschrijvende constanten dan ook weer mogelijk.

Voor de grondwaterstandsbuis no. 539 van de Commissie Watervoorziening en Ontziltng, die sinds 1951 op instigatie van ir. J.A. VAN 't LEVEN bij 's Heerenhoek in Zeeland wordt waargenomen, is in de volgende paragraaf nagegaan welke mogelijkheden tot het schatten van verdampingswaarden laatstgenoemde methode oplevert.

2. Bepaling van gemiddelde maandwaarden voor de werkelijke verdamping in periode 1951 - 1957

a. Het principe van de bewerking van grondwaterstandswaarnemingen

De verdampingscijfers, die enige jaren geleden door statistische bewerking van grondwaterstandswaarnemingen in buis no. 539 o.l.o. werden verkregen (BLOEMER, 1959⁶) zijn in deze voortgezette studie niet gebruikt. In plaats daarvan werden gemiddelde maandwaarden opnieuw vastgesteld. De reden hiervoor blijkt uit het volgende.

Het hydrologisch onderzoek van grondwaterstandsondruzen is er op gebaseerd dat de formule voor de waterbalans kan worden geschreven als een som van posten die gelijk is aan nul. Van deze posten is zonder verdere bewerking echter alleen de neerslag gegeven. De grootte van de afstroming, van de vochtvoorraadverandering in de grond en van de werkelijke verdamping kan

men echter afleiden uit respectievelijk de drukhoogte, de grondwaterstandsverandering en de atmosferische verdamping. De waterbalansvergelijking kan daarom toch worden uitgewerkt.

Men kan bijvoorbeeld voor tijdvakken gedurende de winter zonder verdampingspotentieel van betekenis en met gelijke grondwaterstandsveranderingen de drukhoogte tegen de neerslaghoeveelheden uitzetten en de samenhang tussen deze grootteën, die de afstromingskromme voorstelt, berekenen. Nu kan deze afstromingsfunctie ook worden vastgesteld voor een groep tijdvakken waarin dezelfde grondwaterstandsverandering optrad als in de eerste groep, maar waarin een verdampingspotentieel bestond. Er zal dan in het geval, waarin verdamping optreedt, een aftrek op de neerslag moeten worden toegepast om beide lijnen voor regenval tegen drukhoogte te laten samenvallen. Deze aftrek zal de gemiddelde werkelijke verdamping voor de tijdvakken van de groep, waarin een verdampingspotentieel bestond, aangeven.

b. De indeling op grond van de atmosferische verdamping

De gevonden verdampingswaarde is een gemiddelde waarde voor een aantal tijdvakken en men zal daarom trachten de tijdvakken zodanig te selecteren dat de groepen waarvoor deze gemiddelde waarde grafisch wordt vastgesteld, ten aanzien van de werkelijke verdamping zo homogeen mogelijk zijn. Het berekenen van de afvoerkrommen levert dan zo weinig mogelijk moeilijkheden op. Behalve naar grondwaterstandshoogten werden in de eerste bewerking van de gegevens van no. 539 de tijdvakken daarom onderscheiden naar de grootte van de atmosferische verdamping, als relatieve maatstaf van de werkelijke verdamping. Hierdoor werden echter tijdvakken uit het voorjaar en uit het najaar samengevoegd. Hierbij werd verondersteld dat de bergingsfactor waarmee grondwaterstandsveranderingen in millimeters vocht worden omgerekend, in voor- en najaar dezelfde is. Er zijn echter aanwijzingen dat in het voorjaar een grotere factor moeten worden toegepast dan in het najaar. Breegt men dit verschil niet tot uiting in de omrekeningsfactor voor de grondwaterstandsverandering en past men op voor- en najaar een gemiddelde factor toe dan zal de werkelijke verdamping in het voorjaar worden onderschat, die in het najaar echter worden overschat.

c. De naam van het jaar als bruikbaar maatstaf

Om een grotere homogeniteit in de tijdvakgroepen te brengen dan door onderscheid naar de grootte van de grondwaterdiepte en van de atmosferische verdamping, alléén mogelijk is, is een indeling naar de tijd van het jaar

uitermate geschikt. Hierdoor combineert men immers een indeling naar de intensiteit van de atmosferische verdamping met een indeling naar enige eigenschappen die voor het seizoen karakteristiek en in grote lijnen van jaar tot jaar gelijk zijn, terwijl ze tevens met de grootte van de werkelijke verdamping direct verband zullen houden. Medebel werden hier eigenschappen als het ontwikkelingsstadium van het gewas en de grootte van de vochtonttrekking.

3. De verklaring van de werkelijke verdamping in de jaren 1951 tot en met 1957

1. De bewerking van de Zeeuwse waterstandsbuis

Vanneer men een aantal tijdvakken behalve naar de grondwaterstandsdierpte ook bijvoorbeeld per maand wil samenvatten, dat wordt het aantal gegevens, dat nodig is om per tijdvakgroep een samenhang te kunnen vaststellen tussen de neerslaghoeveelheden en grondwaterstandsveranderingen, die niet met het seizoen samenhangen, wel wat groot.

Voor grondwaterstandsbuis no. 539 C.W.O. is daarom op grond van de vroeger gevonden afvoerfunctie voor alle decaden tussen 22 mei 1951 en 1 oktober 1957 de afvoer in millimeters uit de grondwaterstanden afgeleid en in mindering gebracht op de neerslag. Hierdoor wordt een variabele geëlimineerd. De decaden zijn daarna per kalenderjaar samengevat waarna voor de afzonderlijke maanden de decade-sommen van neerslag minus afstroming direct tegen de grondwaterstandsveranderingen werden uitgezet. In figuur 1 vindt men hiervan een voorbeeld. In figuren als deze kan men de gemiddelde werkelijke verdamping voor de betrokken maand direct aflezen. Het is het aantal millimeters dat op de verticale as door $\Delta W = 0$ wordt afgesneden door de lijn die de samenhang tussen de beide variabelen weergeeft. Dit bedrag voldoet immers om waar te maken dat

$$\text{neerslag} - \text{afvoer} + \text{vochtvoorraadveranderingen} - \text{verdamping} = 0$$

Met voordeel van deze werkwijze is dat in de gevonden verdampingscijfers de fouten in de afzonderlijke neerslagmetingen en in de schattingen van afvoer en van vochtinhoudsveranderingen niet zijn geaccumuleerd. Een nadeel is dat de vereffende verdampingswaarden, die men vindt, als gemiddelde voor de bestudeerde jaren gelden.

Vereffende verdampingscijfers voor korte tijdvakken in de afzonderlijke jaren werden verkregen door de samenhang vast te stellen tussen de gemiddelde maandwaarden voor de werkelijke verdamping en de gemiddelde maandwaar-

den voor de atmosferische verdamping en de vochttoestand van de grond. Uit de grafische bewerking waaruit de samenhang tussen deze drie grootheden volgt werden de constanten bekend waarmee uit gegeven waarden voor atmosferische verdamping en vochttoestand van de grond de grootte van de werkelijke verdamping kan worden berekend.

Voor de atmosferische verdamping werden de gemiddelde maandwaarden berekend uit de voor het station Vlissingen door het K.W.M.I. gegeven cijfers (KRAMER 1957, Maandoverzichten K.W.M.I. 1957). De variaties in de vochttoestand van de grond zijn in het bestudeerde geval niet door meting bekend en zijn afgeleid.

b. De afleiding van de gemiddelde maandwaarden voor de vochttoestand van de grond

Voor de afleiding van de variaties in de vochttoestand van de grond is uitgegaan van de vochtgehalten die behoren bij de zuigspanning waaronder het water bij een evenwichtstoestand op een bepaalde hoogte boven het grondwater staat. Aangenomen is dat vochtonttrekking beneden deze evenwichtgehalten begint wanneer in het voorjaar de verdamping de neerslag gaat overtreffen. Uit grondwaterstandswaarnemingen en gemiddelde cijfers voor neerslag en atmosferische verdamping blijkt dat het keerpunt bij de overgang van april naar mei optreedt en dat de grondwaterdient dan gemiddeld 95 cm onder maaiveld bedraagt. Volgens de resultaten van een ringbemonstering tot op een diepte van 80 cm en de daarin verrichte pF-bepaling behoort hierbij een evenwichtsvochtgehalte van 36 volume-procenten als gemiddelde voor de gehele laag. Hiervan werd uitgegaan bij de berekening van een gemiddeld vochtgehalte in de laag 0 - 80 cm voor de opeenvolgende maanden. Aangenomen werd dat het neerslagtekort geheel aan deze laag werd onttrokken of dat een overschot er geheel in achterbleef. Nauwkeurig in overeenstemming met de feiten zal dit niet zijn, maar de berekende vochtgehalten zullen sterk zijn gecorreleerd met de werkelijke.

c. De samenhang tussen werkelijke en atmosferische verdamping en het bodemvochtgehalte

Een verdampingstheorie, waarvan de ontwikkeling elders wordt gegeven (VISSER, 1964) geeft aan dat de werkelijke verdamping E_v wordt beheerst door het verdampend vermogen van de atmosfeer E_a en door de vochttoestand van de grond V . Hoe deze drie variabelen samenhangen wordt bepaald door enige constanten, die een aantal goed omschrijfbaar gewas- en bodemeigen-

schappen voorstellen, en wordt uitgedrukt in de formule:

$$(gE_0 - E_w)(AV^m - E_w) = B$$

De waarde van B is klein en de formule geeft aan dat naarmate B dichter tot nul nadert de verdamping duidelijker afwisselend wordt beheerst hetzij uitsluitend door de vochttoestand van de doorwortelde laag, het zij uitsluitend door de atmosferische verdamping. De samenhang van de werkelijke verdamping met één van deze eigenschappen is dan direct en bijna rechtlijnig maar boven een bepaalde waarde van de tweede eigenschap is de invloed van de eerste verdwenen. Naarmate de waarde van de beperkende factor hoger is zal deze beperking bij hogere waarden van de andere factor gaan ontreden. De formule geeft aan dat de werkelijke verdamping niet hoger kan zijn dan gE_0 of AV^m en wanneer B verwaarloosbaar klein is gelijk zal zijn aan de kleinste van beide waarden.

De waarden van de constanten A, g en m worden met behulp van de formule afgeleid uit in het veld verzamelde gegevens over werkelijke verdamping, verdampend vermogen van de atmosfeer en vochttoestand van de grond. De afleiding komt tot stand door een grafische bewerking van deze gegevens, waarvan elders de bijzonderheden zijn gegeven (BLOEMEN, 1962). In bijlage 1 zijn de berekeningen voor de afleiding van de constanten A, g en m voor de zeeuwse zavel bij waterstandsbuis no. 539 uitgewerkt. De diagrammen waarin de constanten kunnen worden afgelezen, zijn in de figuren 2 tot en met 5 weergegeven.

d. De waarde van de constanten van de verdampingsformule

Uit figuur 2 blijkt dat $g = 0,9$. De schatting $m = 3$ heeft op dit resultaat geen invloed gehad. In figuur 3, uitgewerkt met $g = 0,9$ en als schatting $m = 3$ blijkt duidelijk dat deze grond zodanig kan uitdrogen dat de verdamping erdoor wordt beperkt. Bij een atmosferische verdamping van ongeveer 2,4 mm per etmaal begint deze beperking bij een daling van het vochtgehalte beneden 13 à 19 volume-procenten vocht. Het aantal gegevens laat echter niet toe uit deze figuur voor de hellende asymptoot de hellingshoek a duidelijk vast te stellen. Wanneer $m = 3$ wordt toegepast dan vindt men op de verticale as door $\log V = 0$ dat $A = + 300$, wanneer het vochtgehalte in volume-delen wordt uitgedrukt of $A = + 0,0003$ wanneer dit in procenten geschiedt. Figuur 3 en figuur 4 bevestigen dat $g = 0,9$. Verder blijkt in figuur 4 weer dat er een beperkende invloed van het vochtgehalte op de verdamping uit kan gaan.

De combinatie van $n = 3,1$ en $A = 0,0003$ levert de hellende asymptoot, die bij de punten het beste is aangepast. In Figuur 5 blijkt weer dat $g = 0,9$.

De rekenfactoren waarmee de werkelijke verdamping in het geval van buis no. 539 C.W.O. kan worden vastgesteld, zijn nu bekend. Uit de formule in 3c volgt dus dat de werkelijke verdamping bij scherpe benadering gelijk is aan de laagste van de bedragen, die berekend kunnen worden als

$$E_w = 0,9 E_0 \quad \text{of} \quad E_w = 0,0003 \left(\frac{0-80 \text{ cm}}{100} \right)^{3,1}$$

Met deze rekenfactoren is de werkelijke verdamping die in de bewerking als maandgemiddelden werd ongenomen, reproduceerbaar met een nauwkeurigheid van 0,21 mm/etmaal, berekend als $S = \sqrt{\frac{(AE)^2}{n-1}}$

4. Berekening van de werkelijke verdamping voor 1958 en latere jaren

a. Berekening van de potentiële verdamping en van de bodemvochtgehalte

De praktische betekenis van de gevonden constanten is dat voor willekeurige tijdvakken, waarvan bekend is welke waarde de atmosferische verdamping had en hoe de vochttoestand van de grond was, de werkelijke verdamping kan worden berekend. Dit geldt ook voor tijdvakken buiten de periode waarin de bestudeerde gegevens werden verzameld. Voor de jaren 1958 tot zo recent mogelijk is de werkelijke verdamping voor de grond, waarvoor de waterbeweging in buis no. 539 C.W.O. representatief is, berekend voor 10-daagse perioden. De hiervoor benodigde atmosferische verdampingswaarden (E_0) zijn berekend uit de door het K.N.M.I. in de maandoverzichten gegeven maandwaarden voor het station Vlissingen. De decade-cijfers zijn verkregen door interpolatie op een vloeiende lijn door de maandcijfers. De vochtgehalten in de laag van 0 - 80 cm zijn weer berekend, uitgaande van een gemiddelde evenwichtsgehalte bij een grondwaterstand van 95 cm onder maaiveld van 80%, dat wordt overschreden op het tijdstip waarop gE_0 de neerslag gaat overtreffen. Wanneer op dit tijdstip de grondwaterstand nog hoger dan 95 cm onder maaiveld is, dan wordt aangenomen dat de hoeveelheid water, die boven de evenwichts-toestand bij een diepte van 95 cm aanwezig is, door afstroming verdwijnt.

b. De berekening van de werkelijke verdamping

Van het beloop van de werkelijke verdamping (E_w) krijgt men nu een duidelijke voorstelling door het beloop van E_w , zoals dat onder beperking van de atmosferische verdamping (gE_0) zowel als onder beperking van het vochtgehalte (AV^m) zou zijn geweest, uit te zetten. De berekening voor 1962 is in bijlage 2 als voorbeeld bijgevoegd. Het blijkt dat in de tweede decade van april de neerslag door gE_0 wordt overtroffen. Aan het begin van deze decade is het vochtgehalte nu op 36% gesteld. In de derde decade van april is het neerslagtekort 14,5 mm, hetgeen voor de laag van 0 tot 30 cm onder maaiveld overeenkomt met een onttrekking van 1,51 mm per laag van 10 cm. Het vochtgehalte daalt in deze decade dus tot 34,19 mm. Voor de opeenvolgende decaden is zo het afnemen van het vochtgehalte berekend. Zolang de waarde van AV^m aan het begin van de decade hoger uitvalt dan de waarde van gE_0 werd het neerslagtekort of tekort ten opzichte van gE_0 berekend. Aan het begin van de derde decade in juni echter is AV^m lager dan gE_0 . Daarom wordt nu het neerslagtekort en het veranderlijke vochtgehalte met AV^m berekend. Voor de eerste decade van augustus moet de berekening weer met gE_0 worden uitgevoerd, maar verder tot de derde decade van september met AV^m . In deze decade gaat AV^m blijvend gE_0 overtreffend.

Voor de decaden van juni tot en met september is nu de verdamping, zoals die onder beperking van het vochtgehalte geweest zijn, berekend als gemiddelde met de voor het begin en eind van de decaden gevonden waarden van AV^m .

In figuur 6 is voor 1953 en latere jaren het beloop van AV^m en van gE_0 weergegeven. De werkelijke verdamping is altijd gelijk aan de laagste van deze waarden geweest. Daarnaast is het beloop van de reductiefactor voor de open waterverdamping weergegeven.

Uit het beloop van de werkelijke verdamping blijkt dat er nogal wat verschillen in de jaren onderling tot uiting komen. Weinig variatie treedt er op in het tijdstip waarop de vochttoestand van de grond voor de verdamping een beperkende factor gaat worden. Dit valt als regel in de eerste helft van juni. De verdere ontwikkeling is echter ieder jaar anders. Schalve het droge jaar 1959 valt het natte jaar 1963 op waarin geen beperkende invloed van de vochttoestand op de verdamping is uitgegaan.

c. Toetsing van het gevonden resultaat

Enige directe controle op de cijfers in figuur 6 is niet mogelijk. Verdampingscijfers die uit lysimeteronderzoek beschikbaar komen zijn slecht

vergelijkbaar door de afwijkende boden-, begroeiings- en klimaatomstandigheden waaronder de verdamping tot stand kwam. Bovendien is de grondwaterstand hierin vaak op een constant peil gehandhaafd. Hoewel dit constante peil ook op het drainage-lysimeterveld in de Rottegatpolder wordt nagestreefd zijn toch de verdampingscijfers, die hiervoor worden berekend, in dit geval als toetsing wel het meest waardevol van datgene wat aan verdampingscijfers beschikbaar is, (PEERLKAMP, 1959 en later). Het zijn immers direct berekende cijfers voor een redelijk groot oppervlakte gronden met ongestoorde profielen. Bovendien vertoont de grondwaterstand nog een behoorlijke natuurlijke variatie. Dat dit proefveld overwegend als bouwland wordt gebruikt, dat er water wordt ingelaten en dat het op grote afstand van het Zeeuwse waarnemingspunt ligt zal verdampingsverschillen tot gevolg hebben, die bij vergelijking ten aanzien van details tot verschillen moeten leiden.

In figuur 7a en b zijn de verdampingscijfers voor 's Heerenhoek en voor de Rottegatpolder maandgewijs vergeleken. Het blijkt dat in de voorjaarsmaanden april en mei de verdamping in de Rottegatpolder veel lager ligt dan in 's Heerenhoek. Tot uiting komt hier het regelmatig verschil in verdampingsniveau tussen grasland en bouwland, dat in het voorjaar als gevolg van verschil in gewasontwikkeling optreedt en dat reeds eerder werd gesignaleerd (VISSER en BLOEMEN, 1965).

Verder blijkt duidelijk dat in de maanden juni tot en met september in grote lijnen het verdampingsniveau, dat voor het Zeeuwse waarnemingspunt werden berekend, met die voor de Rottegatpolder overeenstemmen. Tussen de afzonderlijke verdampingswaarden (= E) bestaat een gemiddelde afwijking die, berekend als $S = \sqrt{\frac{(\Delta E)^2}{n-1}}$, voor juni tot en met september 0,452 mm/etmaal bedraagt en voor april en mei 0,387 mm/etmaal. In het laatste geval is het regelmatig optredend verschil vooraf geëlimineerd geworden.

5. Conclusie

Wanneer men alle verschillen, die tussen de vergeleken gevallen bestaan, in aanmerking neemt dan mag op grond van het bovenstaande wel worden aangenomen dat de cijfers voor het Zeeuwse waarnemingspunt zoals weergegeven in figuur 6 voor de meer directe omgeving een betrouwbare schatting van de werkelijke verdamping geven. Op grond van figuur 7a kan dan nog worden vermoed dat de gevonden waarden voor de werkelijke verdamping in de voorjaarsmaanden tot 2/3 moeten worden gereduceerd, wanneer de verdampingscijfers worden gebruikt voor gebieden die overwegend als bouwland worden gebruikt.

Bijlage 1a. Berekeningen voor de grafische voorstelling van de samenhang tussen de grootheden in de kolommen 1, 2 en 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	4-8	5-8
	E_0	E_w	V	$\log E_0$	$\log E_w$	$\log V$	$\log V - \overline{\log V}$	$m(\log V - \overline{\log V})$	X	Y
marc.	1,16	1,06	36	0,0645	0,0253	1,5563	+0,1563	+0,4689	-0,4044	-0,4436
apr.	2,2	2,0	32	0,3424	0,3010	1,5051	+0,1051	+0,3153	0,0271	0,0143
mei	3,9	3,4	25	0,5911	0,5315	1,3979	-0,0021	-0,0063	0,5974	0,5378
juni	4,1	3,4	20	0,6128	0,5315	1,3010	-0,0990	-0,2970	0,9098	0,8285
juli	4,0	2,6	18	0,6021	0,4150	1,2553	-0,1547	-0,4641	1,0662	0,8791
aug.	3,5	2,8	26	0,5441	0,4472	1,3010	-0,1990	-0,5970	1,1411	1,0442
sept.	2,2	2,0	23	0,3424	0,3010	1,3617	-0,1383	-0,4149	0,7573	0,7159

figuur 2

	9	10	11	12	5-11	6-12
	E_0	$\log E_0$	$\log E_w - \overline{\log E_w}$	$\frac{\log E_0}{M}$	X	Y
	1,04	0,0170	-0,3630	-0,1210	0,3883	1,6773
	1,98	0,2967	-0,0833	-0,0281	0,3843	1,5332
	3,5	0,5441	0,1641	0,0547	0,3674	1,3432
	3,7	0,5682	0,1382	0,0627	0,3559	1,2383
	3,6	0,5563	0,1763	0,0589	0,2387	1,1964
	3,14	0,4969	0,1169	0,0393	0,3303	1,2617
	1,98	0,2967	-0,0833	-0,0281	0,3843	1,3898

figuur 3

Bilaga 1b. Berekeningen voor de grafische voorstelling van de samenhang tussen de grootheden in de kolommen 1, 2 en 3

	1	2	3	13	14	15	16	2-15	13-16
	\bar{x}_0	\bar{x}_v	V	V^m	$E - \bar{E}_0$	$\frac{\Delta V^m}{V_0}$	$\frac{\Delta V^m}{A}$	Y	X
mrt.	1,16	1,06	36	66700	-1,84	-1,66	-5530	2,72	72230
apr.	2,2	2,0	32	46300	-0,8	-0,72	-2400	2,72	48700
mei	3,9	3,4	25	21600	0,9	0,81	2700	2,59	18900
juni	4,1	3,4	20	10300	1,1	0,99	3300	2,41	7500
juli	4,0	2,6	18	8000	1,0	0,9	3000	1,7	5000
aug.	3,5	2,8	26	10300	0,5	0,45	1500	2,35	9300
sept.	2,2	2,0	23	16700	-0,8	-0,72	-2400	2,72	19200

Figuur 4

	17	18	1-18	2-13
	$V^m - \bar{V}^m$	$A(V^m - \bar{V}^m)$	$\frac{A(V^m - \bar{V}^m)}{s}$	X
	+40700	+12,21	+13,3	-12,64
	+20300	+6,09	+6,75	-4,55
	-4400	-1,32	-1,47	5,37
	15200	-4,56	-5,06	9,16
	13000	-5,4	-6,0	10,00
	15200	-4,56	-5,06	+8,56
	9300	-2,79	-3,1	5,30
				4,79

Figuur 5

Bijlage 2. Berekening van de werkelijke verdamping van een Zeeuwse zavel voor 1962, per decade

Maand	Decade	\sum_{0}^{30} mm/etm	\sum_{0}^{10} mm	$\sum_{0}^{0,9 E_0}$ mm	\sum_{0}^{f} mm	$\sum_{0}^{N-0,9 E_0}$ mm	V_{0-30} mm/10cm	AV^M mm/etm	AV^M mm/etm	$0,9 E_0$ mm/etm	f
mrt.	1	1,11	11,1	10,0	7,1					1,0	
	2	1,19	11,9	10,7	11,2	+0,5				1,07	
	3	1,59	17,5	15,7	19,7	+4,0				1,43	
apr.	1	1,99	19,9	17,9	43,1	+25,2	36			1,79	
	2	2,38	23,8	21,4	6,9	-14,5	34,19			2,14	
	3	2,25	25,5	23,0	1,7	-21,3	31,53			2,29	
mei	1	2,72	27,2	24,5	11,6	-12,9	29,92			2,44	
	2	2,90	29,0	26,1	10,6	-15,5	27,96			2,6	
	3	3,3	36,3	32,6	13,0	-19,6	25,53		6,96	2,97	
juni	1	3,7	37,0	33,3	0,5	-32,8	21,4		5,55	3,33	0,9
	2	4,1	41,0	37,0	0,5	-26,2	16,84		2,97	3,7	0,73
	3	3,88	38,8	34,9	3,6	-15,3	14,93		1,60	3,5	0,41
juli	1	3,65	36,5	32,8	0,4	-12,7	13,4		1,10	3,29	0,30
	2	3,42	34,2	30,8	42,3	+33,3	17,7		1,53	3,08	0,45
	3	3,38	37,2	33,5	43,0	+26,3	20,8		2,88	3,04	0,85
aug.	1	3,34	33,4	30,0	26,9	-12,7	19,21		3,22	3,01	0,9
	2	3,3	33,0	29,7	20,8	-7,7	18,25		2,64	2,97	0,8
	3	3,0	33,0	29,7	6,7	-17,7	16,05		2,04	2,70	0,68
sept.	1	2,7	27,0	24,3	24,5	+3,0	17,05		1,82	2,43	0,675
	2	2,4	24,0	21,6	48,6	+29,0	20,67		3,6	2,16	
	3	1,93	19,3	17,3	3,8				2,79	1,74	
okt	1	1,47	14,7	13,2	11,6					1,32	
	2	1,0	10,0	9,0	0					0,9	
	3	0,8	8,8	7,9	52,6					0,72	

\sum_{0}^{30} = Atmosferische verdamping
 \sum_{0}^{10} = Neerslag
 $\sum_{0}^{0,9 E_0}$ = Vochtgehalte in de laag van 0 - 30 cm onder maaiveld
 \sum_{0}^{f} = Merkelijke verdamping onder beperking van het vochtgehalte
 $\sum_{0}^{N-0,9 E_0}$ = Merkelijke verdamping
 V_{0-30} = Reductiefactor voor de atmosferische verdamping

LITERATUUR

- BLOEMEN, G.W. 1959^a - Het onderzoek naar de waterbalans van landbouwgronden
1959^b - De waterbalans van een zavelgrond, afgeleid uit grondwaterstandsgegevens. I.C.W. Werkgroep Delta-gebied nota no. 26
1963 - The graphical representation of the relation between real evapotranspiration and open water evaporation or moisture condition of the soil. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Nota no. 213
- KRAMER, C. 1957 - Berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping voor verschillende delen van Nederland volgens de methode van PENMAN. K.N.M.I. Mededelingen en Verhandelingen no. 70
- PEERLKAMP, P.K. 1959 en later - Verdampingsmetingen volgens de methode van de waterbalans op vier proefvakken (elk 25 x 25 m²) van het drainage-lysimeterveld in de Rottegatpolder. Werkcommissie voor verdampingsonderzoek, 12e tot en met 15e jaarverslag
- VALKEN, K.F. 1960 - Het gebruik van verdampingscijfers. Commissie voor Hydrologisch onderzoek T.N.O., verslagen en mededelingen no. 4
- VISSER, J.C. en G.W. BLOEMEN, 1958 - The waterbalance as a basis for irrigation research. In: Report of the Conference on Supplemental Irrigation. Copenhagen 1958:35
en G.W. BLOEMEN, 1959 - The moisture flow technique for determining the waterbalance. In: Colloque de Hannoversch-Münden. Un. Geod. et Geophys. Intern: 128
en G.W. BLOEMEN, 1960 - De berekening van de verdamping uit de waterbalans. Commissie voor Hydrologisch onderzoek T.N.O. Verslagen en Mededelingen no. 4
1960 - De bepaling van de grootte van de verdamping en andere posten op de waterbalans van de gronden in de Rottegatpolder door het statistisch onderzoek van grondwaterstandsgegevens. Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek 13e jaarverslag
1964 - Moisture requirements of crops and rate of moisture depletion of the soil. Institute for Land and Watermanagement research. Technical Bulletin 32
en G.W. BLOEMEN, 1965 - De bepaling van de grootte van de verdamping en andere posten op de waterbalans van de gronden in de Rottegatpolder door het statistisch onderzoek van grondwaterstandsgegevens. Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek, 15e jaarverslag.

Er zijn methoden ontwikkeld waarvan verwacht wordt dat er nauwkeurige verdampingswaarden mee kunnen worden berekend uit bodemfysische, plantenfysiologische en meteorologische gegevens. Deze methoden zijn misschien belangwekkender doordat zij een verklaring van het verschijnsel van de verdamping geven dan doordat de praktische mogelijkheden ervan zo groot zijn. Als regel zal de berekening van de verdamping voor een willekeurige plek bemoeilijkt worden doordat vele gegevens ontbreken, die bekend zouden moeten zijn.

Het is daarom van belang dat er een mogelijkheid bestaat om weliswaar op een minder wetenschappelijke basis de verdamping te berekenen, maar dat hierbij een minimum aan gegevens nodig is, terwijl de berekening gemakkelijk uitvoerbaar is. Dat de uitkomsten slechts een aanvaardbare nauwkeurigheid zullen hebben wanneer ze voor perioden van tien dagen of twee weken worden gegeven, is geen groot nadeel in het kader van de hydrologische problematiek, waarbij deze methode kan worden gebruikt.

De betekenis van de hier beschreven berekeningsmethode is dat in beginsel iedere grondwaterstandsbuis verandert in een lysimeter, ongeacht of de metingen al lang geleden zijn gestaakt of nog lopen. Aangezien cijfers over regenval en atmosferische verdamping gemakkelijk verkrijgbaar zijn, is de enige aanvulling op grondwaterstandsgegevens, die dan nodig is, een pF-bemonstering van het profiel ter plaatse.

fig. 1

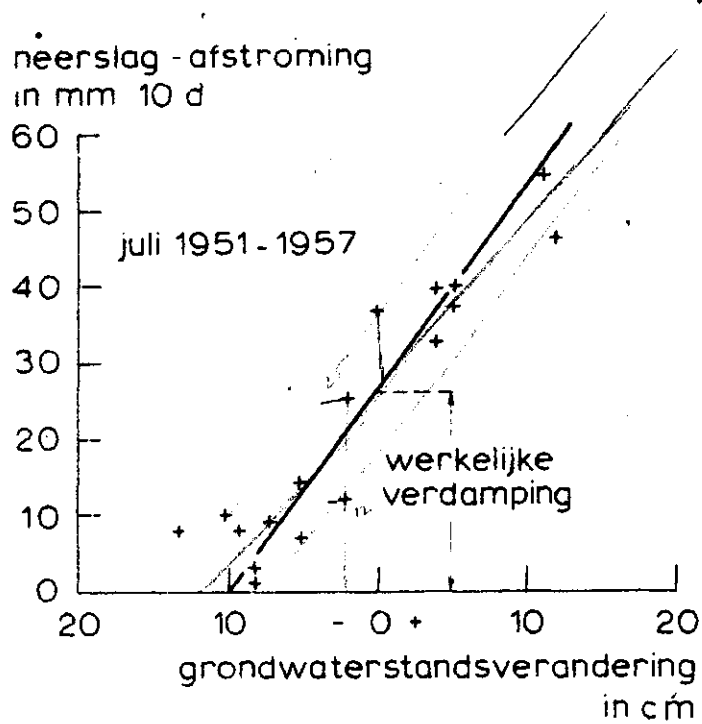


Fig. 1. Het gemiddeld bedrag van de werkelijke verdamping in juli wordt geschat door de samenhang te bepalen tussen de niet afgestroomde neerslaghoeveelheden en de grondwaterstandsverandering per periode

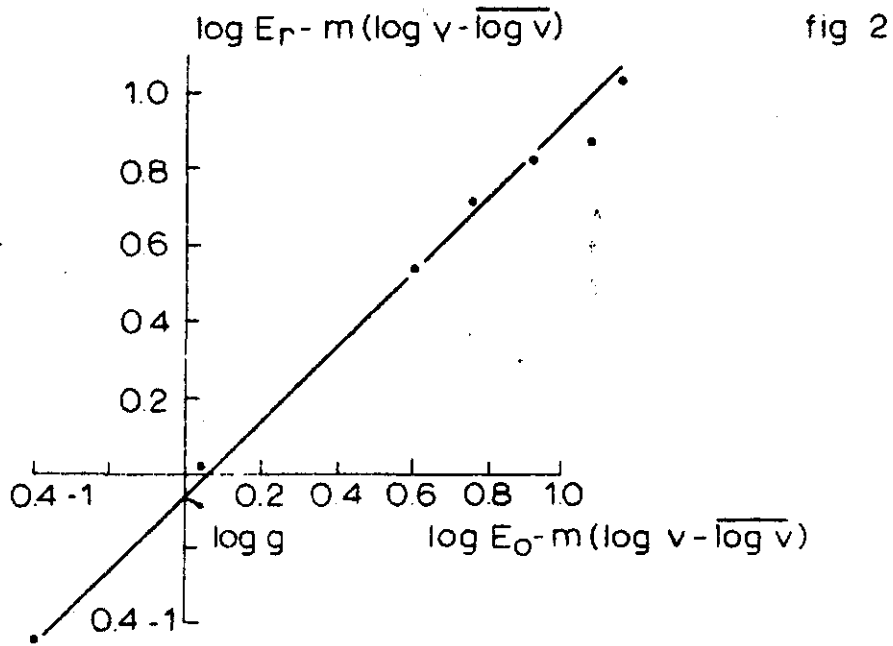


Fig. 2. $g = \pm 0,9$

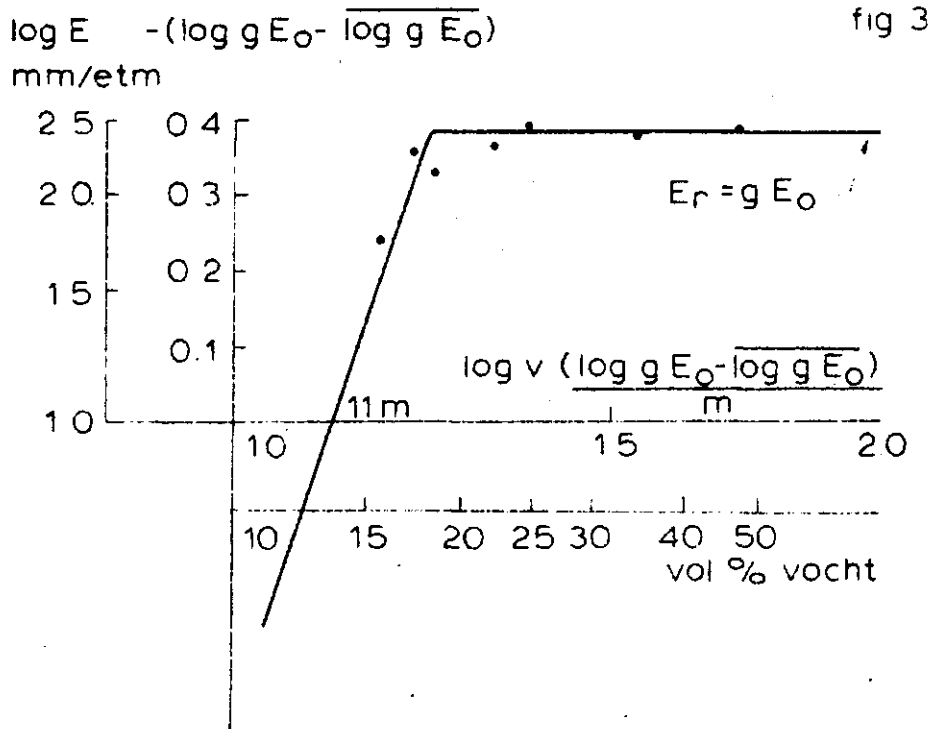


Fig. 3. Het aantal gegevens laat niet toe dat voor de hellende, asymptoot de hellingshoek m duidelijk wordt vastgesteld

fig. 4

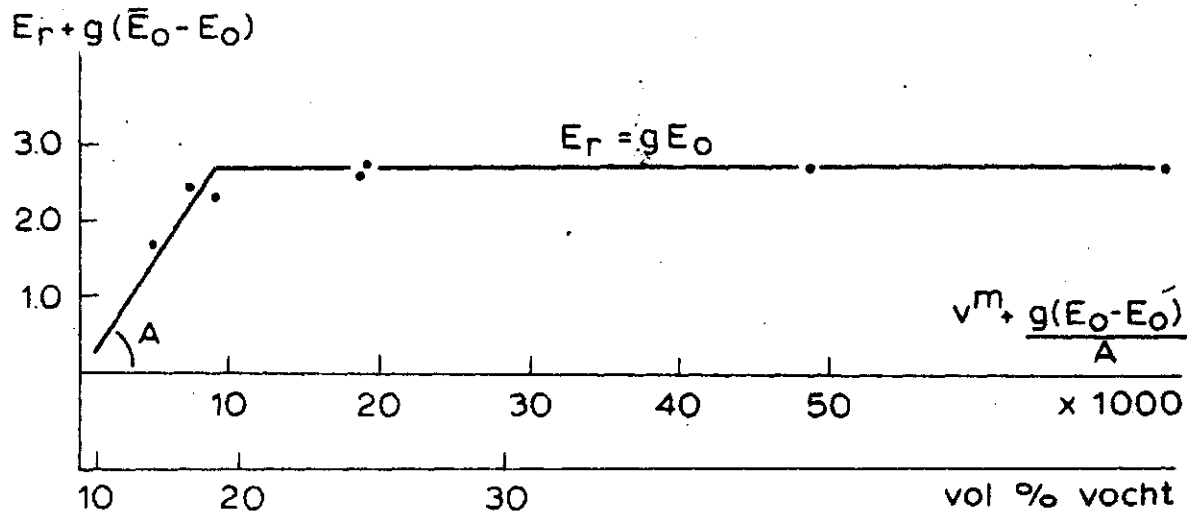


Fig. 4. De combinatie van $m = 3,1$ en $A = 300$ levert de hellende asymptoot op die het beste bij de punten is aangepast

fig. 5

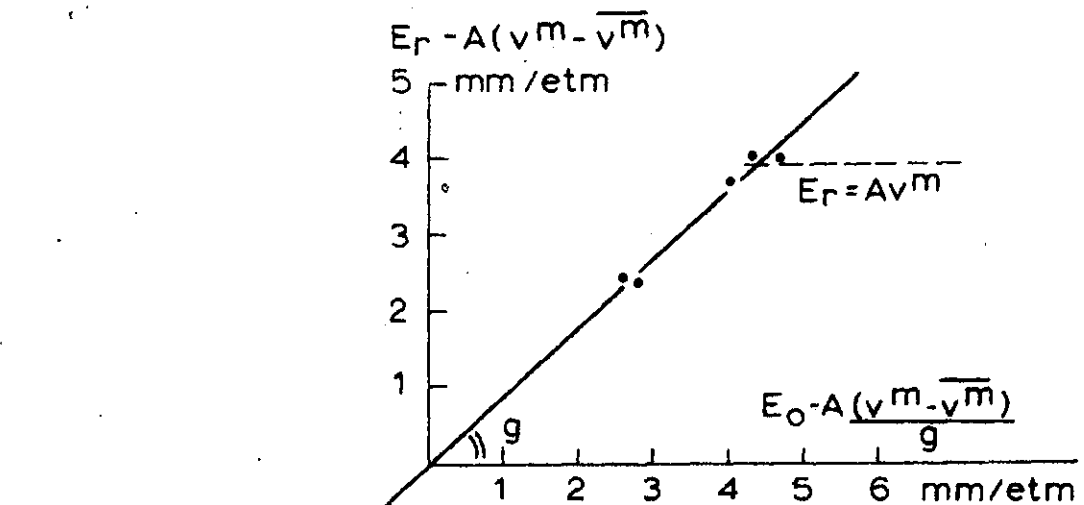


Fig. 5. $g = \pm 0,9$

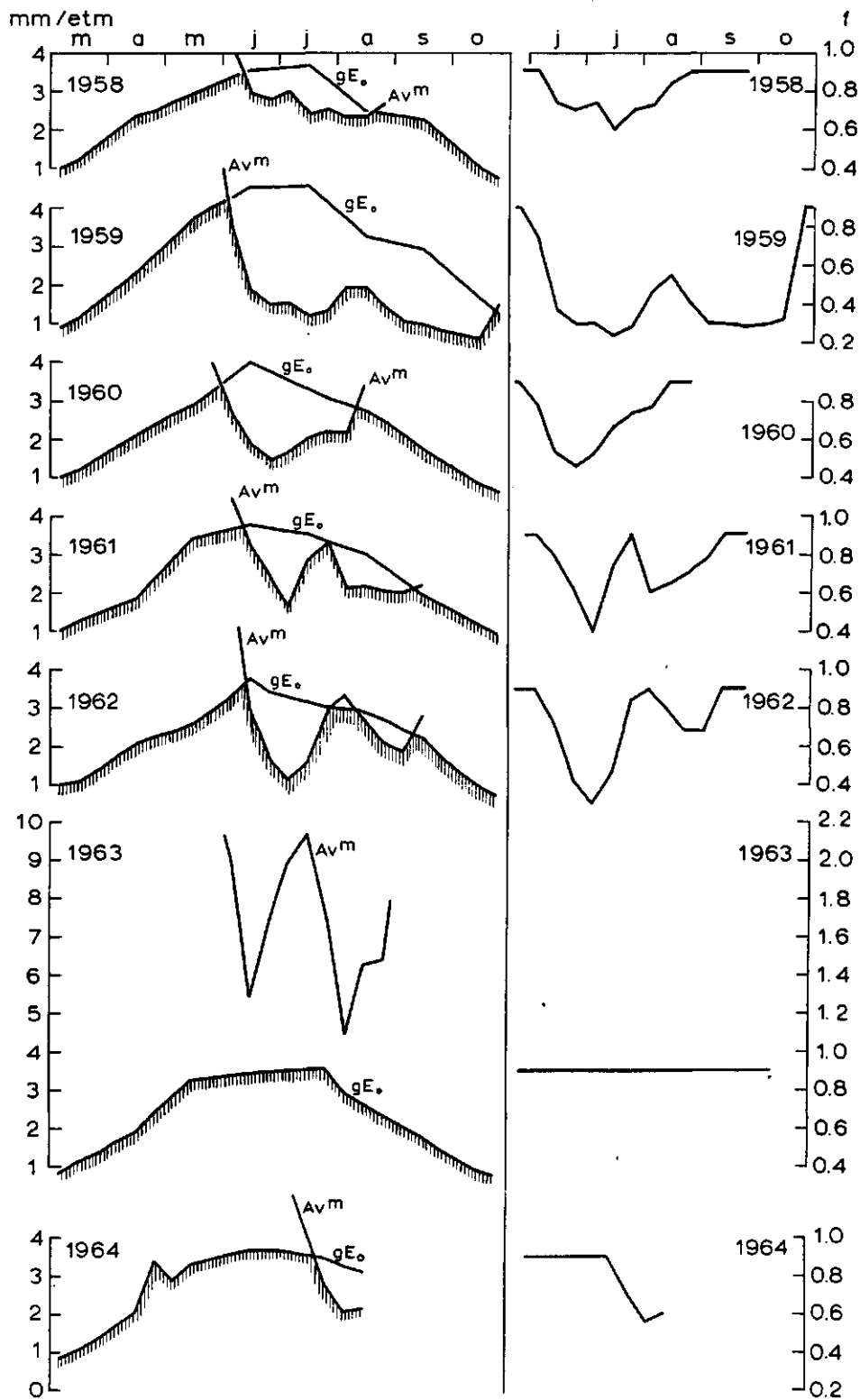


Fig. 6. Het beloop van de werkelijke verdamping, berekend als laagste waarde van de verdamping onder beperking van het verdampend vermogen van de atmosfeer ($=gE_o$) en van de verdamping onder beperking van het vochtgehalte ($=A_v^m$). Daarnaast is het beloop van de reductiefactor voor de open waterverdamping ($=f$) weergegeven

fig. 7

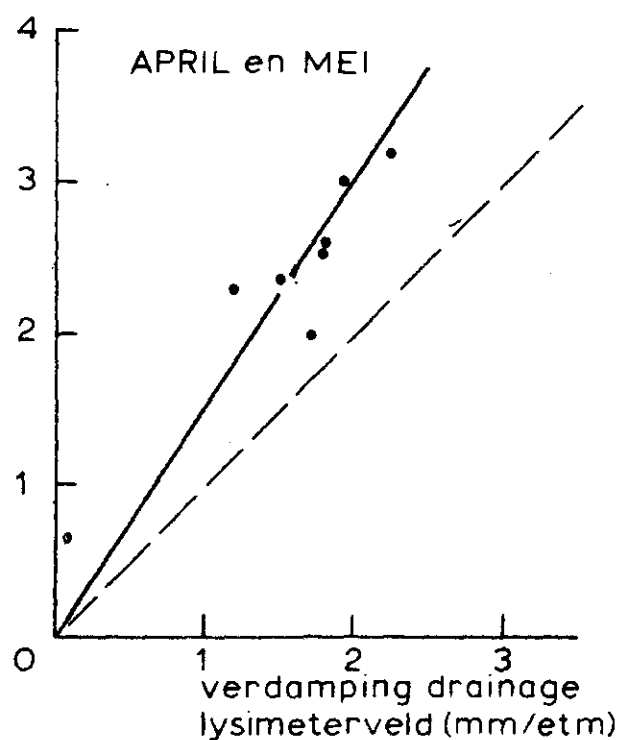
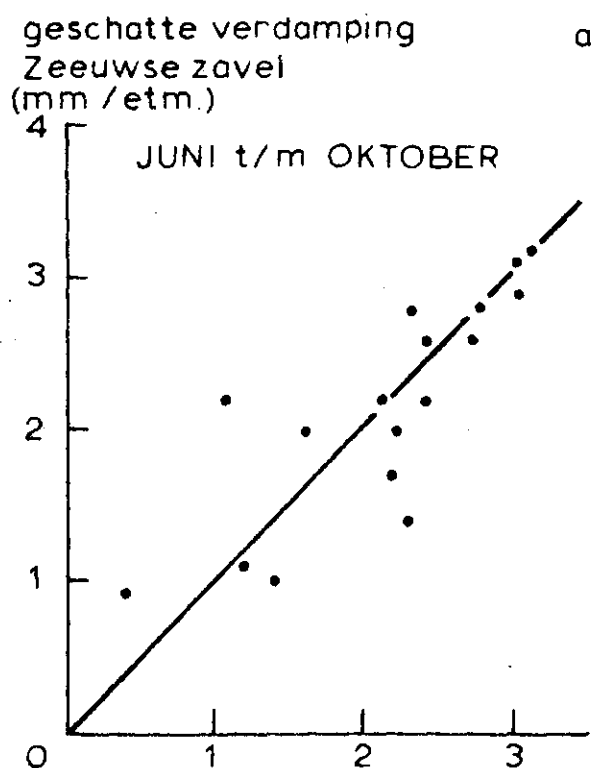


Fig. 7a en 7b. Vergelijking tussen de verdamping van het drainage-lysimeterveld in de Rottegatpolder en de geschatte verdamping voor de Zeeuwse zavel voor de jaren 1958 tot en met 1962 voor de maanden juni tot en met september in fig. 7a en april-mei in fig. 7b

641391,37