

# BEPALING VAN DE WATERBEHOEFTE VAN DE GEWASSEN

Ir. W. C. VISSER

## SUMMARY

### THE CALCULATION OF THE WATER REQUIREMENT OF CROPS

The frequency of the probability in which an evaporation or rain surplus occurs, has been computed for various periods of the year. In connection herewith the quantity of water for supplementary irrigation can be calculated, as is shown in some examples. An impression of the water requirement can also be obtained from the effect of decreasing moisture content of the soil profile on the evaporation in rainless periods.

It appears that these two methods of calculation of the water requirement agree very well.

## INLEIDING

De hoeveelheid water die de gewassen per etmaal of per seizoen verdampen, wisselt van dag tot dag en van jaar tot jaar. De bepaling van de waterbehoefte van de gewassen is ingewikkeld, omdat deze grootte van veel factoren afhangt. Zou men de behoefte bepalen door b.v. gedurende een aantal jaren vast te stellen hoeveel met kunstmatige beregening wordt verstrekt, dan blijkt bij even nadenken reeds welke variaties kunnen optreden. Begint men b.v. wat later te beregenen dan het tijdstip, waarop de verdamping de regenval gaat overtreffen, dan ontstaat er door de onttrekking van water aan de grond een inhaalbehoefte, die in latere droge perioden de eisen van vochtaanvoer verzwaart. In de herfst, wanneer de regen de verdamping weer gaat overtreffen, vindt deze inhaalbehoefte zijn tegenhanger niet in een besparing op de laatste ronde van beregening. De meeste gewassen hebben dan het veld reeds geruimd en het beregenen is dan reeds beëindigd. De hoeveelheid water die verdampt in de vier groeimaanden zal dan in principe in minder dan vier maanden moeten worden aangevoerd. De behoefte wordt daardoor schijnbaar groter. Deze reductie van het aantal maanden van wateraanvoer hangt af van de snelheid, waarmee de praktijk met het geven van water op de zich ontwikkelende droogte reageert.

Er zijn van dergelijke invloeden op de dagaanvoer of de waterbehoefte per seizoen vele te noemen. Wie bij beregening te veel water geeft, verliest een deel naar de ondergrond. Wanneer het gewas te weinig water krijgt, sluit het de huidmondjes en vermindert zijn afgifte van vocht aan de atmosfeer. Het zal dan tevens wat minder gaan opbrengen, maar kleine verschillen in opbrengst merkt men vaak niet. Men kan dan voor zijn gevoel met minder wateraanvoer toe dan wanneer steeds voor volop water werd gezorgd. Onkruid verdampt ook water en wie in tijden, dat een deel van de gewassen water nodig heeft, de op dat moment niet beteelde percelen of de percelen, waar het gewas de grond nog niet geheel bedekt, niet voldoende onkruidvrij houdt, vergroot zijn waterbehoefte. Wij willen in de volgende beschouwing niet op al deze praktische zaken ingaan, maar ons afvragen hoe men tot een indruk van de waterbehoefte van een de grond normaal bedekkend gewas kan komen.

Er worden thans in Nederland twee wegen gevolgd om hieromtrent een inzicht te krijgen. De ene methode onderzoekt vooral de invloed van de variatie in regen en verdamping in opeenvolgende dagen op de vochtvoorraad. Dit zijn vooral *frequentiestudies*.

De andere methode bepaalt zich tot het onderzoeken van de verdamping gedurende een of enkele dagen en richt zich op de factoren, die deze grootte van de verdamping kunnen verklaren. Dit is vooral *fysisch en plantkundig onderzoek*.

Het valt op, dat het frequentie-onderzoek zich weinig bezig houdt met de fysische invloeden van grond en gewas, terwijl de onderzoekers die de invloed van grond en gewas bestuderen, zich met het frequentie-onderzoek weinig bezig houden. In werkelijkheid zijn beide studies nodig en steunen ze elkander. In het volgende willen wij van beide studierichtingen iets laten zien van hetgeen voor Limburg werd onderzocht, terwijl tevens zal worden aangetoond, dat deze beide studierichtingen elkander reeds bevredigend aanvullen.

#### HET ONDERZOEK NAAR DE FREQUENTIEVERDELING VAN DE WAARDEN VOOR DE WATER-BEHOEFTE

Bij het onderzoek naar de waterbehoefte, voor zoverre dit uit regen- en verdampingscijfers kan worden afgeleid, dient men op enkele punten te letten, die men wellicht geneigd zou zijn over het hoofd te zien. Allereerst is de verdamping zelf een grootheid, die nogal aan variaties onderhevig kan zijn. Op dezelfde dag zal een vochtige grond b.v. 4 mm verdampen, maar een droge grond maar 2 mm. De berekening loopt nu zo, dat men uit klimatologische gegevens de verdamping voor het vrije wateroppervlak berekent volgens een formule, die in Engeland door PENMAN is opgesteld en die in Nederland door verschillende onderzoekers is gecontroleerd en goed bevonden. Deze berekening geeft de grootte van de verdamping voor het vrije wateroppervlak, waar niets de verdamping belemmert. In het veld treden echter wel belemmeringen op. Ten behoeve van het Limburgse onderzoek worden nu drie graden van belemmering in de berekening opgenomen, waardoor de verdamping gereduceerd wordt tot 100, 85 en 70% van de berekende waarde. Welke factor zal moeten worden gebruikt, zal het tweede type van onderzoek moeten leren.

Een tweede punt van belang is, dat men naast de grootte van de waterbehoefte iets moet weten omtrent de veelvuldigheid van voorkomen van waterovermaat of -tekort van een zekere omvang. Op hete dagen kan een grote hoeveelheid water verdampen. Komt nu, zo moet men zich afvragen, een dergelijke sterke verdamping vaak voor. Zou dit eens per 100 jaren zijn, dan kan men geen maatregelen ertegen nemen, omdat dit te kostbaar wordt en te zelden profijt geeft. Zou deze verdamping eens per 5 jaren voorkomen, dan zou men wel mogen aannemen, dat een aanvoer tot dat bedrag wel voldoende meeropbrengst levert om voor een wateraanvoerproject als grondslag te kunnen worden aangenomen. Is de frequentie eens per 10 of 20 jaren, dan wordt het al of niet instellen van een plan op deze behoefte een zaak, waaraan zorgvuldig gerekend moet worden. Maar hiervoor is nodig, dat men voor elke maand van het groeiseizoen weet hoeveel kans er is op een verdamping, die een bekend bedrag boven of onder het gemiddelde ligt.

In werkelijkheid wordt dit onderzoek thans voor Limburg voor winter en zomer beide uitgevoerd, omdat al deze berekeningen elkander steunen en het bezwaar, dat wij over de verdampingscijfers over slechts 20 jaren beschikken, minder groot maken. Maar bovendien kan dit onderzoek ons ook nog wat over de afvoerbehoefte leren,

zowel voor de winter als voor de zomer. Dat dit evenzeer van groot belang is, mag hier wel de nadruk krijgen. Wanneer in de zomer de grond door wateraanvoer min of meer verzadigd is, kan een regenbui lang niet zo gemakkelijk worden opgenomen als op een droge grond het geval is. En omdat zomerregens heftiger zijn en ook over langere tijd meer water aanvoeren dan winterregens zou het wel eens kunnen zijn, dat met wateraanvoer in de zomer een waterafvoerprobleem ontstaat, even belangrijk als de waterafvoer in de winter.

De kans, dat er meer water zal verdampen dan met een bepaalde capaciteit van aanvoer overeenkomt, hangt nu af van de tijd van het jaar en het aantal dagen, dat men wil beschouwen. Dit aantal dagen zal voor een arme grond klein zijn. Een verdrogende grond kan in een paar weken al zijn water verliezen. Een grond daarentegen met een goed vochthoudend vermogen zal men volgens een tijdvak van een grotere lengte moeten beoordelen.

Neemt men een korte tijdvaklengte, dan zal een profiel een droge periode van die lengte wel kunnen opvangen. Neemt men de lengte van het tijdvak groot, dan zullen de nattere voor- en najaarsmaanden oorzaak zijn, dat over deze lange periode de droogte minder groot zal zijn. Voor elk profiel zal een tijdvaklengte bestaan, die voor dit profiel het gevaarlijkst is. Bij de bewerking van de cijfers zal men niet alleen over de kans op droogte, maar ook over deze gevaarlijkste tijdvaklengte geïnformeerd moeten worden.

In figuur 1 wordt voor de maand juni een beeld gegeven van de kans, dat in een tijdvaklengte als bij de kromme lijnen aangegeven, de regen de verdamping overtreft dan

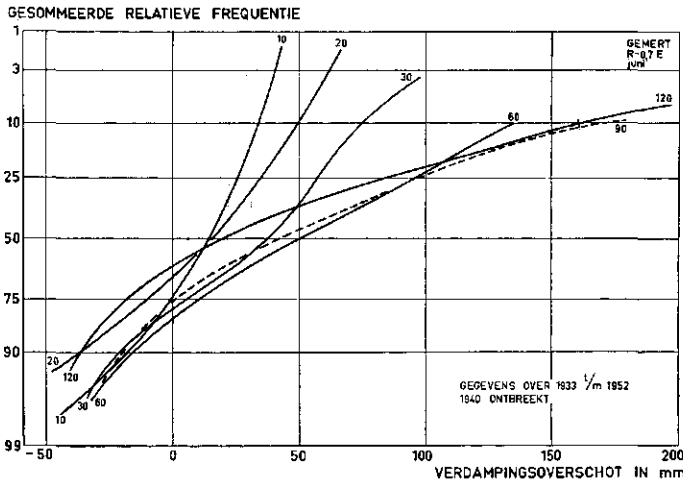


FIG. 1. VOOR TIJDVAKLENGTEN, VARIËRENDE VAN 10 TOT 120 DAGEN (getallen bij de einden van de kromme lijnen), WORDT DE KANS OP EEN ZEKER VERDAMPINGSOVERSCHOT GEGEVEN. MET EEN KANS VAN 10% - of eens per 10 jaar - ZAL IN 10 DAGEN MEER DAN 34 MM VOCHT MEER VERDAMPEN DAN DOOR REGEN WORDEN AANGEVOERD. GEDURENDE EEN TIJDVAK VAN 30 DAGEN ZAL HET VERDAMPINGSOVERSCHOT BIJ EENZELFDE KLEINE KANS VAN 10% MEER DAN 75 MM BEDRAGEN.

wel de verdamping de regen overtreft. Een tijdvaklengte van 90 dagen voor de maand juni heeft de betekenis van drie maanden, waarvan 1 juni de begindatum is. Figuur 1 wijst nu uit, dat eens per 30 jaren men een maand juni zal beleven met meer dan 100 mm overschot aan verdamping boven de regen. Gemiddeld echter overtreft de verdamping de regen maar met 35 mm, terwijl in 20 jaren slechts 1 jaar zal voorkomen met een regenoverschot van 30 mm.

Neemt men daarentegen het 120-daags tijdvak, dan komen er per 20 jaren 2 jaren voor met meer dan 170 mm vochttekort, gemiddeld zal het vochttekort 20 mm zijn, terwijl twee maal per 20 jaren 40 mm vochtvermaat zal optreden. Dat het gemiddeld vochttekort zo laag uitvalt, vindt zijn oorzaak daarin, dat de 120-daagse periode bij dit voorbeeld van 1 juni tot 1 oktober loopt en de septembermaand gemiddeld nogal wat water aanbrengt.

Het zal duidelijk zijn, dat men voor een goed inzicht deze curven voor een aantal zo niet alle maanden voor zich moet hebben liggen en dat dan voor andere reductiefactoren dan de hier gebruikte waarde van 0,7 ook de verhouding van kans op vochtvermaat en -tekort bekend zou moeten zijn.

Men kan uit figuur 1 reeds veel conclusies trekken. Wanneer men eens per 10 dagen 20 mm beregent, blijkt men in 30% van de jaren te weinig te geven. Geeft men alle 20 dagen 40 mm regen, dan is het nog maar in 20% van de jaren, dat de grond aan het eind van de 20 dagen minder water bevat dan aan het begin. De gunstiger kans vindt zijn oorzaak in de kans op regen. De hoeveelheid regen neemt over een langer tijdvak sneller toe dan de hoeveelheid verdamping, wanneer men zich beperkt tot de gevallen van watertekort, die eens per 5 jaren optreden. Wanneer men door blijft beregenen met 20 mm in 10 dagen, dan blijkt men bij een tijdvak van 60 dagen in 85% van de jaren voldoende te geven en bij 90 dagen in 90% van de jaren.

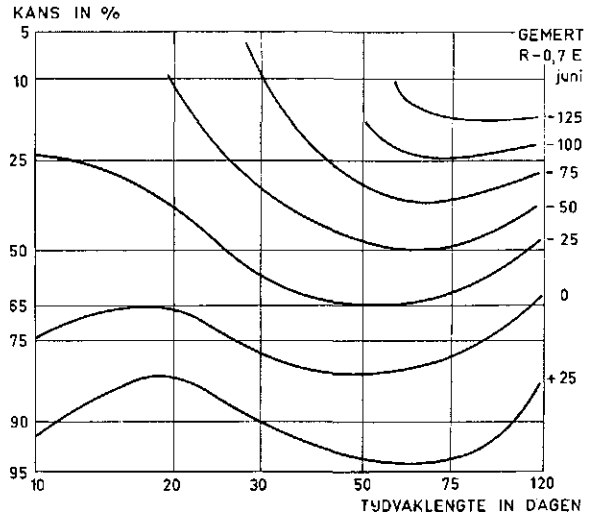
Het beregeningsregiem van 20 mm regen per 10 dagen is dus over het gehele groeiseizoen gerekend eens per 10 jaren onvoldoende. Maar gaat men na hoeveel water men meer zou moeten geven om 19 maal in 20 jaren veilig te zijn, dan gaat het om een extra te geven hoeveelheid water van 20 mm over korte tijdvakken, welke hoeveelheid voor tijdvakken van 100 dagen tot 60 mm groeit. Wanneer een goede grond deze hoeveelheid water nog leveren kan, dan blijkt dit beregeningsschema dus met een grote zekerheid het gewas voor droogte te kunnen behoeden.

Voor de lichtste gronden zouden deze regenhoeveelheden echter wat krap worden en zou men een berekening om de 8 dagen moeten kiezen. Zoals reeds opgemerkt, gelden deze uitspraken voor een reductiefactor van 0,7. Zou deze reductiefactor een grotere waarde blijken te bezitten, dan betekent dit, dat de zekerheid kleiner zou zijn.

Het beeld van de beregeningsfrequentie met zijn vier met elkander verstrengelde grootheden is ingewikkeld en getracht werd andere eigenschappen op te sporen door andere beelden van deze samenhang te ontwerpen.

In figuur 2 is getracht om voor profielen, waaraan men een zekere hoeveelheid water kan onttrekken, aan te geven hoe de kans op uitputting van de watervoorraad samenhangt met lengte van het tijdvak van de verdamping. Voor met 25 mm opklimmende

FIG. 2. VOOR MET 25 MM OPKLIM-  
MENDE VERDAMPINGSOVERSCHOTTEN  
- de getallen aan de einden van de  
kromme lijnen - WORDT AANGE-  
GEVEN, WELKE KANSEN EN TIJDVAK-  
LENGTEN SAMENHOREN.



verdampingsoverschotten is aangegeven, welke kansen en tijdvaklengten samen horen. Een profiel dat niet meer dan 25 mm beschikbaar kan stellen, heeft over 10 dagen 25% kans van uitputting van de vochtvoorraad. Over 50 dagen is deze kans met 65% het grootst. Voor 120 dagen loopt de kans weer terug tot minder dan 50%. Bij een profiel dat 100 mm water kan afstaan, is de ongunstigste tijdvaklengte 75 dagen en de kans op uitputting van de vochtvoorraad nog 25% of eens per 4 jaren.

In figuur 3 is de samenhang van een andere kant bekeken. Voor een aantal kansen is het verdampingsoverschot en de tijdvaklengte met elkander in verband gebracht.

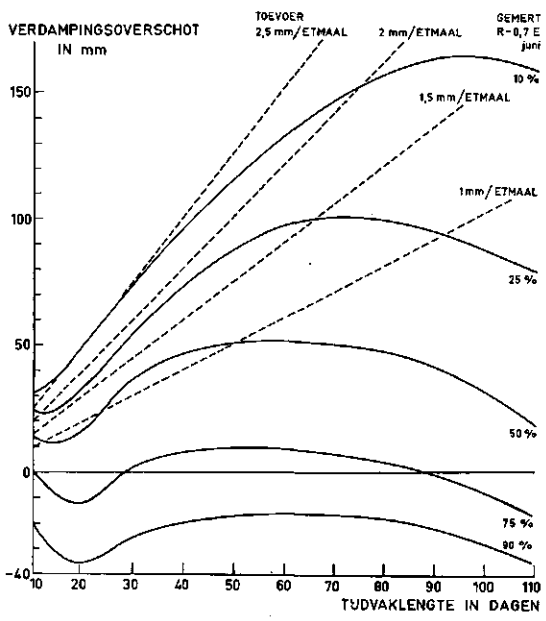


FIG. 3. VOOR EEN AANTAL KANSEN - de getallen aan het einde van de kromme lijnen geven de grootte aan - WORDT HET VERDAMPINGSOVERSCHOT EN DE TIJDVAKLENGTE MET ELKANDER IN VERBAND GEBRACHT. DE STIPPELLIJNEN GEVEN AAN, WAT DE INVLOED IS VAN EEN BEPAALDE TOEVOER VAN WATER OP HET VOCHTTKORT.

Tevens is de invloed aangegeven van een bepaalde toevoer van water op het vochttekort. Bij een tijdvaklengte van 60 dagen en een aanvoer van 2 mm/etmaal zal men in 10% van de jaren meer dan 10 mm vocht – de lengte afgemeten op de verticale as – tekort komen, maar neemt men de 25% droogste jaren, dan blijkt men tot 25 mm te veel aan water te hebben toegevoerd. Met een toevoer van 2,5 mm/etmaal kan men een zekerheid van 9 op 10 steeds halen. De aanvoer voor een groter gebied met een gemiddeld bodemprofiel zal zoals uit figuur 3 blijkt, eerder beneden de 2 mm/etmaal kunnen worden gekozen dan er boven, althans indien wij de waterverliezen door kwelstroming door de grond buiten beschouwing laten. Een watertoevoer van 1,5 mm/etmaal is nog mogelijk, indien bij uitputting van 40 mm beschikbaar water de verdamping nog op 0,7 maal de verdamping volgens PENMAN kan worden gehandhaafd.

Een hogere waarde van de reductiefactor zal ook hier weer de waarden voor de vereiste toevoer hoger doen uitvallen. De figuren zullen ook voor andere reductiefactoren worden uitgewerkt.

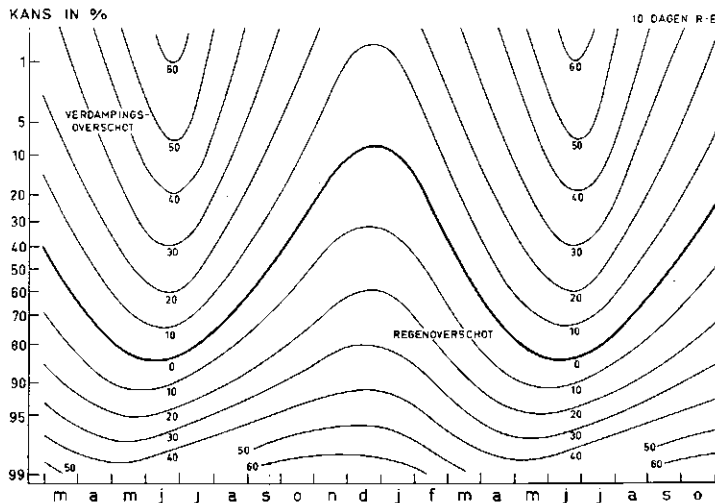


FIG. 4. DE KANS EN OP EEN VERDAMPINGS- OF EEN REGENOVERSCHOT VARIËREN IN DE LOOP VAN HET JAAR (een tijdvaklengte van 10 dagen en een reductiefactor 1). IN JUNI IS IN 85% VAN DE JAREN DE VERDAMPING STERKER DAN DE REGEN. MAAR SLECHTS IN 20% VAN DE JAREN IS DE VERDAMPING 40 MM GROTER. IN DECEMBER IS DE VERDAMPING SLECHTS IN 8% VAN DE JAREN GROTER DAN DE HOEVEELHEID REGEN.

Opgemerkt mag worden, dat dezelfde figuren ook voor de afvoer een inzicht kunnen geven en dat het voortzetten van de studie naar beide richtingen een waardevolle vermeerdering van ons inzicht zal kunnen geven.

Een indruk van de kansen op een overschot van regen of verdamping over 10 dagen geeft figuur 4 voor een reductiefactor gelijk 1,0, maar nu voor de opeenvolgende maanden van het jaar. De lijn voor gelijke hoeveelheden regen en verdamping, waarbij er dus geen overschot is, toont aan, dat half maart en half september de grensdata

zijn, die voor het gemiddelde jaar de periode van regenoverschot afgrenzen van die met een verdampingsoverschot. Het gemiddeld grootste verdampingsoverschot over 10 dagen valt half juni en bedraagt 25 mm per 10 dagen. Het gemiddeld grootste regenoverschot valt half december en bedraagt 15 mm per 10 dagen. Eens per 10 jaren bedragen deze overschotten echter onderscheidenlijk 47 mm en 38 mm, waarbij het hoogtepunt voor de verdamping een maand later, voor de regen een halve maand eerder valt.

Met dit overzicht zijn de drie belangrijke kenmerken van de vochtbehoefte uit de cijfers afgeleid, te weten:

- *de waterbehoefte over het gehele seizoen,*
- *de gemiddelde dagaanvoer,*
- *de verdeling van de waterbehoefte over het seizoen.*

Over de zeer belangrijke waarden voor de voor de plant beschikbare hoeveelheid water in het profiel en de reductiefactor voor de verdampingscijfers volgens PENMAN werd geen uitspraak gedaan. In de volgende beschouwing willen wij laten zien wat daarover bij de huidige stand van kennis te zeggen valt.

#### VOCHTVOORZIENING DOOR DE GROND

Uit de voorgaande beschouwing bleek dat de betekenis van de bewerking van de klimatologische gegevens in sterke mate beperkt wordt door onze gebrekkige kennis van de reductiefactor, die de berekende verdamping voor open water volgens PENMAN omzet in de waarde van de werkelijke verdamping, die aan velerlei beperkingen onderhevig kan zijn. Recent oriënterend onderzoek naar de invloed van de klimaatfactoren op de waterbalans en de grondwaterstand gaf als zeer voorlopige indruk aan, dat onder bepaalde, sterke verdroging in de hand werkende, omstandigheden de reductiefactor tot veel lagere waarden kan dalen dan men op grond van de aanwijzingen van PENMAN veelal aannam. Aan dit onderzoek wordt nog met kracht gewerkt en verklaringen, die dit voorlopige resultaat in een ander licht stellen, dienen nog te worden onderzocht alvorens de genoemde geringe verdamping als een betrouwbaar resultaat mag worden aangemerkt.

Aangezien deze zeer beperkte verdamping zou kunnen wijzen op aanzienlijke produktiemogelijkheden die door een tekort aan water niet kunnen worden uitgebuit, is het van belang ook op een geheel andere wijze de verdampingsreductie te berekenen. Het is bekend dat uit een droge grond minder water verdampt dan uit een vochtiger grond.

De figuren 5 en 6, ontleend resp. aan MAKKINK (1956) en WIND (1955), geven voorbeelden van de vermindering van de verdamping met toenemende droogtegraad van de grond. Bij grond die zo droog is dat het gewas verwelkt, is de verdamping tot zeer geringe waarde gedaald. De vraag is nu echter, wanneer deze sterke uitdroging zal optreden.

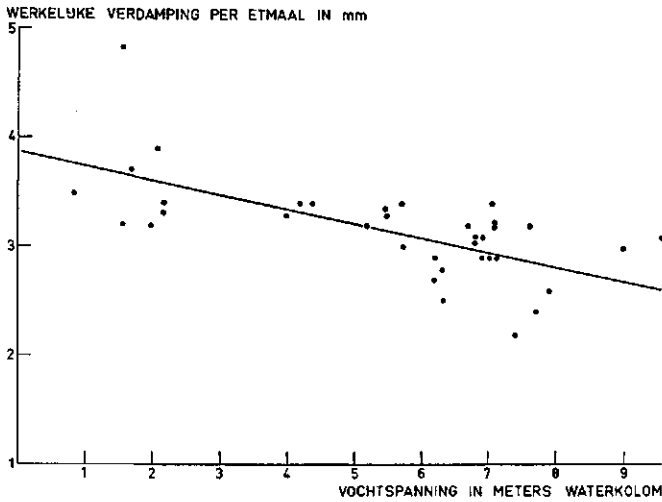


FIG. 5. VERBAND TUSSEN WERKELIJKE VERDAMPING EN VOCHTSPANNING (volgens MAKKINK).

De mate van uitdroging in de wortelzone is in de laatste jaren binnen de mogelijkheid van berekening gekomen. Baanbrekend werk deden in dit opzicht WESSELING (1957) en WIND (1955). Hierbij is het nodig de samenhang tussen de vochtspanning en de uitdroging te kennen. Deze samenhang nu is vooral door SCHOTHORST op fraaie wijze uit alle beschikbare gegevens over de vochtspanning en de daarbij behorende vochtgehalten afgeleid, zodat voor het deel van Limburg, waarvoor de wateraanvoer van belang is, een betrouwbaar punt van uitgang aanwezig is.

Als tweede gegeven is het nodig de samenhang tussen de droogtegraad van de grond en de verdamping te kennen, zoals die door MAKKINK en WIND voor het centrum van ons land werd vastgesteld. Hierover is voor Limburg niets bekend, maar het lijkt mogelijk met veronderstellingen hieromtrent toch tot een zekere benadering van het voor Limburg geldende verband te komen.

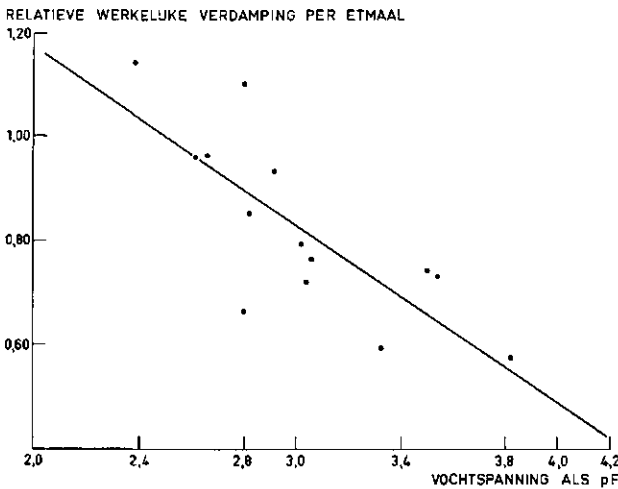


FIG. 6. VERBAND TUSSEN RELATIEVE VERDAMPING EN VOCHTSPANNING ALS pF (volgens WIND).



Als derde gegeven dient de diepte van het grondwater of voor een toekomstig project de meest gewenste ontwateringsdiepte bekend te zijn. Het onderzoek ten behoeve van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland, levert hiervoor een betrouwbaar uitgangspunt.

Tenslotte moet men van de bovenste lagen van het profiel enkele fysische grootheden zoals de *capillaire doorlatendheid* kennen.

Hieraan is helaas nog te weinig gedaan en het is de vraag of men met veronderstellingen op dit gebied wel voldoende dicht bij de waarheid zal kunnen komen.

Dit samenstel van onderzoeken beoogt een indruk te bieden van de wijze, waarop de uitdroging van een profiel met verloop van de tijd toeneemt, wanneer geen regen valt, maar de verdamping afneemt met toenemen van de verdrogingsgraad. Dit type van berekening is nog in een eerste stadium van ontwikkeling en het is nog niet zeker of deze berekeningen zich voldoende bij de werkelijkheid van onregelmatige stand van de gewassen, stagnerende vochtstromen tengevolge van minder goed doorlatende lagen in het profiel enz. zullen aansluiten. Hoe het ter beschikking komen van vocht bij uitdroging ongeveer verloopt, mag uit onderstaande tabel blijken.

TABEL 1

Hoogte boven grondwater (in cm)	Ter beschikking komend vocht bij E = 0 (in mm)	Ter beschikking komend vocht bij capillair transport van E mm ten opzichte van E = 0 (in mm)						Uitdrogingsgraad per laag bij transport van E mm vocht (pF-waarde)						
		3						4						
		E = 0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	E = 0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	
150	21,3	26,2						2,7						
140	19,9	24,5						2,5						
130	18,5	22,9						2,4						
120	17,0	21,1	35,1					2,3	5,0					
110	15,6	19,3	29,9					2,2	3,3					
100	14,2	17,4	25,1					2,1	2,5					
90	12,8	15,5	21,1					2,1	2,3					
80	11,4	13,6	17,4	30,5				2,0	2,2	4,4				
70	9,9	10,6	14,0	20,9				1,9	2,0	2,4				
60	8,5	9,7	11,1	14,9	30,5			1,8	1,9	2,1	5,0			
50	7,1	7,8	8,6	10,4	17,7	29,3		1,7	1,8	1,9	2,4	5,0		
40	5,7	6,1	6,5	7,3	9,6	14,6	24,1	1,6	1,6	1,7	1,9	2,3	5,0	
30	4,3	4,5	4,7	4,9	5,4	6,2	7,6	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	
20	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,1	3,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	
10	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							

De eerste kolom geeft aan op welke hoogte boven de grondwaterspiegel de hoeveelheid ter beschikking komend vocht in de volgende kolommen werd berekend. De tweede kolom geeft aan welke vochthoeveelheid uit de opeenvolgende lagen zakt, zonder dat verdamping optreedt. Dit wordt aangegeven door E = de verdamping = 0. De derde kolom geeft aan hoeveel vocht het profiel laag voor laag moet verliezen om in de opeenvolgende lagen voldoende zuigkracht te ontwikkelen om een stroom water

van E mm per etmaal vanuit het grondwater naar de plantewortels te vervoeren. De droge grond toch trekt water aan uit de onderliggende vochtiger laag en die weer uit de onderliggende nog vochtiger laag enz. De grootte van de verschillen in vochtigheid bepaalt nu hoe sterk de stroom zal zijn. Om 4 mm te transporteren geeft de berekening aan, dat de verschillen zoveel groter zijn dan voor een transport van 0,2 mm/etmaal, dat er in het eerste geval op 40 cm boven het grondwater reeds zo weinig vocht meer over is, dat de volgende laag van 10 cm zijn 4 mm niet meer kan aantrekken. Het verschil met de volkomen droge grond zou niet meer voldoende zijn om het verschil in zuigkracht te leveren, dat voor het transport van 4 mm nodig zou zijn. Voor een transport van 0,2 mm is men op 1,50 m boven de grondwaterspiegel aan ongeveer eenzelfde laag vochtgehalte genaderd. Maar om 0,2 mm/etmaal te verplaatsen is veel minder verschil in zuigkracht nodig en deze stroom water zou nog wel tot 1,80 m boven het grondwatervlak in stand gehouden kunnen worden. De kolommen onder 4 geven tenslotte de uitdrogingsgraad van de lagen door middel van een pF-cijfer aan. Al deze cijfers zijn berekend voor een gemiddelde Limburgse ondergrond met 6% slib en 1,5% humus.

Wil men nu de totale hoeveelheid vocht kennen, die door daling van de grondwaterspiegel en door het ontstaan van een zuigkrachtverval voor het opstuwen van een zekere capillaire waterstroom voor de plant beschikbaar komt, dan gaat dit als volgt.

Eerst dient de waterstand aan begin en eind van de groeiperiode, die men in de berekening wil betrekken, te worden vastgesteld. Bij wijze van voorbeeld worden voor de zes gevallen van capillaire nalevering de waarden genomen, die tabel 2 aangeeft.

TABEL 2

E (in mm)	Zomerstand (in cm)	Winterstand (in cm)	Zomervocht (in mm)	Wintervocht (in mm)	Beschikbaar vocht in mm door waterstands- daling	Beschikbaar volgens tabel 1 in mm door uitdroging	Beschikbaar uit cap. opstijging in mm
1	2	3	4	5	6	7	8
0,2	150	140	21,3	19,9	20,6	203,5	20
0,5	120	80	17,0	11,4	56,8	177,8	50
1,0	80	0	11,4	0,0	45,6	93,2	100
2,0	60	0	8,5	0,0	25,5	67,6	200
3,0	50	0	7,1	0,0	17,7	54,6	300
4,0	40	0	5,7	0,0	11,4	36,4	400

De hoeveelheid water die voorkomt door daling van het grondwater over 30 cm berekent men als:

$$300 \times \frac{\text{zomervochtgehalte maaiveld} + \text{wintervochtgehalte maaiveld}}{2 \times 100}$$

aangevende, dat het gemiddelde vochtgehalte van het maaiveld bij hoge en lage waterstand met de daling van de waterstand wordt vermenigvuldigd. De daling werd gelijk genomen aan de hoogte, waarover de hoeveelheid vocht E capillair maximaal kan worden opgevoerd.

De hoeveelheid water die de indroging levert, welke het capillaire transport mogelijk maakt, vindt men door de vochtgehalten in kolommen 3 van tabel 1 vanaf de waterhoogte nul boven het grondwatervlak tot aan de gewenste waterdiepte beneden het maaiveld samen te tellen. In tabel 2 werd als zomerwaterstand de grootste hoogte genomen tot waar de capillaire waterstroom van de sterkte E kan worden opgevoerd, zodat alle getallen uit de kolommen 3 verticaal moesten worden opgeteld. De hoeveelheid water, die uit de uitdroging volgt, vindt men in tabel 2, kolom 7.

Tenslotte voert de capillaire opstijging nog vocht aan. Neemt men de groeiperiode met volledige verdampingscapaciteit op 100 dagen, dan wordt 100 E mm vocht aangevoerd, die men in kolom 8 van tabel 2 vindt weergegeven.

In het uitgangspunt zit blijkbaar de kleine tekortkoming, dat de grootte, die de capillaire stijghoogte voor kleine stroomsnelheden beheerst, wat te groot is geworden, waardoor voor  $E = 0,2$  en  $0,5$  de waarden in kolom 7 ook wat te groot werden. Omtrent dit aspect van het capillair geleidingsvermogen begint het onderzoek pas zeer recent enige voortgang te maken, zodat hier nog tastende een weg wordt gezocht.

Hoe voorlopig de resultaten van deze nieuwe ontwikkeling in het vochtonderzoek ook mogen zijn, wanneer wij het met de resultaten van het onderzoek naar de frequentieverdeling van regen en verdamping (met dat naar de gedragingen van het bodemvocht) in verband brengen, dan ontstaat toch reeds een goed sluitend geheel.

Bij een capillaire nalevering uit het grondwater van 1 mm is bij een zomerwaterstand van 0,80 m onder maaiveld en een winterwaterstand van 0,00 m diepte uit de grond voor de plant  $45,6 + 93,2 = 138,8$  mm aanwezig. Wanneer men de berekening nauwkeurig uitvoert en er rekening mee houdt, dat de verdamping in tabel 2 kolom 8 moet overeenkomen met de hoeveelheid vocht, die beschikbaar komt door een waterstandsval gelijk aan het verschil tussen de zomer- en winterwaterstand en de uitdroging van het profiel, dan kan men uit tabel 1 afleiden, dat bij een nalevering uit het grondwater van 1,2 mm/etmaal een zomerstand van 0,70 m en een winterstand van 0,00 m beneden maaiveld genomen kan worden. Bij deze combinatie van waarden klopt de nalevering met de peilsverlaging. De totale hoeveelheid beschikbaar water, die zo vrij komt, bedraagt 120 mm of 1,2 mm per dag, nl.  $\pm 40$  mm uit de waterstandsval, die door de capillaire opstijging de plant toevloet en 80 mm uit de indroging, overeenkomende met de getallen in kolom 7.

Wanneer men nu nog de verdamping compenseert met een hoeveelheid water, die volgens figuur 3 op 2 mm/etmaal wordt gesteld, dan heeft men gedurende 3 van de 4 jaren met 3,2 mm etmaal voldoende water ter beschikking voor een wateropname door de plant, die overeenkomt met een vochtspanning volgens figuur 5 van 5 meter en volgens figuur 6 van pF 3,2. Zoekt men dit in tabel 1, kolom 4 op, dan komt deze verdamping overeen met een capillaire opvoerhoogte van  $\pm 70$  cm, vrijwel dezelfde waarde als in tabel 2, kolom 2 en 3 voor 1,2 mm capillaire opstijging moest worden aangenomen. In de enkele jaren met een sterkere verdamping zal men meer water moeten toevoeren, ofwel een iets sterker beperkte verdamping moeten toelaten. De conclusie lijkt dan ook gewettigd, dat de behoefte aan aanvoer van vocht, berekend

uit de klimatologische gegevens, overeenkomt met die uit de bodemkundige gegevens. Het nog maar in beperkte mate beschikbare inzicht in de reacties van het gewas op verdamping, vochtvoorraad en vochtaanvoer kan reeds grondslag voor een berekening zijn, die met deze resultaten blijkt de pF-waarden in tabel 1 en de lijnen in de figuren 5 en 6 vrijwel in overeenstemming is. Nu deze samenhang binnen het bereik van de berekening is gekomen, laat het zich voorzien, dat ook op het punt van de invloed van het gewas op de verdamping in de komende jaren voortgang zal worden gemaakt.

#### LITERATUUR

- MAKKINK, G. F. en H. D. J. VAN HEEMST (1956) – The actual evapotranspiration as a function of the potential evapotranspiration and the soil moisture tension. *Neth. J. Sc.* 4, 67–72.
- WESSELING, J. (1957) – Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen no. 63.5.
- WIND, G. P. (1955) – A field experiment concerning capillary rise of moisture in a heavy clay soil. *Neth. J. Agr. Sci.* 3, 60–69.