

CENTRAAL INSTITUUT VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK

Gestencilde Mededelingen

Jaargang 1951

nr 5

HET WATERVERBRUIK VAN GRASLAND

(III)

Drs G. F. Makkink

Inleiding.

Voor het Cilo te Wageningen wordt een lysimeter-installatie gebouwd, die zal dienen voor bepaling van het waterverbruik van grasland op veen-, klei- en zandgrond. Het is in het bijzonder de bedoeling, vast te stellen hoeveel extra water grasland verbruikt bij bepaalde landbouwkundige maatregelen, met name bij waterstandsverbetering, bij besproeiing, bij bemesting en bij verschillende frequentie van maaien.

Omdat het zich in 1949 liet aanzien, dat de bouw nog wel enige tijd op zich zou laten wachten en het dus nog langer zou duren dat de eerste resultaten zouden zijn verkregen, werd besloten een poging te wagen om langs een andere weg, n.l. rechtstreeks, het waterverbruik door weging vast te stellen. Daartoe werden uitgestoken graszoden gewogen. Deze hadden een oppervlakte van 25 x 25 cm<sup>2</sup> en een dikte van 10 cm en werden in een nauwsluitend ijzeren bakje gedaan. In een iets wijdere ijzeren bak, die tussen het gras was ingegraven, werden de zodenbakjes met hun gras op maai-veldhoogte, gedurende een uur te verdampen gezet en vóór en na deze expositie gewogen. Het gewichtsverlies is het waterverbruik per zode per uur. Elke zode werd slechts eenmaal gebruikt.

De bedenkingen, die tegen deze methodiek kunnen worden aangevoerd, zijn de volgende. Doordat een aantal wortels is doorgesneden, is de onderdruk in de houtvaten opgeheven en is de zuigspanning van het vocht in het gras geringer, waardoor de transpiratie toeneemt. Het vocht in de grond, waarvan de zuigspanning om dezelfde reden afneemt, komt voor de wortels bovendien gemakkelijker beschikbaar, waardoor de transpiratie nog sneller gaat. Hier-tegenover staat, dat de wortels aan het uitgestoken grondvolume slechts een beperkte hoeveelheid water kunnen onttrekken, zodat de aanvoer bij de transpiratie achterblijft, de hydratuur van het gras daalt, de huidmondjes nauwer worden en de transpiratie wordt verminderd.

Beide tegengestelde effecten doen zich in het bijzonder voor t droge grond en bij een sterk drogende atmosfeer, dus midden overdag. Beide mogelijkheden zullen elkaar althans gedeeltelijk te niet doen.

Bovendien is het theoretisch niet aannemelijk, dat de ophef-fing van de inwendige onderdruk van grote betekenis is. Wanneer de onderdruk van b.v. 10 atmosferen wegvalt, heeft dit op de dam-spanningsgradiënt tussen plantencel en atmosfeer, waarbij het bij een relatieve luchtvochtigheid van 60 % om een bedrag van rond 900 atm. gaat, geen wezenlijke invloed.

Controlebepalingen aan zoden op het midden van sterk drogende dagen toonden aan, dat zelfs onder die omstandigheden geen grote fout gemaakt kan worden. Over het geheel genomen is de gebruikte methodiek deugdelijk te achten.

De methodiek is beschreven in het jaarverslag van het Cilo over 1948. Hierin is, evenals in het jaarverslag over 1949, deze werkwijze aan een kritische beschouwing onderworpen. Ook werden de resultaten van enige controleproeven medegedeeld, terwijl in het laatstgenoemde verslag bovendien resultaten zijn medegedeeld over het gemiddelde waterverbruik per 24 uur over de maanden Juni tot en met October van het proefjaar 1949. Deze worden hier herhaald (tabel 1).

' ) 2 mededelingen over hetzelfde onderwerp verschenen in Verslag van het CILIO over 1948, p.30-32, resp. over 1949, p.40-44.

## Waterverbruik in mm

	Gemiddeld per 24 uur	per maand
Juni 1949	3,8	114
Juli "	3,8	118
Aug. "	3,1	96
Sept. "	2,1	63
Oct. "	2,3	71

Tabel 1. Waterverbruik voor 5 maanden volgens de methode der zodewegingen.

Bij de bepalingen waren honderden zoden betrokken, waarvan de grashoogte varieerde tussen 5 en 18 cm. Hierdoor is het mogelijk de samenhang vast te stellen tussen waterverbruik en de grashoogte. Dit gegeven is waardevol voor de vraag naar het extra-waterverbruik bij uiteenlopende maaifrequenties, waarbij de gemiddelde hoogte van het gras gedurende het seizoen eveneens uiteenloopt. In zoverre bemesting de gemiddelde grashoogte in het groeiseizoen vergroot, bestaat tevens de mogelijkheid om een eventueel hiermee gepaard gaande toename van het waterverbruik vast te stellen. Het waterverbruik zou verder kunnen toenemen als gevolg van een gewijzigde anatomische structuur, die met de bemesting hand in hand gaat. Dit eventuele extra-verbruik kan echter uit het voorhanden cijfermateriaal niet berekend worden, omdat de bepalingen werden verricht met zoden, die alle dezelfde bemesting hadden ondergaan.

Parallel met de zodewegingen werden verschillende instrumenten afgelezen. De tensiometergegevens stellen in staat het waterverbruik te beschouwen in afhankelijkheid van de waterspanning van de grondlaag, waaruit de zoden werden gestoken. Deze betrekking is van waarde voor het schatten van het extra-waterverbruik van de grasmat als gevolg van een grotere vochtigheid van de grond; of deze hogere graad van vochtigheid bereikt wordt door natuurlijke of kunstmatige regen of door een watervoorziening van onderaf doet in wezen weinig terzake.

Bij de bewerking van het cijfermateriaal werden de zoden, die als gevolg van regen, dauw of guttatie-water<sup>1)</sup> nat waren, gescheiden gehouden van de zoden, waarvan het gras droog was. Dit materiaal zal een aparte bewerking ondergaan. Door deze gescheiden bewerking is het mogelijk het waterverbruik van beide groepen zoden voor gelijke omstandigheden met elkaar te vergelijken. Een mogelijk verschil in waterverbruik kan op rekening gesteld worden van de evaporatie van het aanhangende water. Dit gegeven is van belang om te schatten hoeveel van het door besproeiing toegediende water nutteloos in de atmosfeer verdwijnt.

Met de bepalingen werden alleen cijfers verkregen voor de transpiratie per uur. Daar de zoden een hoge bedekkingsgraad hadden, mag het aandeel der bodemevaporatie aan het waterverbruik wel verwaarloosd worden, zodat wij waterverbruik met transpiratie mogen gelijkstellen. Door sommeren van de gevonden waarden voor alle opeenvolgende uren van dag en nacht kan daaruit het verbruik per 24 uur verkregen worden. Dit is nodig, omdat de hydroloog meer interesse heeft voor etmaalcijfers dan voor uurcijfers. In deze mededeling wordt eerst het onderzoek van de transpiratie

<sup>1)</sup> Dit is water, dat in druppels aan de bladsprieten kan zitten en actief door de plant is uitgeperst.

per uur besproken. Ook dit geeft de hydroloog reeds houvast, omdat hem daaruit de verhouding der transpiratiesnelheden bekend wordt voor verschillende omstandigheden. Hierna volgt een onderzoek van het waterverbruik per etmaal.

In deze publicatie zal alleen mededeling worden gedaan over het onderzoek aan zoden, waarvan het gras uitwendig droog was.

### HET WATERVERBRUIK PER UUR

#### Theoretische overwegingen.

Men kan op grond van plantenfysiologische kennis vooropstellen, dat de transpiratie van een grasblad door 2 factoren wordt beheerst:

- a. de vochtgradiënt tussen bladcel en atmosfeer;
- b. de diffusieweerstand, die de aard van de opperhuid van het blad de waterdampstroom in de weg legt.

De vochtgradiënt wordt op zijn beurt, bepaald door de volgende factoren:

- a 1. de relatieve droogte of juist, het verzadigingsdeficit van de atmosfeer;
- a 2. de temperatuursgradiënt, die tussen atmosfeer en blad kan bestaan;
- a 3. de luchtbeweging langs het grasblad;
- a 4. de zuigspanning van het celvocht.

De aard van het bladoppervlak kan het waterverlies beïnvloeden door:

- b 1. de dikte van de cuticula;
- b.2. het aantal huidmondjes per oppervlakte-eenheid;
- b 3. het meer of minder gegroefd zijn van het grasblad;
- b 4. de breedte der huidmondjes;
- b 5. het meer of minder in de lengte samengerold zijn van het blad.

De eerste drie factoren b worden beheerst door de anatomische structuur van het blad, die afhankelijk is van de grassoort en die beïnvloed kan worden door de watervoorziening en de bemesting. Beide volgende kenmerken worden door de turgor, d.i. de spanning van de cel resp. het weefsel als gevolg van opgenomen water, beheerst, waarmee de zuigspanning van het celvocht omgekeerd evenredig is. Op de bij b4 genoemde factor, de breedte van de stomata, heeft behalve de turgor van de sluitcellen, die het huidmondje begrenzen, ook een belangrijke invloed de lichtintensiteit.

Het onderzoek werd evenwel niet aan afzonderlijke grasbladen uitgevoerd, maar aan zoden in situ. Hierbij bevinden zich de afzonderlijke bladen in een luchtlaag, die een buffer vormt tussen atmosfeer en bladmassa. Bovendien is deze buffer volgens onderzoekingen (o.m.) van Filzer 1934 en van Kuhnke 1936) niet homogeen, maar meer of minder gelaagd, waarbij er een meer of minder regelmatig temperatuurs- en vochtigheidsverloop in verticale richting bestaat. De aard der vegetatie enerzijds, bepaald door hoogte, vorm, grootte en stand van de bladeren, en de windsnelheid anderzijds beïnvloeden in sterke mate de bufferende werking van de luchtlaag in de vegetatie op het waterverlies naar de vrije atmosfeer.

Voor het onderzoek van de transpiratie van een dergelijk gecompliceerd geheel als een zode kon onmogelijk het vereiste aan-

tal metingen verricht worden. Zelfs zeer belangrijke waarden, zoals de bladtemperatuur, die de dampspanningsgradiënt mee bepaalt, de dampspanning (resp. temperaturen der psychrometer) op verschillende hoogten in de vegetatie en de breedte der huidmondjes op verschillende hoogte in de vegetatie werden niet gemeten, zowel wegens grote methodische en technische moeilijkheden, als wegens tijdrovendheid.

Wel werden gemeten:

de relatieve vochtigheid van de atmosfeer vlak boven het gras in de schaduw, afgelezen op een hygrometer resp. geregistreerd door middel van een hygrograaf;

de windsnelheid vlak boven het gras met een windmolentje van Robinson;

de totale straling werd op ongeveer 1500 m afstand gemeten op de observatietoren van het Natuur- en Weerkundig laboratorium van de Landbouwhogeschool met behulp van een thermoziuil<sup>1)</sup>.

Hoewel de luchttemperatuur (in de schaduw onder een afdak kort boven het gras) gemeten werd, werd deze in de bewerking niet betrokken. Eensdeels, omdat voor het verdampingsproces niet alleen de temperatuur van de lucht, maar ook die van het blad beslissend is, en anderdeels, omdat de relatieve droogte van de lucht, een functie van deze temperatuur, werd gemeten. Bovendien bleek uit een voorbereiding, waarin de luchttemperatuur wel was opgenomen, dat deze geen vaststelbare rechtstreekse invloed had.

Omtrent de grootte van enige, vermoedelijk beslissende factoren, ontbreekt ons dus elke informatie. Wij kunnen alleen trachten deze factoren door andere te vervangen, die met de ontbrekende sterk gecorreleerd zijn. Hierbij kunnen wij proberen voor de zuigkracht van de bladcellen resp. het vochtgehalte van het gras bij de eerste weging, die beide als maatstaf voor de vochttoestand (hydratuur) van de plant kunnen gelden, de vochtspanning van de grond in de plaats te stellen. Dit is gebaseerd op de tendens, dat bij lage waterspanning de hydratuur groot is, bij hoge waterspanning laag. De hydratuur kan echter in de loop van een dag niet op peil blijven als gevolg van het feit, dat de watertoevoer uit de grond het waterverlies tijdens uren van sterke transpiratie niet kan bijhouden. Verwacht mag dus worden, dat de hydratuur niet alleen afhankelijk is van de zuigspanning van de grond, maar ook van de transpirerende omstandigheden, die heersten tijdens dat deel van de dag, dat aan de bepaling voorafging. Behalve deze omstandigheden zelf, zal ook de factor tijd dus in de bewerking dienen te worden betrokken. Hiervoor is genomen de tijdsduur verstreken na zonsopgang. Hoe later op de dag immers de transpiratie wordt bepaald, hoe meer de hydratuur gemiddeld gedaald zal zijn als gevolg van het voorafgaande waterverlies. Als verdampende omstandigheden werden relatieve droogte, de beweging van de lucht en de straling in het onderzoek betrokken.

Om tenslotte ook de botanische samenstelling van de vegetatie enigermate recht te doen, nemen wij het geschatte aandeel grassen in de bedekking v.d. grond in procenten van het totale oppervlak in onderzoek. De procenten onkruid en klaver werden buiten beschouwing gelaten, omdat de gewassen gewoonlijk lager zijn, minder bladmassa hebben en geringer transpireren. De zoden hadden over het algemeen een hoge dekkingsgraad; kale grond was nagenoeg niet te zien. De dekkingsgraad lag bijna steeds tussen

<sup>1)</sup> Prof.dr W.R.van Wijk en dr D.A.de Vries ben ik veel dank verschuldigd voor het ter beschikking stellen van de opneemstrooken.

90 en 100 %; het laagste percentage was 75 %.

Dat de grashoogte in beschouwing werd genomen, spreekt vanzelf. Aangaande de invloed van de massa transpirerend materiaal per eenheid van grondoppervlak op het waterverbruik bestaat meningsverschil. Volgens onderzoeken van Penman is de hoogte van een gewas niet van invloed op de transpiratie; volgens talloze andere proefnemingen daarentegen is het waterverbruik ten naastebij evenredig met het voorhanden bladoppervlak. Bij voorbaat was het daarom van belang te trachten over dit twistpunt uitsluitend te verkrijgen.

### Iets over de bewerking van het cijfermateriaal en over de betrouwbaarheid der uitkomsten.

Na schifting van het materiaal op grond van het droog zijn van het grasoppervlak en van het volledig zijn van de reeks behorende aflezingsen, bleven nog gegevens van ruim 450 zoden over, bruikbaar voor een polyfactoranalyse volgens ir W.C. Visser 1). Deze bewerkingsmethodiek is aangepast aan de omstandigheid, dat men beschikt over talrijke metingen of schattingen van een bepaalde grootte, die op vele plaatsen en tijdstippen verkregen zijn onder uiteenlopende omstandigheden. Zijn deze omstandigheden numeriek vastgesteld, dan laat een voldoende groot waarnemingsmateriaal toe, de invloed van elke invloedsfactor afzonderlijk te leren kennen door graphische analyse van het materiaal. Men moet daarbij de correlaties, die tussen verschillende factoren bestaan en die de zuivere invloed van elke factor verduisteren, onschadelijk maken.

Om het vaststellen van de correlaties tussen de te onderzoeken factoren te versnellen, werden door loting ca. 130 nrs getrokken, waarvan voor elke combinatie van 2 factoren de correlatiecoëfficiënt werd berekend volgens de formule:

$$r = \cos \frac{n_{2,4}}{n} \times 180^\circ \quad 2),$$

waarin  $n_{2,4}$  het aantal stippen is, dat bij het maken van een stippendiagram voor 2 factoren voorkomt in het 2e en 4e kwadrant, nadat de stippenzwerm door medianen loodrecht op de coördinaten is verdeeld, en waarin  $n$  voorstelt het totale aantal stippen. In tabel 2 staan de correlatiecoëfficiënten vermeld. Ook is hierin aangegeven hoe groot de invloed van elke factor op het waterverbruik bij benadering is, wanneer men niet met de correlaties rekening houdt.

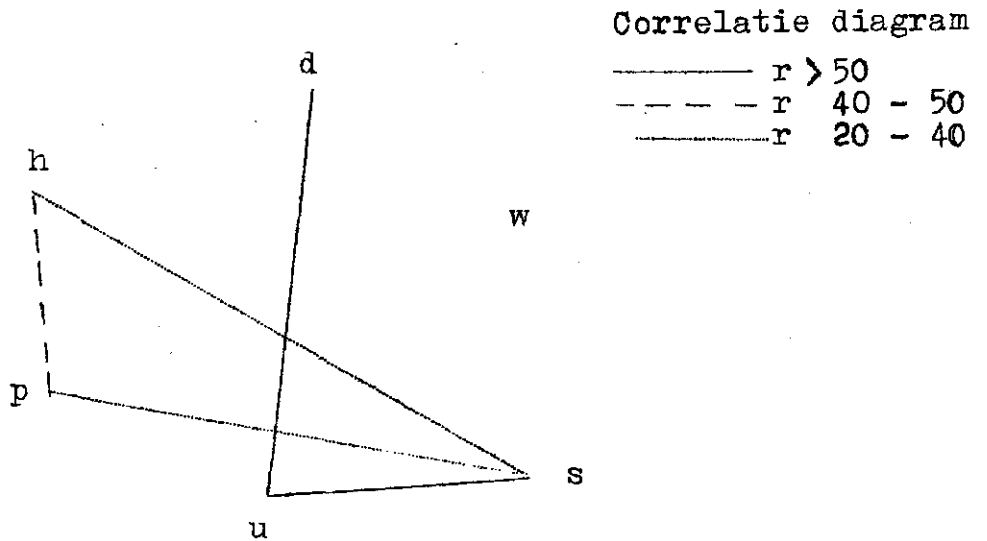
De variabelen zijn als volgt aangeduid:

- d = relatieve droogte van de lucht in de schaduw vlak boven het gras in procenten;
- w = windsnelheid vlak boven het gras in  $\text{km/u}$  resp.  $\text{m/sec.}$ ;
- s = totale straling in calorieën per  $\text{cm}^2$  per uur, gemeten op 1500 m afstand;
- u = tijdstip van het midden van het expositie-uur na zonsopgang in uren;
- p = zuigspanning van de grondlaag van 0 - 10 cm onder maaiveld in dm waterkolom;
- h = gemiddelde grashoogte in cm;

- 1) Cursus winter 1949 - 1950 te Utrecht.
- 2) Mededeling dr ir G. Hamming.

g = aandeel der grassen bij de bedekking van het grondoppervlak in %;  
v = het waterverbruik in g per uur per 1/16 m<sup>2</sup>.

Figuur 1



	d	w	s	u	p	h	g
d	-						
w	≈0	-					
s	<u>+0,45</u>	+0,13	-				
u	<u>+0,60</u>	≈0	<u>+0,60</u> <u>-0,49</u>	-			
p	+0,12	≈0	<u>+0,31</u>	≈0	-		
h	+0,14	+0,14	<u>+0,24</u>	≈0	<u>+0,45</u>	-	
g	≈0	≈0	≈0	≈0	+0,36	+0,36	-
v	16	24	25	18	4	18	≈0

Tabel 2: Correlaties tussen de te onderzoeken factoren. Onder de streep de gemiddelde invloed van de factoren op het waterverbruik in g per uur per zode 1/16 m<sup>2</sup> over het hele traject der betreffende factor.

Een uiteenzetting van de grafische bewerking zal hier niet gegeven worden. Er wordt mee volstaan op enkele punten de aandacht te vestigen. Zo is b.v. het aandeel van het gras in de zode, dat van geen invloed bleek te zijn op de transpiratie, hier buiten beschouwing gelaten.

Verder is de invloed van de zes andere variabelen niet volledig zuiver komen vast te staan, omdat de bewerking, die iteratief is, nog niet voldoende ver is doorgevoerd. Het is ook nog te vroeg om te mogen zeggen, dat het effect van alle correlaties volledig is geëlimineerd. Verder is een aantal interacties tussen sommige variabelen niet geëlimineerd, al zullen deze wel niet van noemenswaardige betekenis zijn.

De cijfers voor het waterverbruik, die voor de bewerking uiteenliepen tussen 0 en 34 g per zode per uur, d.i. tussen 0 en 0,55 mm per uur, varieerden na eliminatie van de bij onze bewerking gevonden invloeden, aanzienlijk minder. Omdat de bewerking nog niet is afgesloten, werd er van afgezien standaarddeviaties te berekenen. Wel wordt tabel 3 weergegeven, waarin voor 43 niet bij de analyse gebruikte zoden het waterverbruik werd berekend met behulp van de gevonden resultaten.

nr.	bere- kend	gevon- den	ber. gev.	nr.	bere- kend	gevon- den	ber. gev.
968	12,6	7,6	1,66	489	7,2	5,5	1,31
969	16,3	14,5	1,12	514	12,8	17,7	0,72
970	20,5	22,2	0,90	523	8,5	6,8	1,25
18	19,9	18,7	1,06	541	10,7	12,0	0,89
20	20,2	24,2	0,83	545	18,1	18,3	0,99
45	26,2	27,5	0,95	556	11,2	10,0	1,12
58	15,6	14,0	1,11	584	21,2	11,5	1,65
59	17,3	14,5	1,19	590	10,1	9,2	1,10
102	22,1	23,2	0,95	607	13,8	14,7	0,94
104	19,1	13,2	1,45	636	14,8	12,5	1,18
207	12,7	10,8	1,18	644	11,1	10,5	1,06
217	15,4	14,0	1,10	645	12,0	10,8	1,11
290	16,8	19,3	0,87	671	15,5	15,2	1,02
314	14,5	21,7	0,67	673	11,4	17,0	0,67
316	18,7	20,6	0,91	684	11,0	14,5	0,76
328	18,2	21,0	0,87	685	12,5	19,3	0,65
361	13,5	9,8	1,38	686	13,5	27,0	0,50
376	7,0	5,2	1,37	692	8,9	10,3	0,86
436	17,2	11,0	1,56	1715	17,7	17,2	1,03
445	20,7	19,0	1,09	1723	17,3	16,3	1,06
467	18,0	18,2	0,99	1752	19,5	14,5	1,34
471	15,0	14,0	1,07				

Tabel 3

In bovenstaande tabel zijn verder vermeld de waargenomen transpiratie-cijfers. Uit de verhouding tussen beide uitkomsten (kolom 4) blijkt hoever de berekende waarde van de gevonden afwijken. Voor 28 van de 43 uitkomsten (65 %) vallen de berekende cijfers binnen een marge van 20 % aan weerskanten van het waargenomen bedrag. De overige wijken sterker af. Voor deze afwijkingen zijn allerlei oorzaken aan te wijzen. In de eerste plaats het feit, dat de grafische analyse nog niet beeindigd is. Verder, dat aan de waargenomen uitkomsten fouten kleven en dat de expositieperioden niet steeds volkomen met de aflezing der instrumenten



correspondeerden. Ook kan bij het vervoer der zoden tussen de expositieplek en de snelweger in het weeghuisje (ca. 10 m afstand), waarbij de zode met een snelheid van 5 km per uur door een sneller bewegende luchtlaag werd verplaatst, een fout zijn ingeslopen. Verder kan bij het schatten van de gemiddelde straling per uur uit de soms zeer sterk op en neer gaande inktlijn op de registratiestroken een fout zijn gemaakt.

Tenslotte is het de vraag of de indicaties van de 3 tensiometers in het veld wel geheel correspondeerden met de zuigspanning in de graszoden. Al met al genoeg aanleidingen voor het overhouden van een zekere restspreiding na de bewerking van het materiaal.

Hoewel het resultaat nog voor belangrijke verbetering vatbaar is, is het niet waarschijnlijk, dat het resultaat wezenlijk veranderen zal na voortzetting der analyse. De invloed van de afzonderlijke variabelen op het waterverbruik zal slechts in geringe mate kwantitatief kunnen veranderen. Hoewel met enig voorbehoud, mogen de resultaten wel als in hoofdzaak juist worden aanvaard.

Bij de beschouwing van de hiervolgende krommen, waarbij de afzonderlijke stippen steeds zijn weggelaten, moet men het volgende bedenken. Elk stel krommen is steeds een keuze uit een 9-tal, dat met 2 andere 9-tallen in een andere ruimterichting (met een andere variant als abscis) een ruimterooster vormt, waarvan de 27 snijpunten elkaar betrekkelijk stevig vastleggen.

Al deze 27 krommen liggen zo, dat zij zo goed mogelijk door het hen omgevende deel der puntenzwerm gaan en met elkaar niet in strijd zijn. Het weergeven van een kromme uit zo'n rooster met het eromheen liggende deel van de puntenzwerm kan dus geen indruk geven van de betrouwbaarheid der kromme. Deze ligt in de mate, waarin het ruimterooster van krommen zich temidden van de gehele puntenzwerm bevindt.

#### De invloed van zeven factoren op het waterverbruik.

De factor "grasaandeel" bleek van geen betekenis te zijn. De overige 6 onderzochte zijn twee aan twee met hun interactie in krommen weergegeven. De betekenis van elk dezer is in tabel 4 weergegeven. Hierbij werd aangenomen, dat de overige 5 middelmatige waarden hebben, die onderaan de tabel zijn meegedeeld. De variabele in kwestie maakt, dat aan het eind van zijn traject het waterverbruik de opgegeven waarde hoger resp. lager is dan aan het begin van zijn traject (bij het uur na zonsopgang wordt een optimum kromme doorlopen). Wij zien uit deze bedragen, dat de grashoogte en de straling de transpiratie het sterkst beïnvloeden, de windsnelheid en het uur na zonsopgang minder, en tenslotte de relatieve droogte van de lucht en de zuigspanning van de grond het minst. Dit betekent, dat grashoogte, die gedurende de dag onveranderd blijft, van groter invloed moet zijn op het etmaalverbruik dan de straling, die bij zonsop- en ondergang zeer geringe waarden krijgt. De betekenis van de relatieve droogte van de lucht op het etmaalverbruik moet om dezelfde reden geringer zijn dan de zuigspanning van de grond, die geen belangrijke dagperiodiciteit heeft.

	mm/u	<i>in peil. ind. by haven f. i. l. i. n. e. e. e. e.</i>
straling (0 - 70 cal/cm <sup>2</sup> .u)	+ 0,22	
zuigspanning (0 - 95 dm)	- 0,05	x
windsnelheid (0 - 11 km/u)	+ 0,12	x ?
grashoogte (5 - 18 cm)	+ 0,22	x
relat.droogte (0 - 35 %)	+ 0,07	
uur na zonsopg.(0 - 13 u)	± 0,10	x ( <i>de zonsopgang is bepalend</i> )

Gemiddelde omstandigheden:  
 straling 18 cal/cm<sup>2</sup>.u  
 zuigspanning 45 dm  
 windsnelheid 1 m/sec.  
 grashoogte 10 cm  
 relat.droogte 25 %  
 uur na zonsopg. 3 1/2 u

Tabel 4. Invloed der afzonderlijke variabelen bij doorloping van hun hele traject op het waterverbruik, aangenomen, dat de overige 5 variabelen middelmatige waarden hebben (onderste deel tabel).

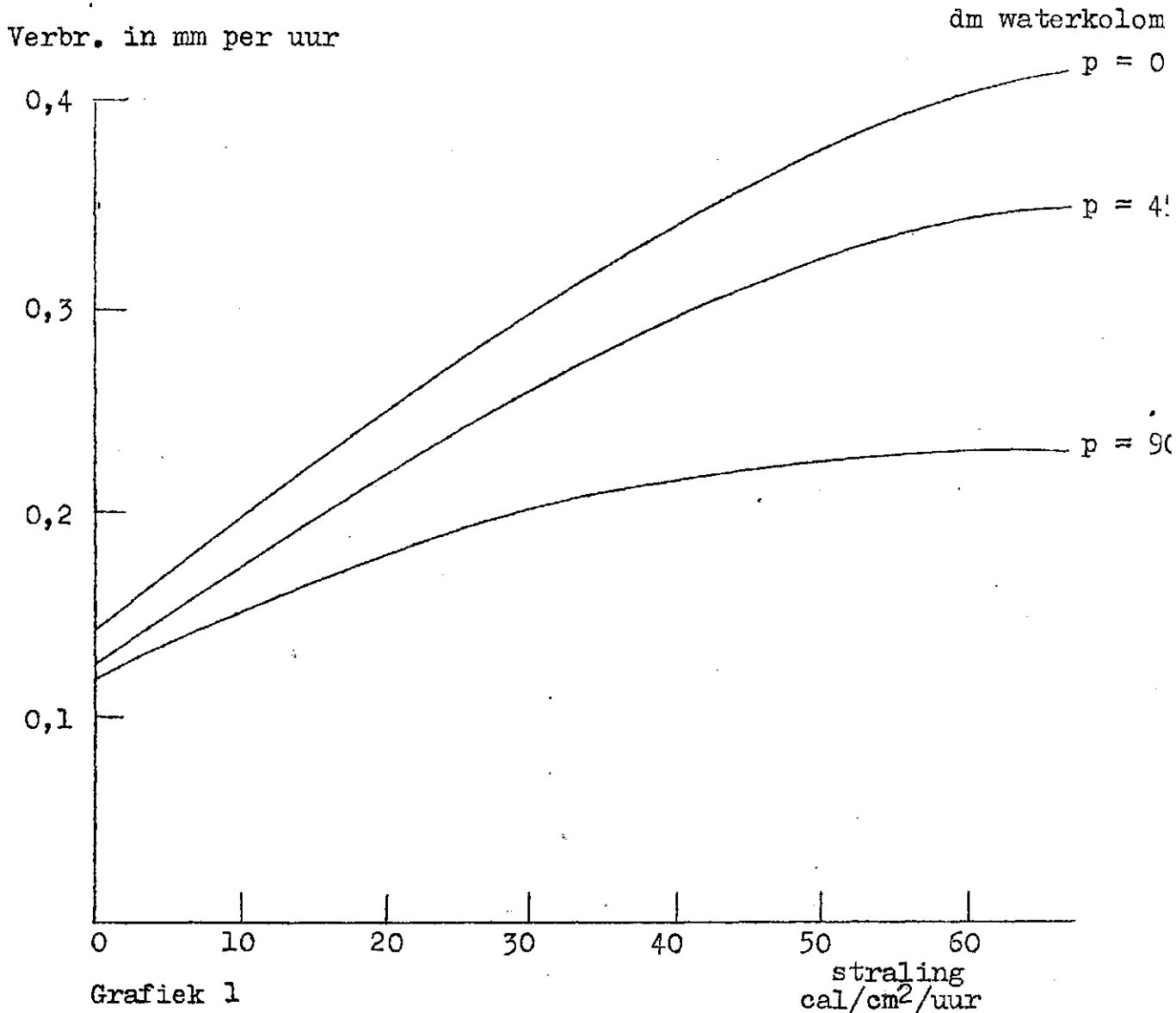
Dat op zonnige dagen het waterverbruik groter is dan op sombere was bekend; dat hiervoor niet de luchtvochtigheid, maar de straling verantwoordelijk gesteld moet worden, komt hier naar voren, nu de correlatie tussen straling en luchtvochtigheid bij de bewerking grotendeels onschadelijk werd gemaakt.

De volgende krommen zijn paarsgewijs van elkaar afhankelijk. De grafieken betreffende straling en zuigspanning zijn het resultaat van eenzelfde analyse; in de ene is de straling als abscis genomen, in de andere de zuigspanning. Evenzo zijn die voor grashoogte en windsnelheid en die voor uur na zonsopgang en relatieve droogte van de lucht identiek.

De variabelen, die niet in de grafieken zijn betrokken, zijn op middelmatige waarden aangenomen, en wel de volgende:  
 s 18 cal/cm<sup>2</sup>.u                      w 1 m/sec.  
 p 45 dm                                d 25 %  
 h 10 cm                                u 3 1/2 u na zonsopg.

De straling.

Wij zien uit de kromme voor de straling (grafiek 1), dat naarmate de zuigspanning van de grond toeneemt, de grond dus droger wordt, het effect van de straling vermindert. Het gebogen verloop van de lijn wijst erop, dat met toenemende straling het water niet met dezelfde snelheid het blad kan verlaten, maar dat hierbij belemmeringen optreden. Bij droge grond treedt deze belemmering al bij matige stralingen aan den dag, waaruit de conclusie kan worden getrokken, dat de toevoer van water niet toereikend is om de verdamping op peil te houden. Het is waarschijnlijk, dat bij ideale watervoorziening (zuigspanning 0) de verdamping bij zeer hoge stralingsintensiteit niet meer lineair

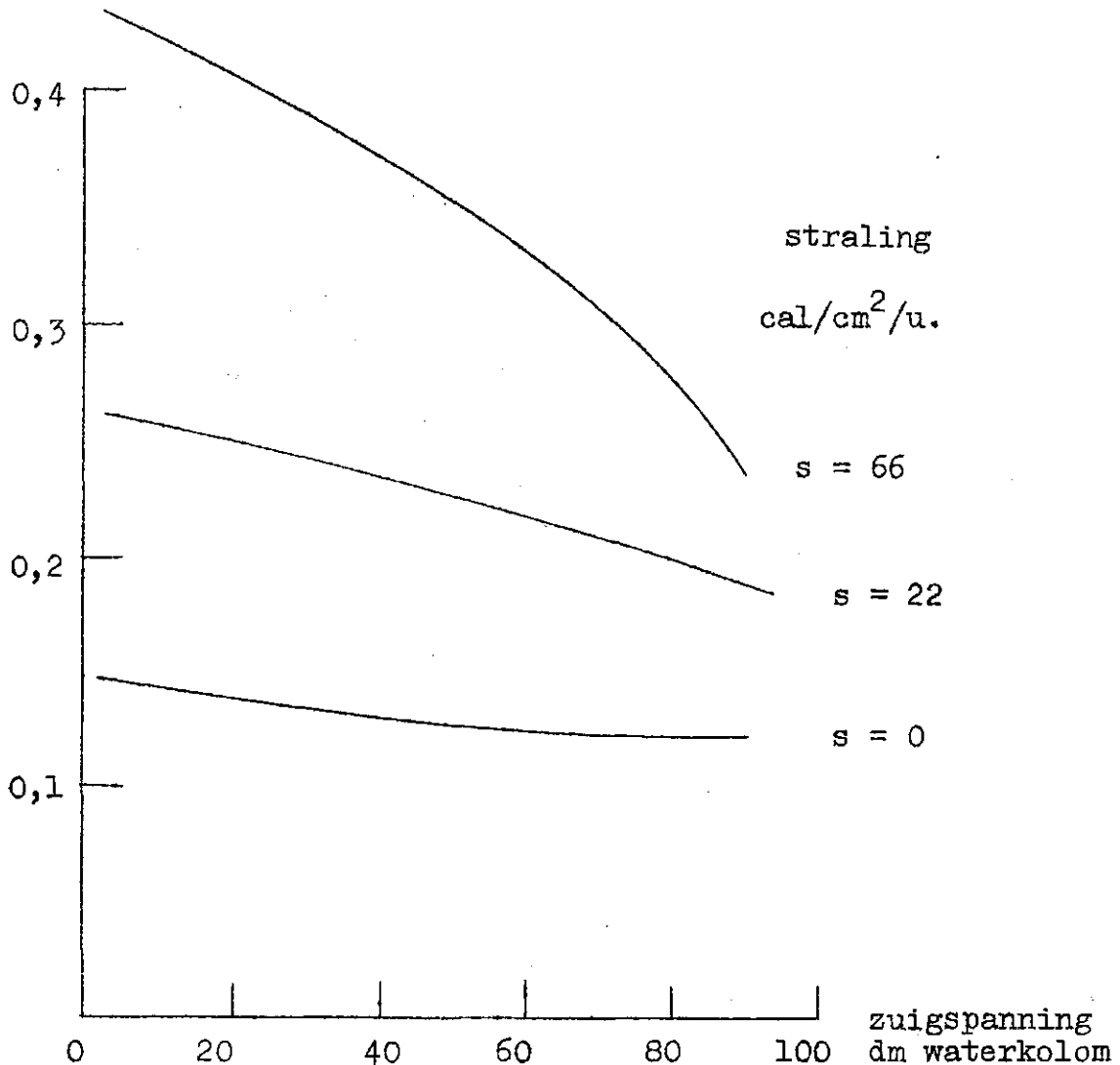


toeneemt, doordat het verloren water gedurende het expositie-uur het vochtgehalte in de plant reeds zover doet dalen, dat als gevolg hiervan de huidmondjes wat nauwer worden of de bladeren zich wat oprollen. Bij de hoogste straling en zuigspanning en de overige variabelen van middelmatige grootte, zien wij dus nog geen daling van het waterverbruik, hetgeen wel verwacht mag worden als alle 6 factoren zich het sterkst doen gelden.

#### De zuigspanning.

Uit de grafiek voor de zuigspanning (grafiek 2) blijkt, dat bij hogere stralingen de transpiratie sterker daalt bij toename van de zuigkracht van de grond dan bij geringere stralingsintensiteit. Dit verschijnsel is in de eerste plaats toe te schrijven aan naleveringsmoeilijkheden v.d. grond. De nalevering zou n.l. juist bij hoge stralingsintensiteiten in gevaar gekomen kunnen zijn bij de gebruikte zode-dikte van 10 cm; het effect zou dus bij dikkere zoden geringer en in de volle grond afwezig zijn. Een tweede oorzaak zou kunnen liggen in het onvermogen van de tensiometer om hogere zuigspanningen dan 1 atmosfeer aan te wijzen, zodat het hogere deel van het meettraject te laag wordt aan-

Verbr. in mm per uur



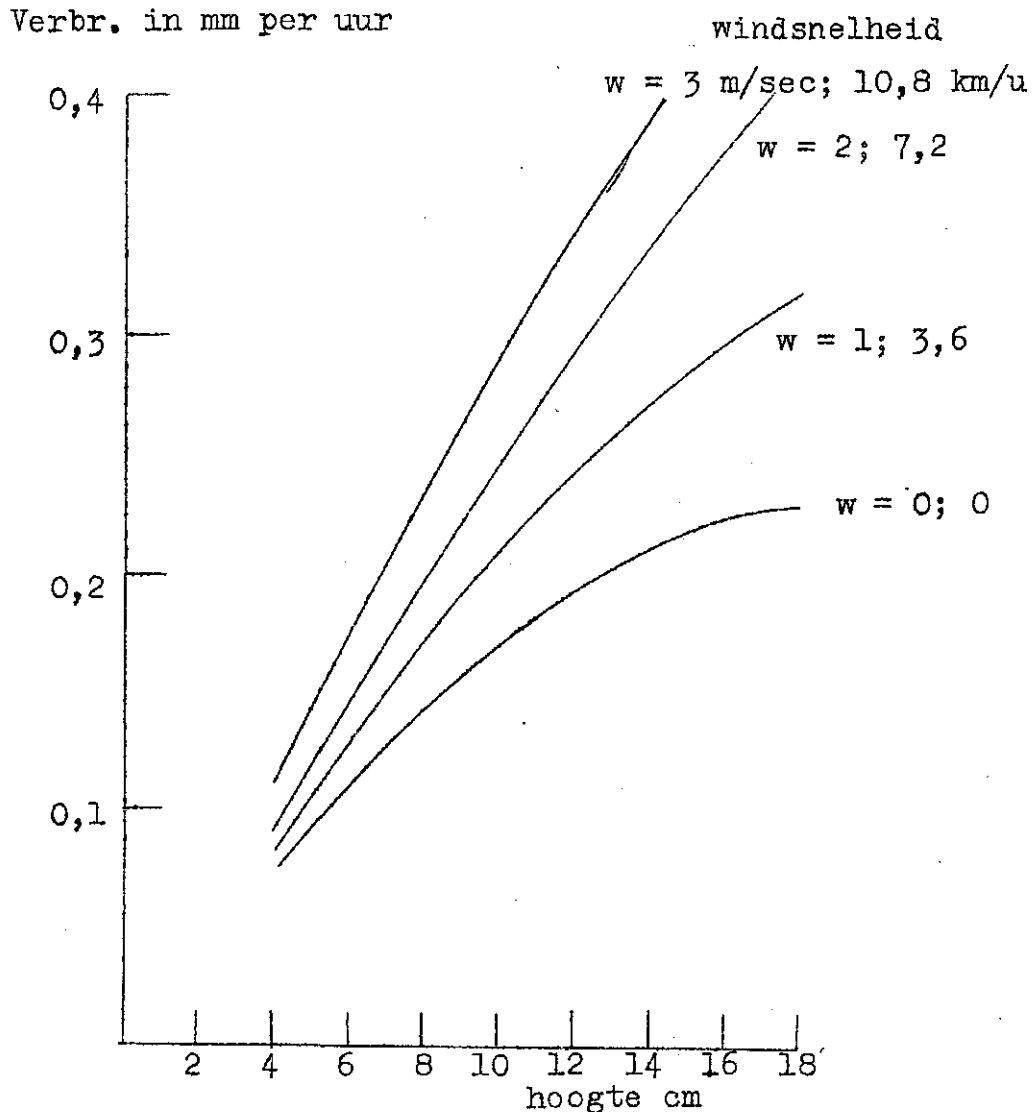
Grafiek 2

gegeven. Deze verklaring is echter niet waarschijnlijk. In dit geval toch zouden alle krommen convergeren naar één punt. Het heeft er echter alle schijn van, dat de krommen voor de hogere stralingsintensiteiten elkaar bij lagere spanning ontmoeten dan de krommen voor de lagere intensiteiten. Dit zou de conclusie rechtvaardigen, die reeds is geopperd, dat een belemmering der transpiratie, zoals vernauwing der huidmondjes of het inrollen der bladeren, optreedt.

Uit de marge van 0,07 mm/u volgt, dat de betekenis van de bodemvochtigheid voor het waterverbruik van grasland dus vrij gering is. Alleen bij zeer grote straling, b.v. bij 65 cal/cm<sup>2</sup>.u, is zij groter, n.l. 11,5 g/zode/u of 0,18 mm/u. Deze maximale straling doet zich echter slechts gedurende een beperkt aantal uren van de dag voor en dan nog slechts in de zomermaanden. Wij hoeven dus voor het dagelijkse waterverbruik de invloed van de zuigspanning van de grond niet te zwaar te tellen.

De grashoogte.

De tweede belangrijke factor, die de transpiratie beïnvloedt is de grashoogte. Wij zien uit grafiek 3, dat aanvankelijk de



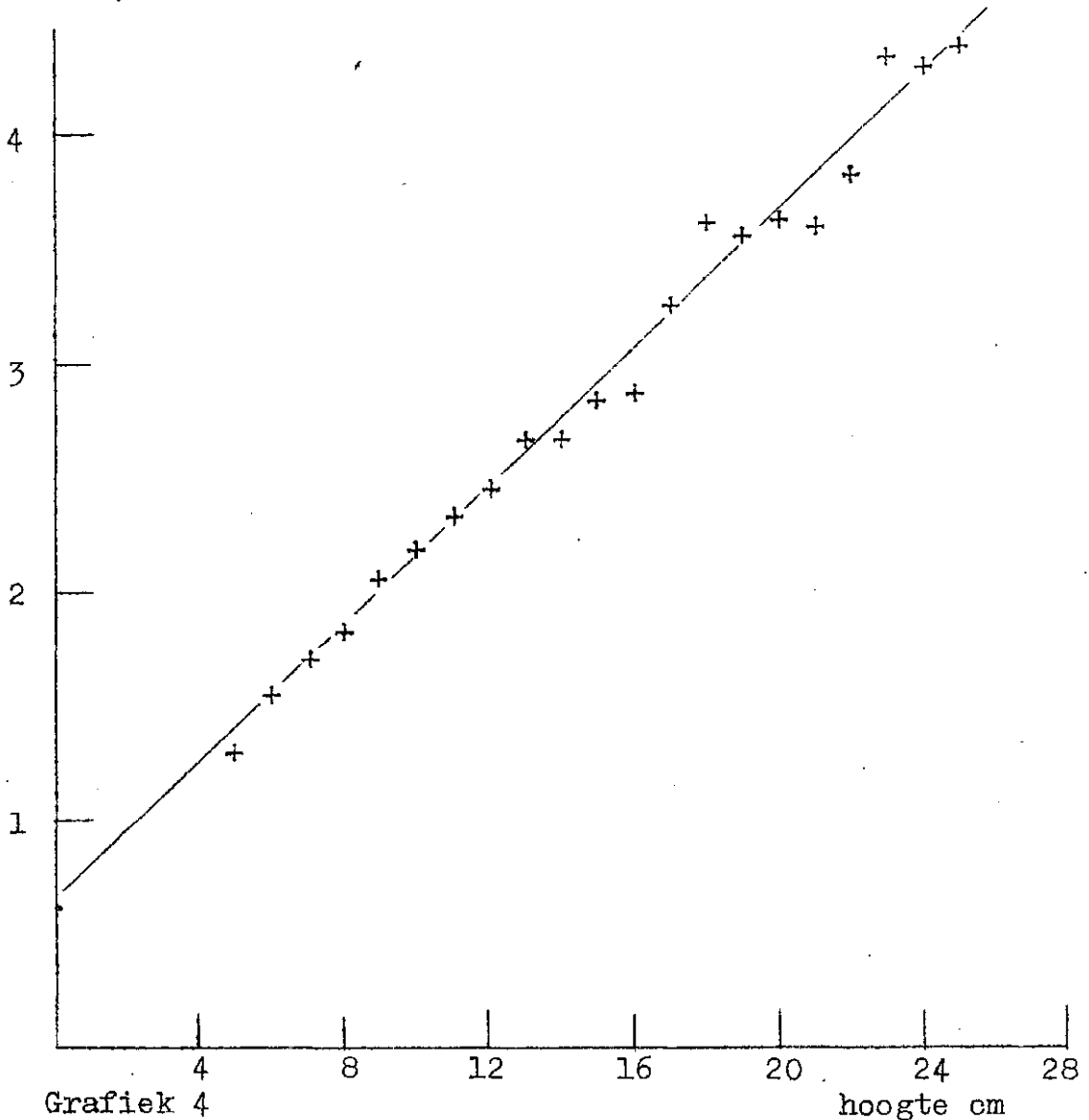
Grafiek 3

transpiratie met de hoogte toeneemt, maar bij hoger gras is deze toename geleidelijk minder. Men kan zien, dat er bij windstilte een grashoogte moet zijn (ca. 24 cm), waarboven toename in lengte niet met groter transpiratie gepaard gaat. Dit betekent, dat er zich een beperkende invloed doet gelden. Bij groter windsnelheden treedt deze beperking, zoals de krommen duidelijk tonen, bij aanzienlijk grotere grashoogten op dan 24 cm. Deze feiten maken het aannemelijk, dat de beperkende factor gezocht moet worden in een laag vochtige lucht, die, naarmate het gras hoger wordt, dikker is, de vochtafgifte van de atmosfeer meer in de weg staat en die bij groter windsnelheden wordt weggevaagd. Als deze interpretatie juist is, zien wij hier voor een vegetatie iets dergelijks als bij de afzonderlijke huidmondjes, waarboven zich bij windstilte een dampheuveltje vormt, dat de transpiratie belemmert en dat

door wind wordt weggevaagd (Seybold 1929). De dikte van dit dampdek in de vegetatie, waarbij de betekenis van de diffusie wegvalt, is dus bij windstilte minstens 24 cm. Intussen is het vreemd, dat bij windstilte een grasdek van 24 cm dikte nodig is om de transpiratie te verhinderen. Men zou verwacht hebben dat zich dit bij reeds aanzienlijk geringere grashoogten zou voor doen. Wij moeten evenwel bedenken, dat de windmetingen werden ver richt met het molentje van Robinson, dat vrij traag is en pas bij ca. 2 m/sec. op gang komt. Een gemeten waarde van 0 km per uur wi dus zeggen, dat tijdens het expositie-uur de windsnelheden benede 2 m/sec. niet werden opgenomen, voor zover zij de windmeter in rus aantreffen. Onze kromme voor 0 m/sec. geldt dus in werkelijkheid voor een zekere, niet nader te bepalen geringe windsnelheid. Daar komt nog bij, dat verticale luchtbewegingen niet gemeten werden en bij matige straling zeker zullen zijn opgetreden. Hierdoor wordt een dikkere vegetatie vereist om de invloed van de grashoogte te te doen wegvallen.

Er zou nog een andere mogelijkheid kunnen zijn om de beperking der transpiratie met toenemende grashoogte te verklaren, n.l. door deze toe te schrijven aan het steeds ijler worden van de vegetatie in de hogere lagen. Zet men echter de grashoogte voor alle bij onze bepalingen betrokken zoden uit tegen de droge stof, dan blijkt er een lineair verband te bestaan, zelfs tot een grashoogte boven 20 cm. Dit betekent, dat wij de grashoogte mogen ge-

droge stof  
ton/ha



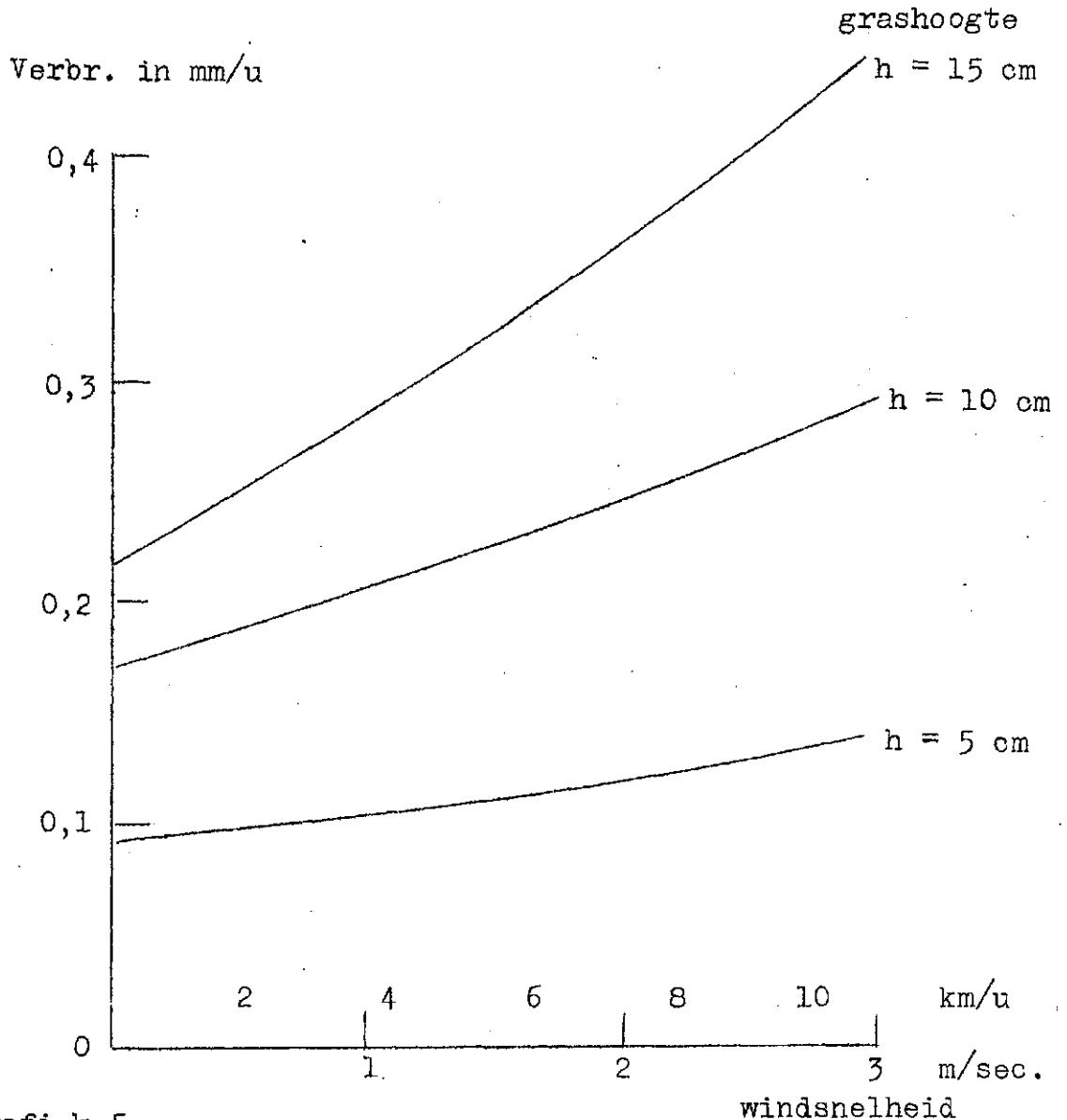
Grafiek 4

hoogte cm

bruiken als maatstaf voor de droge stof en dus vermoedelijk bij benadering ook voor de bladoppervlakte. Dat de transpiratie niet evenredig met deze hoogte resp. bladoppervlakte plaats vindt, kan dus niet aan de verdeling der bladmassa over de ruimte worden geweten.

De windsnelheid.

De krommen, die het waterverbruik weergeven in afhankelijkheid van de windsnelheid, hebben een enigszins ongewoon verloop (grafiek 5). Omdat gebleken is, dat er nog enige correlatie be-



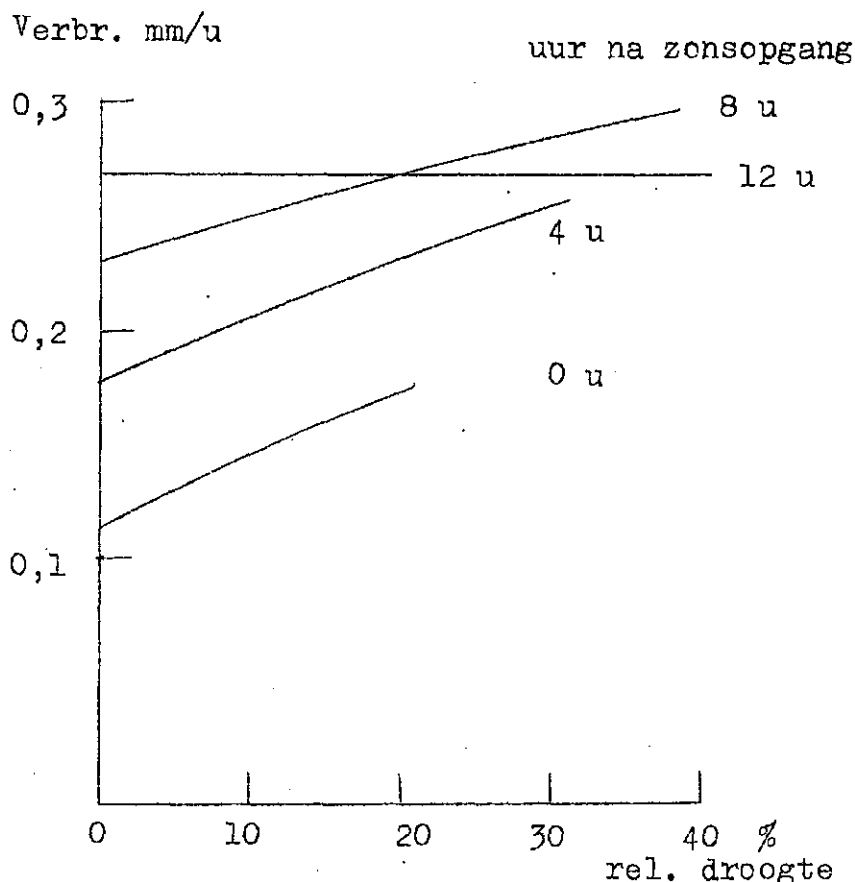
Grafiek 5

staat met de grashoogte en windsnelheid enerzijds en straling en zuigspanning anderzijds, zou het onjuist zijn aan de flauwe bocht der krommen enige betekenis te hechten. Dat bij langer gras de windinvloed sterker is dan bij korter gras, is aannemelijk, omdat bij turbulenties uit een dikkere vegetatielaag meer waterdamp wordt weggespoeld dan uit een dunnere. De krommen wekken de indruk, dat er een grashoogte moet zijn, waarbij de wind geen invloed heeft. Ook dit is aannemelijk; bij zeer kort gras wordt reeds bij een uiterst geringe windsnelheid even-

veel waterdamp verwijderd als bij hogere windsnelheden. Dit feit werd voor afzonderlijke bladeren vastgesteld door Seybold (1929) en Stalfelt (1935); reeds bij uiterst geringe snelheden is de transpiratie van een blad maximaal, omdat de dampheuveltjes dan reeds geheel worden weggevaagd. Voor een zeer korte vegetatie geldt dit blijkbaar ook. Voor hogere vegetaties, waar veel grotere dampmassa's moeten worden uitgespoeld, is uiteraard wel een verband met de windsnelheid bij de hogere waarden daarvan aannemelijk. Dat bij de zeer geringe snelheden het verloop zaklijft en niet, zoals in de literatuur veelvuldig wordt meegedeeld het verloop steiler wordt, mag worden toegeschreven aan het onvermogen van de anemometer om geringe windsnelheden te registreren.

De relatieve droogte van de lucht.

Wij zien, dat bij afnemen der relatieve luchtvochtigheid (toenemen der relatieve droogte) het waterverbruik toeneemt (grafiek 6). Omstreeks zonsopgang en nog bijna 8 uren erna ver-



Grafiek 6

andert de gradiënt weinig. Later op de dag evenwel schijnt de invloed der relatieve vochtigheid van minder betekenis te zijn en schijnt 12 uur na zonsopgang zelfs geheel niet meer te bestaan. Dat bij droger worden van de lucht de transpiratie toeneemt, kon verwacht worden. Het wekt echter verwondering, dat op zeker tijdstip de droogte van de lucht geen rol meer zou spelen. Men dient te bedenken, dat de andere 4 variabelen constante, middelmatige waarden hebben. *hoe kan dit voorval bij 0 u?*

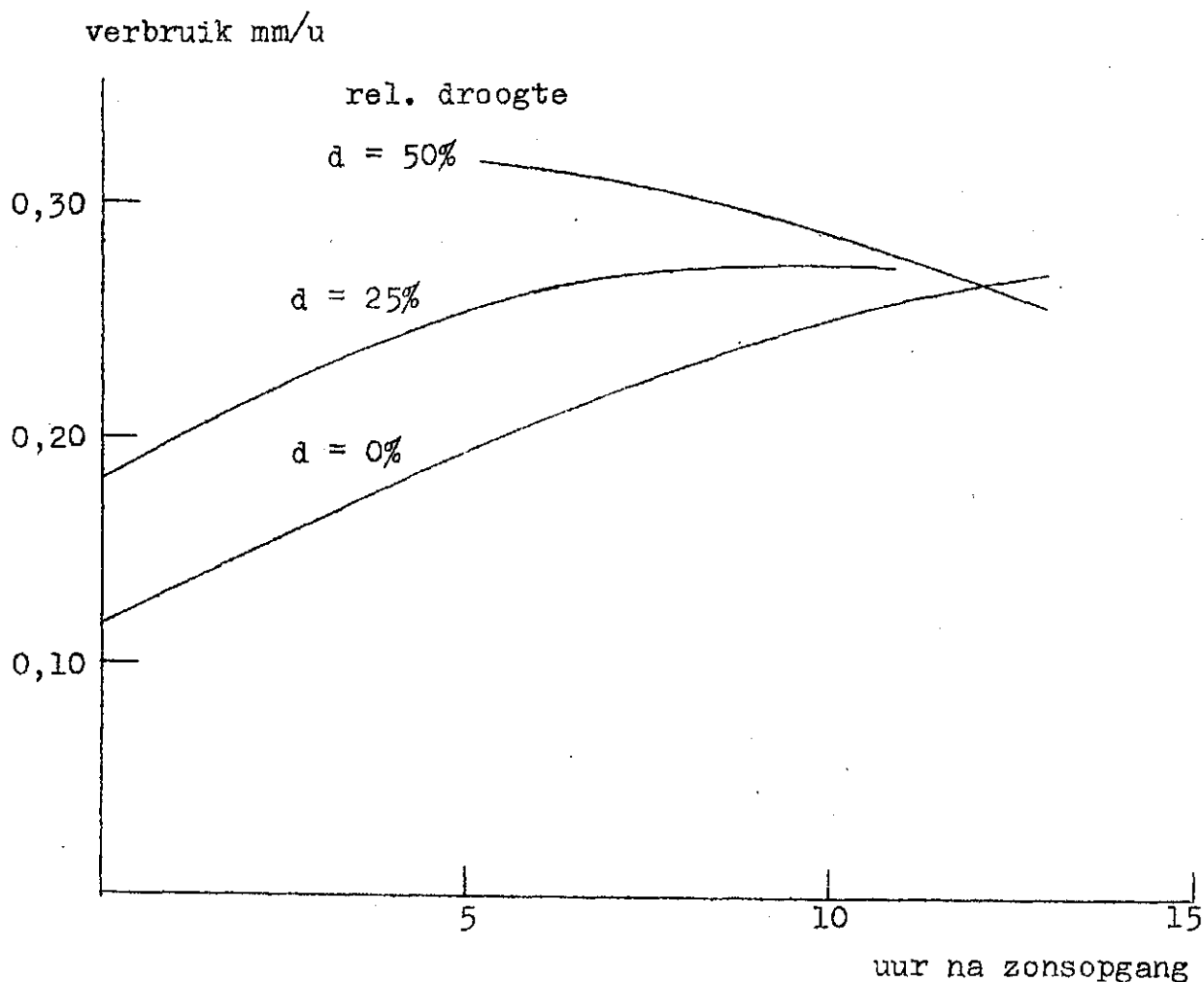
Wij kunnen dit vreemde verschijnsel begrijpen, wanneer wij aannemen, dat de invloed der relatieve droogte onverminderd voortbestaat, maar min of meer, tot volledig toe, gecompenseerd kan worden door de sluiting der huidmondjes. Omdat de wijde der stomata niet werd gemeten, kan deze verklaring niet nader ge-



toetst worden. Wel maken de krommen, die de invloed van het uur na zonsopgang weergeven, deze opvatting aannemelijk (zie verder op).

Het uur na zonsopgang.

Bij verschillende bewerkingen, die in deze mededeling niet werden besproken, kwam een soortgelijk verloop te voorschijn als in grafiek 7 is weergegeven. Wij mogen dit dus wel als juist aan-



Grafiek 7

vaarden. Wij zien daarin, dat bij een verzadigde atmosfeer de transpiratie niet nul is en zelfs nog toeneemt met het verstrijken van de tijd. In de eerste plaats moet hierbij bedacht worden, dat de relatieve vochtigheid werd afgelezen op haarhygrometers, die niet altijd even betrouwbaar zijn. Bovendien stonden deze steeds in de schaduw, terwijl de zoden zich nooit in de schaduw bevonden. De atmosfeer boven de zoden was dus bij zonnig weer stellig droger dan de hygrometers aangaven. Maar afgezien van dit alles, is de waarneming van het transpireren bij verzadigde atmosfeer niet in strijd met de physica. Weliswaar kan de plant aanvankelijk niet verdampen, maar tengevolge hiervan doet de stralingsenergie de bladtemperatuur stijgen, waardoor de dampspanning vlak boven de huidmondjes niet meer maximaal is en transpiratie weer mogelijk wordt. Omdat de krommen gelden voor de windsnelheid van 1 m per seconde, werd de damp afgevoerd. Zolang een temperatuursverschil tussen blad en atmosfeer blijft bestaan, is

bij bewegende lucht transpiratie mogelijk.

Bij een "verzadigde" lucht zien wij de transpiratie toenemen naarmate het later wordt. Dit is verklaarbaar door aan te nemen, dat de huidmondjes zich openen. Bij een drogere lucht bereikt de transpiratie een maximum, dat vroeger valt, n.l. tegen 8 uren na zonsopgang, dus midden in de zomer omstreeks 12 uur. Bij een halfdroge lucht is dit maximum reeds 5 uren na zonsopgang bereikt en daarna neemt de transpiratie af. Hoe de transpiratie bij zulke droge lucht vroeger op de dag is, kon niet worden bepaald, omdat zo vroeg zich zulke hoge relatieve vochttoestanden niet voordeden.

Het feit, dat de maximale transpiratie naar een vroeger tijdstip verschuift, is verklaarbaar, wanneer men aanneemt, dat de wijidte der huidmondjes hiervoor bepalend is. Bekend is, dat naarmate de hydratuur van de plant daalt, de huidmondjes nauwer worden. Dit heeft bij een droge atmosfeer vroeger op de dag plaats dan bij een vochtige atmosfeer. De wijidte der stomata geeft dus de sleutel tot de verklaring van deze krommen. Er moet op gewezen worden, dat, wanneer deze verklaring juist is, de huidmondjes dan hun spleetwijidte hebben gewijzigd bij constante straling. Immers de krommen van fig. 3 t/m 7 gelden voor een straling van 18 cal/cm<sup>2</sup>.u. Het is aannemelijk voor deze beweging uitsluitend de verandering in turgor aansprakelijk te stellen, hetgeen in overeenstemming is met de onderzoekingen van Stalfelt. Het verminderen van de turgor met verstrijken van de tijd is gevolg van het waterverlies voor de expositie der zode. Het toenemen van de turgor bij vochtige lucht moet worden geweten aan een stijgende hydratuur, die het gevolg is van het feit, dat de wateropname uit de grond, dank zij de worteldruk, het waterverlies overtreft. Is deze verklaring juist, dan wordt hiermee bewezen, dat afsnijding van de wortels op 10 cm diepte, de mogelijkheid voor het optreden van een overdruk niet of althans niet geheel heeft kunnen verhinderen. Om deze reden wordt het ook aannemelijk, dat een onderdruk door de afsnijding niet of niet geheel wordt opgeheven.

### HET WATERVERBRUIK PER ETMAAL

#### Bewerking der gegevens.

Voor de hydroloog brengt het werken met de grootheid "waterverbruik van grasland per uur" moeilijkheden met zich mee. Voor hem is het gebruik per etmaal van meer belang. Hij zou dit kunnen berekenen, door aan de hand van nomogrammen, die naar onze resultaten zijn getekend, voor een aantal uren op een dag het verbruik af te lezen en op grond hiervan het etmaalcijfer door integreren kunnen vinden. Hiervoor is het noodzakelijk voor de verschillende uren de 5 grootheden (grashoogte, zuigspanning van de grond, relatieve droogte van de lucht, de windsnelheid en de straling) conform ons experiment te bepalen. Dit alles is zeer omslachtig. Om deze reden is een tweede polyfactor-analyse uitgevoerd van geïntegreerde etmaalcijfers. Ter vereenvoudiging werd hierbij van de aflezingen van atmometers gebruik gemaakt (een atmometer is een poreus element, met water gevuld, waarvan door **evaporatie** een hoeveelheid verdwijnt, die op een verdeeld reservoir kan worden afgelezen). De atmometer reageert op straling, wind en verzadigingsdeficit der lucht en kon dus ingeschakeld worden om alle atmosferische invloeden in één aflezing samen te vatten. Voor het verkrijgen van een etmaalcijfer hoeft nu maar eenmaal te worden afgelezen. Omdat de plant als levend object, dat zijn waterverlies min of meer kan reguleren, anders reageert dan een atmometer, is

in de analyse de hydratuur van de plant betrokken. Hiervoor werd het vochtgehalte op basis van droge-stofgewicht genomen. Dit vochtgehalte daalt in de loop van de dag en stijgt in de namiddag weer. Het niveau, waarop de dagkromme van het vochtgehalte ligt, is lager naarmate de plant meer is uitgedroogd door een aanhoudend negatieve waterbalans.

Het zou bezwaarlijk zijn een gemiddeld vochtgehalte voor een etmaal in de analyse te betrekken, omdat dit de hydroloog tot een te omvangrijke monsternamen zou nopen. Daarom is als maatstaf voor de gemiddelde hydratuur per etmaal het vochtgehalte om 14 uur genomen.

Om de etmaal-totalen voor zoden en atmometers te krijgen, werden de krommen, die slechts 8 uren bestreken, verlengd naar zonsop- en -ondergang. Dit was mogelijk, omdat de waarnemingsperiode van 8 uren afwisselend op het begin, op het midden of op het eind van de dag was gelegd. Hoewel bij deze extrapolatie wel fouten zullen zijn gemaakt, werd het gewaagd om uit de verkregen krommen door planimetreren het dagverbruik op te meten. In de meeste gevallen kon het nachtelijk verbruik worden verwaarloosd. Voor winderige nachten kon op grond van avond- of ochtendverbruik een bedrag geschat worden. Met deze werkwijze is dus de tijdsfactor "daglengte" in de bewerking betrokken. In totaal waren 57 dagen voor deze sommatie bruikbaar. Dagen, waarop de zoden nat waren van de regen, werden terzijde gelegd. De grashoogte werd gemiddeld uit de grashoogte van alle op die dag gebruikte zoden. De gemiddelde zuigspanning werd bepaald op grond van de tensiometeraflezingen.

Uit tabel 5 en fig. 2 blijkt, welke correlaties er tussen de 4 betrokken grootheden bestaan, terwijl ook te zien is of hun invloed op het waterverbruik per etmaal groot of klein is.

	E	p	h	q
E	-			
p	+0,68	-		
h	+0,34	+0,50	-	
q	-0,57	-0,34	-0,19	-
V	3,5	3,2	0,8	1,3

Tabel 5. Correlaties tussen de te onderzoeken factoren. Onder de streep de gemiddelde invloed van de factoren op het waterverbruik per etmaal in mm over het hele traject der betreffende factor.

—————  $r > 0,50$   
 - - - - -  $r \quad 0,40 - 0,50$   
 ————  $r \quad 0,20 - 0,40$

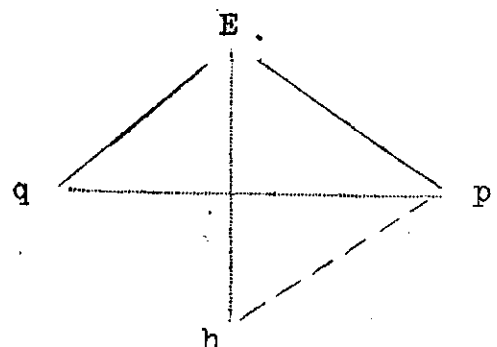


Fig. 2. Correlatiediagram.

De variabelen worden aangeduid als volgt:

- E = evaporatie der atmometer in mm gedurende een etmaal tussen de grastoppen;
- p = gemiddelde zuigspanning van de grond in de laag van 0 - 10 cm in de waterkolom;
- h = gemiddelde grashoogte in cm;
- q = vochtgehalte als quotient van gewicht aan vocht en droge stof;
- V = waterverbruik van graszoden in mm gedurende een etmaal.

De polyfactor-analyse voert tot een resultaat, dat in een aantal krommen is weergegeven. Ter controle werd de som der kwadratische afwijkingen van het gemiddelde bij het onbewerkte cijfermateriaal vergeleken met die bij het cijfermateriaal, waaruit de invloeden der factoren geëlimineerd zijn en met de som van de kwadraten van de bij eliminatie verrekende bedragen (correcties). Het bleek, dat de gevonden correcties met 0,95 vermenigvuldigd zouden moeten worden om de som der kwadratische afwijking van het nieuwe gemiddelde zo klein mogelijk te doen zijn, m.a.w. de gevonden krommen benaderen het ideaal in bevredigende mate. Voor deze mededeling werd dit resultaat voldoende geacht.

De invloed van de factoren op het waterverbruik.

Het bleek, dat na eliminatie van evaporatie der atmometer, grashoogte en zuigspanning een invloed van het vochtgehalte om 14 uur op het waterverbruik niet meer aantoonbaar was.

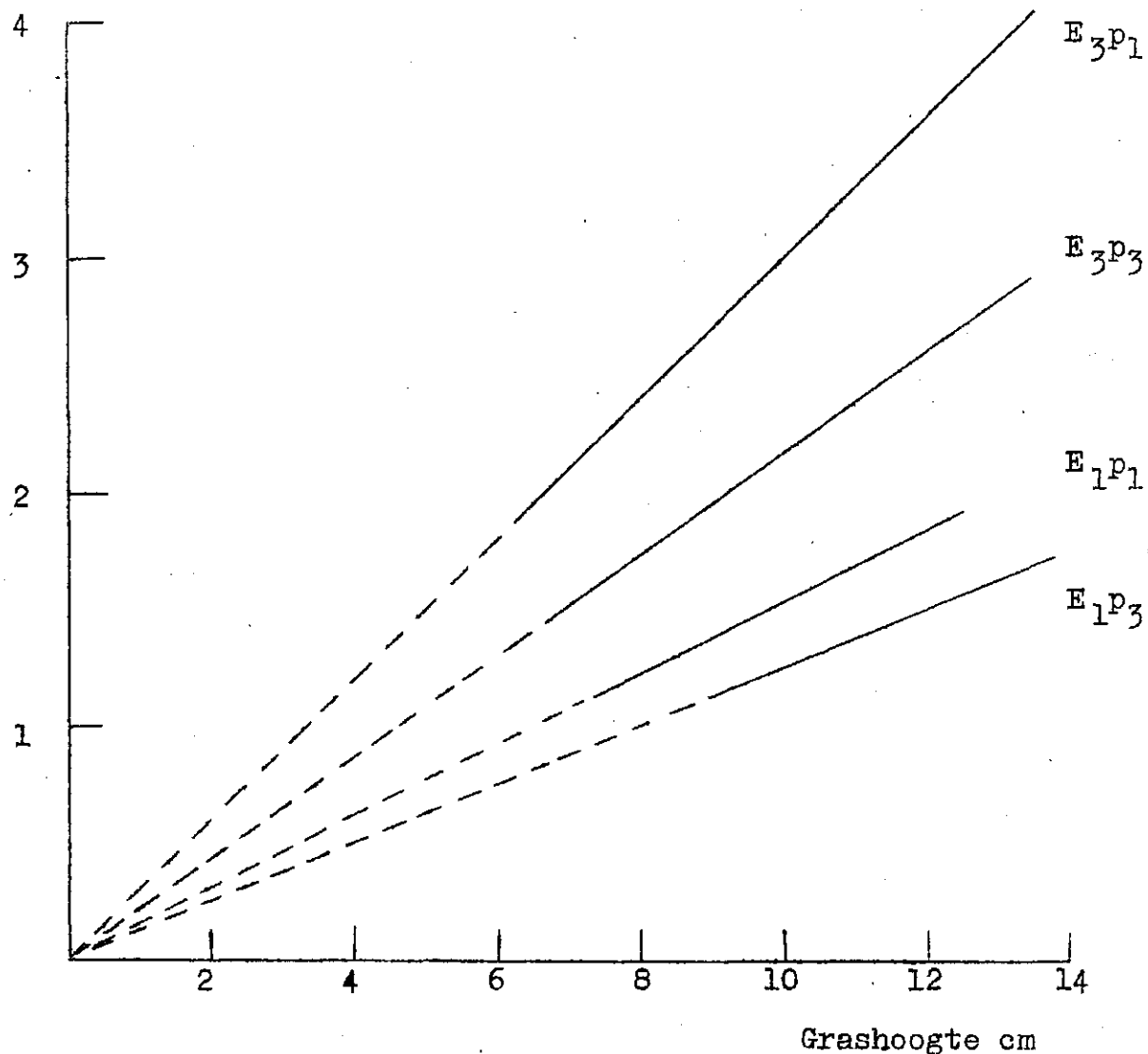
De invloed der andere onderzochte variabelen op het waterverbruik is in tabel 6 weergegeven. Wij zien hieruit, dat de grashoogte, in verhouding tot de andere factoren, in nog sterkere mate het etmaalverbruik beïnvloedt dan het uurverbruik. De verdampende weersfactoren volgen in belangrijkheid, terwijl de

	mm/etmaal
grashoogte (5 - 18 cm)	4,5
atmometerverbruik (0 - 6 mm/etm)	3,0
zuigspanning grond (0 - 95 dm)	1,5
gemiddelde omstandigheden:	
grashoogte 11 cm	
atm. verbruik 3 mm/etm.	
zuigspanning 45 dm	

Tabel 6. Invloed der afzonderlijke variabelen bij doorloping van hun hele traject op het etmaal-waterverbruik, aangenomen, dat de overige variabelen middelmatige waarden hebben (onderaan aangegeven).

vochtspanning van de grond van ondergeschikte betekenis is.

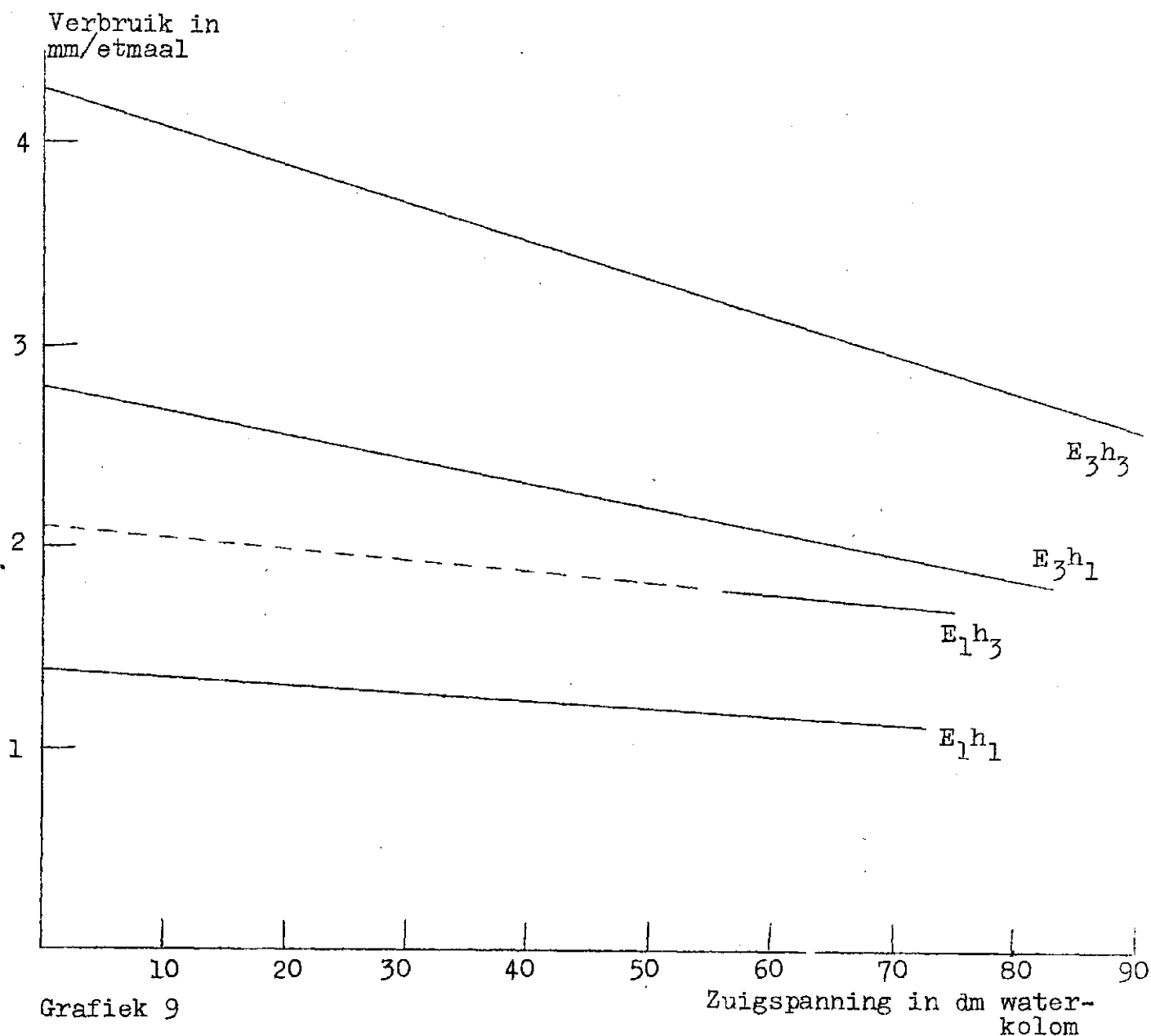
Bezien wij de grafieken, dan blijkt, dat de invloed van de grashoogte het best door een lineair verband benaderd kan worden (grafiek 8). Of dit bij grotere grashoogte zo blijft, moet betwijfeld worden. Bij een combinatie van een groot atmometerverbruik met een lage zuigspanning (vochtige grond) is het



Grafiek 8

verbruik het grootst, bij gering verdampingsvermogen der atmosfeer en droge grond is het verbruik het geringst.

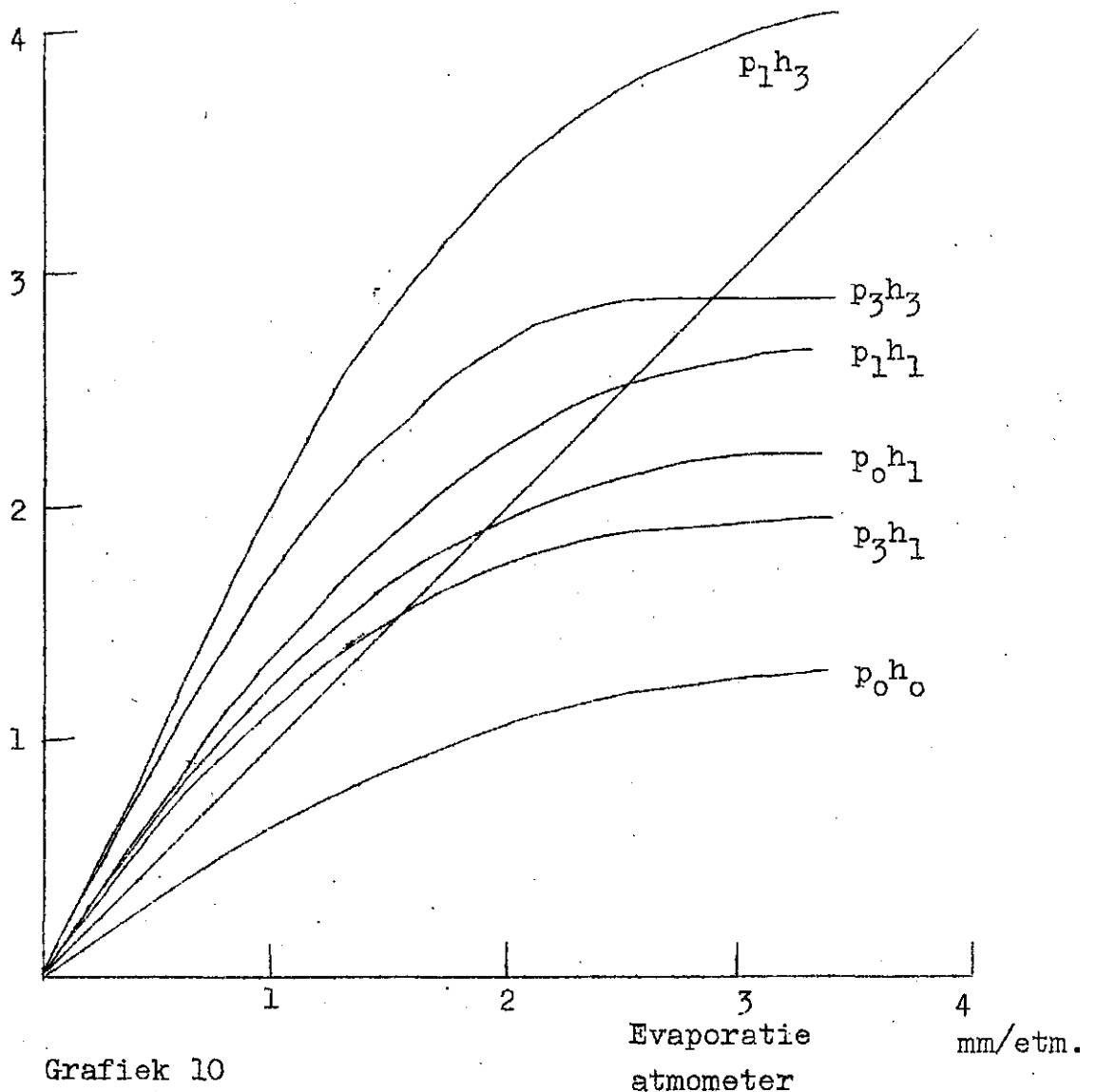
De invloed van de zuigspanning in de laag van 0 - 10 cm wordt het best door rechte lijnen voorgesteld (grafiek 9). Men



ziet ook hier weer, dat bij droger wordende grond het waterverbruik afneemt. De toenemende capillaire spanning beperkt de watertoevoer.

De samenhang met de verdampende atmosfeer is in de hogere trajecten kromlijng (grafiek 10). Bij alle combinaties van grashoogte en zuigspanning treedt bij toenemende evaporatie der atmosfeer een toenemende limitering der transpiratie op. Deze leidt ertoe, dat bij droge grond ( $p_{3h1}$  en  $p_{3h3}$ ) de transpiratie zijn maximum bereikt bij vrij lage waarden der evaporatie. Wanneer de grond natter is ( $p_{1h1}$ ,  $p_{1h3}$ ) en deze daardoor de toevoer aan het gras vergemakkelijkt, verschuift de evaporatiewaarde, waarbij de transpiratie maximaal wordt, naar hogere evaporatiewaarden. Dat bij langer gras de volledige limitering bij hogere evaporatiewaarden optreedt dan bij korter gras, zoals dat in de kromme  $p_{1h3}$  en  $p_{1h1}$  tot uitdrukking komt, lijkt niet waarschijn-

Verbruik in  
mm/etmaal



lijk. Verfijning der bewerking zal moeten leren of de kromming in deze eerste benadering in dit opzicht wel zuiver is weergegeven.

#### Evaporatie en transpiratie.

Voor de atmometers is het verbruik in mm weergegeven, zoals ook bij een vrije wateroppervlakte gebruikelijk is. Dit was mogelijk, omdat hun verdampende oppervlak bekend was. Wij kunnen nu de 45°-lijn trekken, waarop de transpiratiewaarden liggen voor de dagen, waarop het quotient transpiratie : evaporatie (de z.g. relatieve transpiratie, de factor  $f$  van Penman (1948)) gelijk is aan 1.

Wij mogen de evaporatie van onze atmometers echter niet gelijkstellen met die van een bak met water, waarvan het niveau ter hoogte van het maaiveld ligt. Onze atmometers staken n.l. boven het gras uit en bevonden zich dus in een luchtlaag met meer beweging dan waarmee lucht gewoonlijk over een watervlakte strijkt. Alle waarden der evaporatie zouden daarom verkleind moeten worden. In onze grafiek zou de 45°-lijn steiler lopen; hoeveel steiler, zou een vergelijking van atmometer en vrije wateroppervlakte moeten leren. Wij kunnen wel reeds nu zeggen, dat deze

lijn moet samenvallen met het rechte stuk van de lijn  $p_{oh_x}$ , overeenkomend met een zuigspanning  $\approx 0$  dm en een grashoogte van hetzelfde transpirerend vermogen als een watervlak. Waar deze lijn zou moeten liggen, is niet te zeggen. In elk geval is zeker, dat op een groot aantal dagen in het jaar het quotient  $f$  groter is dan 1, als gevolg van de grote invloed der grashoogte. Voor de waarnemingen bij onze atmometeropstelling is de lijn, waarvoor  $f = 1$ , in de grafiek weergegeven. Ook zijn ingetekend een lijn voor gras van een hoogte van 9 cm. dat transpireerde bij een zuigspanning  $\approx 0$  ( $p_{oh_1}$ ) en een lijn voor gras van 4 cm bij dezelfde zuigspanning ( $p_{oh_0}$ ). Wij zien, dat gras van 9 cm ( $p_{oh_1}$ ) bij lagere verdamping een relatieve transpiratie heeft  $> 1$ , terwijl dit quotient voor gras van 4 cm ( $p_{oh_0}$ ) steeds beneden 1 blijft. Dit wil zeggen, dat kort gras niet dezelfde totale transpiratie in een etmaal kan halen als een vrije wateroppervlakte en dat dit deficit door een grotere grashoogte kan worden gecompenseerd. Wij zien, dat bij de hogere evaporatiewaarden de tendens bestaat, dat  $f$  kleiner wordt. Wij schreven dit toe aan een limitering tengevolge van een dalende hydratuur, die de plant zijn huidmondjes doet sluiten. Inderdaad is uit de literatuur bekend, dat dit sluiten op zomerdagen al kort na 12 uur kan plaats vinden, zodat het in het algemeen niet geoorloofd is een stijging der waarde van  $f$  in de zomer toe te schrijven aan een langer open blijven van de huidmondjes (Schofield 1950). Inderdaad daalt de hydratuur zelfs op dagen, dat de zuigspanning in de bovenlaag van de grond (0 - 10 cm) zeer laag blijft (beneden 7 dm waterkolom), zoals uit tabel 7 blijkt. Hierin is te zien, dat zelfs voor een dag met een geringe evaporatie (20 Oct.) het vochtgehalte (opgegeven als veelvoud van de droge stof) in de loop van de dag afneemt. Dit is het gevolg van het feit, dat de wateraanvoer de transpiratie niet kan bijhouden. In de regel stijgt tegen de avond het vochtgehalte weer zoals voor 23 Sept. uit de tabel blijkt.

De mening van Penman (1948), dat bij een ideale watervoorziening een korte grasvegetatie minder water moet verliezen dan een vrije wateroppervlakte, is juist. Dit is in hoofdzaak het gevolg van het feit, dat de huidmondjes korter of langer tijd gesloten zijn naar gelang van de grootte van het geleden waterverlies en het onvermogen van de plant dit volledig aan te vullen. Dit is ook het geval als het gras niet alleen kort is, maar ook zo ijl, dat zijn transpiratie met de bodemevaporatie tezamen minder verdampt dan een vrije wateroppervlakte. Dat hiermee zijn temperatuur zal stijgen, is onvermijdelijk.

datum	E . V . mm/etm.		h cm	p dm	vochtcoëfficiënten op verschillende tijdstippen			
19 Sept.	2,3	2,2	8	7	9,30	3,2	13,30	2,6
23 Sept.	2,8	2,8	9,5	4	12,00	3,2	15,00	2,5 ; 18,00 3,4
26 Oct.	2,4	3,0	10,5	4	8,30	3,2	14,00	2,3
28 Oct.	0,8	1,5	12	25	11,00	4,6	16,00	3,5

Tabel 7. Evaporatie der atmometer (E), transpiratie van het gras (V), grashoogte (h), zuigspanning (p), en enige vochtgehalten (in veelvouden van de droge stof op 2 of 3 tijdstippen van de dag) voor 4 datums.



Ik wil hier nog even wijzen op het gevaar, dat het hanteren van de factor  $f$  met zich meebrengt. Inderdaad is het quotient transpiratie evaporatie een handige grootheid. Men beseffe echter goed, dat men over langere perioden in de eerste plaats rekening dient te houden met de grashoogte, in mindere mate met de zuigspanning van de grond. Men dient dus over langere perioden steeds dag voor dag een waterverbruikscijfer uit de evaporatie te berekenen voor de vigerende grashoogte en zuigspanning. Het eindcijfer voor het waterverbruik over de periode mag slechts door integreren worden verkregen. Penman is zich deze foutenbron onvoldoende bewust geweest. Eensdeels aanvaardt hij een constante grondwaterstand van 40 cm als een ideale watervoorziening. Zonder twijfel is tot het maaiveld toe de zuigspanning niet steeds constant en bovendien evenmin  $\approx 0$ , maar hoger naarmate het waterverbruik de capillaire nalevering overtreft. Anderdeels, en dit is belangrijker, is bij een grasvegetatie, zelfs al wordt deze kort gehouden door frequent knippen (hoe vaak geeft Penman niet op) de hoogte variabel en dus van ongelijke invloed. Omdat de grashoogte de factor met de sterkste invloed is, is het niet uitgesloten, dat het seizoensverschil in de  $f$  aan een zij het betrekkelijk gering verschil in gemiddelde grashoogte is toe te schrijven.

#### De transpiratie-coëfficiënt.

Uit onze gegevens kan voor verschillende perioden van het groeiseizoen de transpiratie-coëfficiënt berekend worden, d.i. de verhouding tussen de hoeveelheid getranspireerd water en de hoeveelheid geproduceerde droge stof. Voor de afzonderlijke dagen is de toename aan droge stof niet nauwkeurig af te leiden uit de droge stof van het gras der gebruikte zoden. Voor langere perioden kon echter de aanwas wel worden gemeten uit een droge stof-datum-grafiek, waarin de droge gewichten van alle betrokken zoden zijn vermeld. Over de periode van 25 Mei tot en met 12 September laat zich aldus een droge-stof-productie van 24,5 g per zode bepalen, d.i. rond 3,9 ton droge stof per ha. Op een veldje van 1 are, afgeheind op het proefveld, werd in die periode met 3 x oogsten 44,2 kg droge stof verkregen, dus rond 4,4 ton per ha. Het verschil is, gezien de andere wijze van bepalen en de andere maaitijdstippen, wellicht niet van betekenis. Wij willen volstaan met opgaven betreffende de zoden over perioden van een maand. Ze zijn in tabel 8 weergegeven.

	aanwas droge stof in g/m <sup>2</sup>	waterverbruik mm	trans.coëff.
Juni	144	114	790
Juli	112	118	1050
Aug.	88	96	1090
Sept.	56	63	1120
Oct.	0	71	-
Tezamen	400	462	1160

Tabel 8. Droge stof-aanwas, waterverbruik en transpiratie-coëfficiënten over 5 maanden van 1949.

De volgende opmerkingen moeten vooraf gemaakt worden. In October stond de grasgroei volkomen stil, vermoedelijk als gevolg van een roestaantasting, die al veel eerder merkbaar was. Zoals uit de literatuur blijkt (Briggs & Shantz 1913), verhoogt een roestaantasting de transpiratie-coëfficiënt. Dit zal een belangrijke oorzaak zijn geweest voor de hoge transpiratie-coëfficiënten, die wij berekenden. Een tweede oorzaak kan gelegen zijn in de droge zomer 1949. In de literatuur vindt men n.l. opgaven, dat in droge zomers de transpiratie-coëfficiënt hoog is (Tulaikov, zie Maximov 1929).

Men ziet verder, dat de groeistilstand in October, de gemiddelde transpiratie-coëfficiënt boven de maandcoëfficiënten heeft doen stijgen.

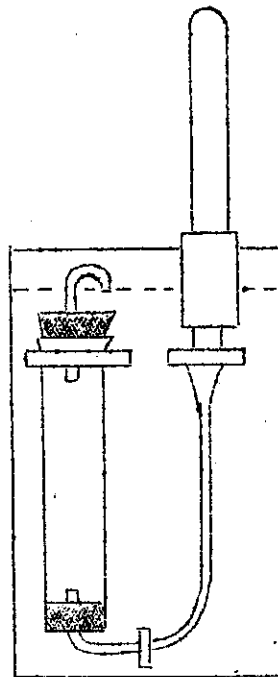
Het ligt niet in de bedoeling de transpiratie-coëfficiënt in beschouwing te nemen. Wel kan hier de opmerking worden gemaakt, dat de transpiratie (dus de teller van het quotient transpiratie : productie, o.m. sterk wordt verlaagd door een laag gewas; de noemer wordt vergroot door een gewas, dat in zeker tijdsinterval veel produceert. Een lage coëfficiënt treedt dus op bij een kort, snel groeiend gewas. Daarentegen is de coëfficiënt groot bij een hoog gewas, dat niet meer groeit en eventueel van zijn reserves inteert.

#### Aanwijzingen.

Wij voegen een nomogram toe (grafiek 11) met ingangen voor grashoogte, evaporatie en zuigspanning, waaruit de transpiratie bij benadering gevonden kan worden, wanneer de drie genoemde grootheden op onze manier zijn gemeten. Wij geven deze nog met enig voorbehoud, omdat de uiteindelijke bewerking van het materiaal nog niet gereed is.

De grashoogte werd gemeten met een plankje van ca. 20 cm breed en 30 cm hoog, waarop horizontale lijnen waren getekend op afstanden van 1 cm. De lijnen bij hoogten van een veelvoud van 5 cm waren wat dikker. Dit werd tussen het gras gezet en het cijfer afgelezen bij de lijn, die het beste een uitdrukking leek te zijn voor de gemiddelde grashoogte.

De tensiometers stonden in de laag van 0 - 10 cm. Zij zijn beschreven in het Maandblad van de Landbouwvoorlichtingsdienst, November 1949 (jeurgang 6, blz. 482). De atmometer, die voor een aflezing per etmaal gebruikt zal worden, zal bij een poreus element van  $\varnothing$  18 mm en 90 mm hoogte niet meer dan 35 cc water verbruiken. Een maatglas van 50 cc kan hiervoor gebruikt worden, (fig. 2) waarop een mm-schaal kan worden aangebracht, die geijkt is op het oppervlak van het potje. Het reservoir moet dagelijks worden bijgevuld. De atmometer dient e.v. in een gat in de grond gezet te worden, zodat het potje juist boven het gras uitsteekt. Lucht-bellen, die in het potje zouden komen, dienen verwijderd te worden, door het instrument om te keren en de stop af te nemen.



Atmometer gewijzigd volgens Mitscherlich

No S 829

300 ex.

V mm (Waterverbruik per etmaal)

V mm

NOMOGRAM

A mm atmometer-  
evaporatie

4,0

3,6

3,2

2,8

2,4

2,0

1,8

1,6

1,4

1,2

1,0

0,8

0,6

0,4

0,2

A mm

2,4

2,0

1,8

1,6

1,4

1,2

1,0

0,8

0,6

0,4

0,2

100 Zuigspanning

dm waterkolom

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

