

A
—
05
B
16

Stamboeknr.: 4044

055432 + 09045 + 09066: 50

PROEFSTATION VOOR TUINBOUW ONDER GLAS TE NAALDWIJK

Vochtafvoer uit de kas door ventilatie en condensatie in relatie tot
gewastranspiratie

J.C. Bakker

Naaldwijk, november 1983

Intern verslag nr. 50

22113597

INHOUD

	pag.
Inleiding	1
Lijst van gebruikte symbolen	1
Methode	1
Proefopzet	3
Resultaten	4
Discussie	5
Conclusies	5
Literatuur	6
Samenvatting	7
Figuren	
Bijlage 1	

Vochtafvoer uit de kas door ventilatie en condensatie in relatie tot gewastranspiratie

J.C. Bakker

Inleiding

De toepassing van energiebesparende maatregelen heeft geleid tot kassen met verminderde lekventilatie. Bovendien bestaat de tendens minder te ventileren om de energieverliezen te beperken. Een belangrijke consequentie van deze ontwikkelingen is een verhoogde luchtvochtigheid in de kas met als gevolg een verminderde gewastranspiratie (Buitelaar, 1983).

Door deze veranderingen in het kasklimaat en de transpiratie kunnen problemen ontstaan zoals fysiogene afwijkingen als gevolg van te geringe gewasactiviteit en verminderde ionen opname (Wiersum 1966, Tromp en Oele, 1972). Bladverbranding kan optreden als de planten zich te weinig kunnen koelen als gevolg van te lage transpiratie (Kinbacher, 1966 en Bakker, 1983^a). Bovendien bestaat de kans dat planten geteeld onder hoge luchtvochtigheden (en dus lage transpiratie niveau's) eerder beschadigd worden als gevolg van water stress situaties bij klimaat overgangen (Bakker, 1983^b).

Binnen het kader van het onderzoek naar de invloed van ventilatie op de vochtthuishouding in de kas is een methode ontwikkeld om de gewastranspiratie te berekenen uit de vochtafvoer door ventilatie en condensatie. Als de vochtafvoer uit de kas op minuut-basis berekend kan worden is het mogelijk deze methode in te bouwen in de klimaatregeling zodat de gewastranspiratie (of gewasactiviteit) op een bepaald niveau geregeld kan worden. Het is dan mogelijk om de invloed van bepaalde transpiratie niveau's en overgangen daarvan te onderzoeken zonder directe transpiratie te verrichten.

Lijst van gebruikte symbolen:

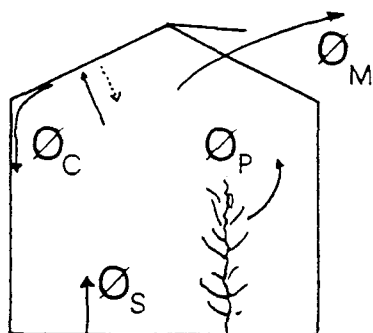
\varnothing_p	gewastranspiratie	$g\ m^{-2}\ min^{-1}$	(*)
\varnothing_s	evaporatie	$g\ m^{-2}\ min^{-1}$	
\varnothing_c	vochtafvoer door condensatie	$g\ m^{-2}\ min^{-1}$	
\varnothing_m	vochtafvoer door ventilatie	$g\ m^{-2}\ min^{-1}$	
\varnothing_v	luchtuitwisseling per oppervlak	$m^{+3}\ m^{-2}\ min^{-1}$	
X_i	specifieke vochtigheid in de kas	$g\ kg^{-1}$	
X_o	specifieke vochtigheid buiten	$g\ kg^{-1}$	
X_g	specifieke vochtigheid tegen glas	$g\ kg^{-1}$	
ρ_p	dichtheid lucht	$kg\ m^{-3}$	
r_w	raamstand	%	
u	windsnelheid	ms^{-1}	
T_k	kastemperatuur	°C	
T_g	glastemperatuur	°C	
T_b	buitentemperatuur	°C	
K_c	overdrachtcoëfficiënt		
	vocht van kaslucht naar glas	ms^{-1}	
A	glasoppervlak per m^{-2} kas	$m^{+2}\ m^{-2}$	

* - er is gewerkt met minuten als tijdseenheid i.v.m. de cyclustijd van de gebruikte computer)

Methode

- Theorie

Er wordt aangenomen dat er in de kaslucht en tegen het kasdek geen opslag van vocht plaatsvindt. Dit geldt voor een evenwichtsituatie of een lange termijn benadering (dag basis). De vochtbalans kan dan worden beschreven zoals weergegeven in figuur 1.



$$\varnothing_P + \varnothing_S = \varnothing_M + \varnothing_C$$

Figuur 1. vereenvoudigde schematische weergave vochtbalans in de kas.

Onder de hierboven beschreven voorwaarden is alleen de fractie afdrup condens van belang. Eventuele terug verdampte condens levert een bijdrage aan de X_i en wordt via de ventilatie afvoer in de berekening van de totale balans opgenomen.

In kassen met substraatteelt kan worden aangenomen dat $\varnothing_S = 0$, mits de grond volledig is afgedekt en de verdampte hoeveelheid drainage water verwaarloosd wordt (bv. bij recirculatie systeem). De vochtbalans (op lange termijn basis) kan dan worden teruggebracht tot:

$$\varnothing_P = \varnothing_M + \varnothing_C \quad (2)$$

- Vochtafvoer door ventilatie

De vochtafvoer door ventilatie kan benaderd worden door (Bakker en van de Vooren, 1983):

$$\varnothing_M = \varnothing_V * (X_i - X_o) * \rho_p \quad (3)$$

De vochtigheid binnen (X_i) en buiten (X_o) kunnen gemeten worden, evenals de dichtheid van de lucht. De ontbrekende factor is de luchtuitwisseling van kaslucht met buitenlucht (= ventilatievoud).

Het ventilatievoud van de kas kan bepaald worden met de zogenaamde tracer gas methode (Nederhoff, 1983 en Goedhart, 1983).

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de volgende relatie voor het ventilatievoud (Bot, 1982):

$$\varnothing_V = 2.75 \times 10^{-3} \times (1 - e^{-0.0208 \times (r_w + 1)}) \times u \quad (4) \quad 1)$$

Deze relatie heeft een geldigheid voor raamstanden van 0 tot 100 % (als gewerkt wordt in periodes met zeer geringe raamstanden kan het zinvol zijn voor kleinere trajecten van raamstanden een andere relatie te gebruiken. Door combinatie van de relatie (3) en (4) kan de vochtafvoer uit de kas berekend worden.

- Vochtafvoer door condensatie

De vochtafvoer door condensatie hangt af van de vochtigheid in de kas en de glastemperatuur. De glastemperatuur bepaalt de maximale vochtigheid tegen het glas, een lagere glastemperatuur geeft eerder condensatie omdat het dauwpunt eerder overschreden wordt.

De afvoer door condens kan worden voorgesteld door (Bot, 1982):

$$\dot{Q}_C = A * K_C * (X_i - X_g) * 60 \quad (5)$$

De factor K_C is afhankelijk van diverse factoren zoals windsnelheid langs de binnenkant van het glas. Als eerste benadering is gekozen voor een constante K_C met als waarde $3.5 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$. X_g is berekend uit de glastemperatuur.

In bijlage 1 is een overzicht gegeven van de gebruikte omrekeningen in het programma ANPARE.

Opmerking

Voor het berekenen van de vochtafvoer op korte termijn basis is het noodzakelijk rekening te houden met verandering van de luchtvochtigheid in de kas, eventuele terug verdamping van condens en de hoeveelheid aanwezige condens tegen het glas. Het model wordt daardoor aanmerkelijk ingewikkelder. Met name het condensdeel moet daarvoor nauwkeuriger beschreven worden. De eerste resultaten over deze korte termijn berekeningen zijn gepubliceerd in Acta horticulturae 148 (Bakker, 1983 b).

Proefopzet

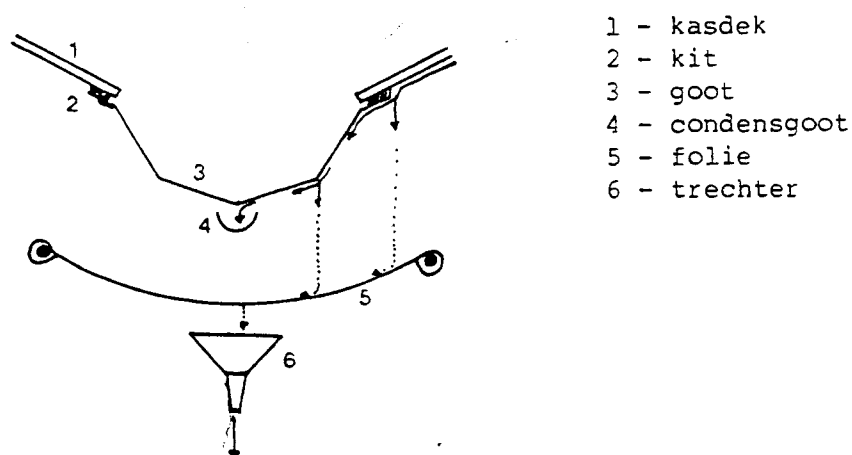
In een afdeling van B-11 zijn komkommers geteeld op steenwol met plantdichtheid van 1.75 planten per m^2 . De stooktemperaturen waren 23 / 19 °C dag/nacht, ventilatie 25 / 21 °C. Het waterverbruik is gemeten aan 8 planten. Om de transpiratie te bepalen is het waterverbruik gecorrigeerd voor de produktie van deze planten. Er is niet gecorrigeerd voor de toename van het versgewicht van de planten zelf. De fout die hierdoor optreedt is geschat op 2% aan de hand van versgewicht bepalingen van een aantal planten.

Voor het bepalen van de glastemperatuur is gebruik gemaakt van vier glasthermokoppels. Deze zijn met glaslijm en dekglasjes tegen de binnenkant van het kasdek bevestigd.

Behalve de metingen van de glastemperatuur voor het berekenen van X_g kan ook een schatting van de glastemperatuur gebruikt worden. In deze proef is de condensafvoer berekend met het model (5). Er zijn continu twee berekeningen uitgevoerd: één waarbij gebruik gemaakt is van de gemeten glastemperatuur en één waarbij een schatting voor de glastemperatuur is gebruikt. De glastemperatuur is geschat met (Bot, 1982):

$$T_g = T_b + 1/3 * (T_k - T_b)$$

Om de hoeveelheid afdrup condens te bepalen en daarmee het condensmodel te controleren is één goot afgekit zodat er geen condenswater naar buiten kon verdwijnen. Het water is opgevangen uit de condensgoot, om ook de fractie water op te vangen die naast de condensgoot afdrupt is onder de goot van plastic folie een tweede goot aangebracht (figuur 2)



Figuur 2. Schema condensopvang

De vochtafvoer door ventilatie en condensatie werden elke minuut berekend uit de vergelijkingen (3), (4) en (5). De vochtigheid in de kas werd berekend uit droge- en natte bol temperaturen. Voor de buitenomstandigheden zijn de gegevens van de weertoren gebruikt (u , X_0 en T_b).

Resultaten

De verdeling ventilatie/condensatie afvoer is weergegeven in figuur 3. Duidelijk is dat de totale vochtafvoer (gemiddeld) toeneemt in de eerste maand na het planten, dit als gevolg van de gewas groei en de stralingstoename in deze periode van het jaar (= toename transpiratie). In de eerste 2 maanden is het aandeel condens ongeveer 65-70% van de totale afvoer, na dag 50 (17 april) daalt de fractie condens tot ca 50%. Opvallend is dat zelfs half mei de fractie condens nog 50% bedraagt van de totale vochtafvoer. Gemiddeld over de totale periode van 25/2 t/m 24/5 bedroeg de condens fractie 58%.

In figuur 4 is het verloop van de vochtafvoer door ventilatie en condensatie cumulatief weergegeven samen met de cumulatieve verdamping. Er blijkt een zeer goed verband te bestaan tussen de berekende hoeveelheid ventilatie afvoer, de opgevangen condens en de totale transpiratie. In figuur 5 is dit nogmaals duidelijk gemaakt door de totale cumulatieve afvoer en de gewastranspiratie tegen elkaar uit te zetten.

In figuur 6 is de totale vochtafvoer (ventilatie + opvang condens) uitgezet tegen de gewastranspiratie voor korte periodes van 1 tot 3 dagen. Ook hieruit blijkt een duidelijke positieve correlatie.

De condensopvang ligt 30 tot 50 % lager dan de berekende hoeveelheid via het gebruikte condensatiemodel. In figuur 7 is de opgevangen hoeveelheid lineair uitgezet tegen de berekende hoeveelheid bij gebruik van de gemeten glastemperatuur. Figuur 8 geeft de lineaire relatie weer bij gebruik van de geschatte glastemperatuur. Gebruik van de gemeten glastemperatuur geeft een iets hogere correlatie (0.985) dan gebruik van de geschatte glastemperatuur (0.973).

Discussie

De vochtbalans op lange termijn blijkt redelijk te beschrijven met het simpele model zoals weergegeven in figuur 1 (blz. 2). De gewastranspiratie op lange termijn is gelijk aan de vochtafvoer door ventilatie en condensatie (figuur 4, 5 en 6). Hierdoor is het mogelijk de lange termijn invloed van verschillende ventilatieregimes te onderzoeken zonder directe transpiratiemetingen uit te voeren. Om echter ook condens opvang te vermijden, is het noodzakelijk het gebruikte condensmodel verder te ontwikkelen. Dit gezien de grote verschillen tussen opgevangen condens en berekende afvoer (figuur 7 en 8).

Verbetering van het condensmodel is mogelijk door te kiezen voor een variabele k_c (afhankelijk van kas- en gewastemperatuur) en een bepaalde bufferhoeveelheid tegen het glas waarbij rekening gehouden wordt met terugverdamping van condens.

Het door Bailey (1983) gebruikte model kan hiervoor als basis dienen. De verwachting is dat het model hierdoor ook bruikbaar wordt voor het berekenen van de condensafvoer op korte-termijn-basis. Een eerste onderzoek heeft aangetoond dat er ook op korte-termijn-basis een verband bestaat tussen ventilatie- en condensatieafvoer en gewastranspiratie (Bakker, 1983 b).

De fractie condensafvoer in de totale vochtafvoer is vooral in de beginmaand erg groot (figuur 3). Het is duidelijk dat de grote hoeveelheid condens tevens een belangrijk aandeel vormt in het energieverlies van de kas. Reductie van condens geeft daardoor een energiebesparing. Bailey (1983) onderzocht de effecten van verlaging van luchtvochtigheid op de totale energie-balans. Bij het gebruik van een warmtepomp daalde het energieverlies met 30 %. Bij de huidige prijzen van brandstof voor de warmtepomp en brander voor kasverwarming bleek deze manier van energiebesparing echter niet rendabel. Ten aanzien van de condensafvoer kan nog opgemerkt worden dat opvang hiervan voor substraattelers een belangrijke aanvulling van hun watervoorraad zou kunnen betekenen. Helaas is gebleken dat het condenswater vervuild is met zink en eventueel bestrijdingsmiddelen. Zolang dit probleem niet is opgelost, lijkt het niet aan te bevelen dit water te recirculeren.

Uit een eerder onderzoek is gebleken dat het mogelijk is de vochtafvoer door ventilatie in te bouwen in de klimaatregeling (Bakker en van de Vooren, 1983).

In het onderzoek in B-10 in de zomer van 1983 is getracht de totale vochtafvoer door ventilatie en condensatie te regelen (Bakker, 1983 c). Er is daarbij gebruik gemaakt van het hierboven beschreven condensmodel met een correctiefactor die volgt uit figuur 8. Het probleem hierbij is dat het model gefit is voor lange termijn terwijl er geregeld wordt op minuutbasis.

Ook voor een verbeterde afvoerregeling is daarom een korte-termijn-condensatiemodel nodig.

Conclusies

- De gewastranspiratie (op lange termijn) kan berekend worden uit de vochtafvoer door ventilatie en condensatie.
- Voor regeling van de totale vochtafvoer is het noodzakelijk het condensmodel voor korte termijn benadering geschikt te maken.
- De condensafvoer bedraagt 50 tot 70 % van de totale vochtafvoer, gemeten over de periode 25/2 t/m 24/5.

Literatuur

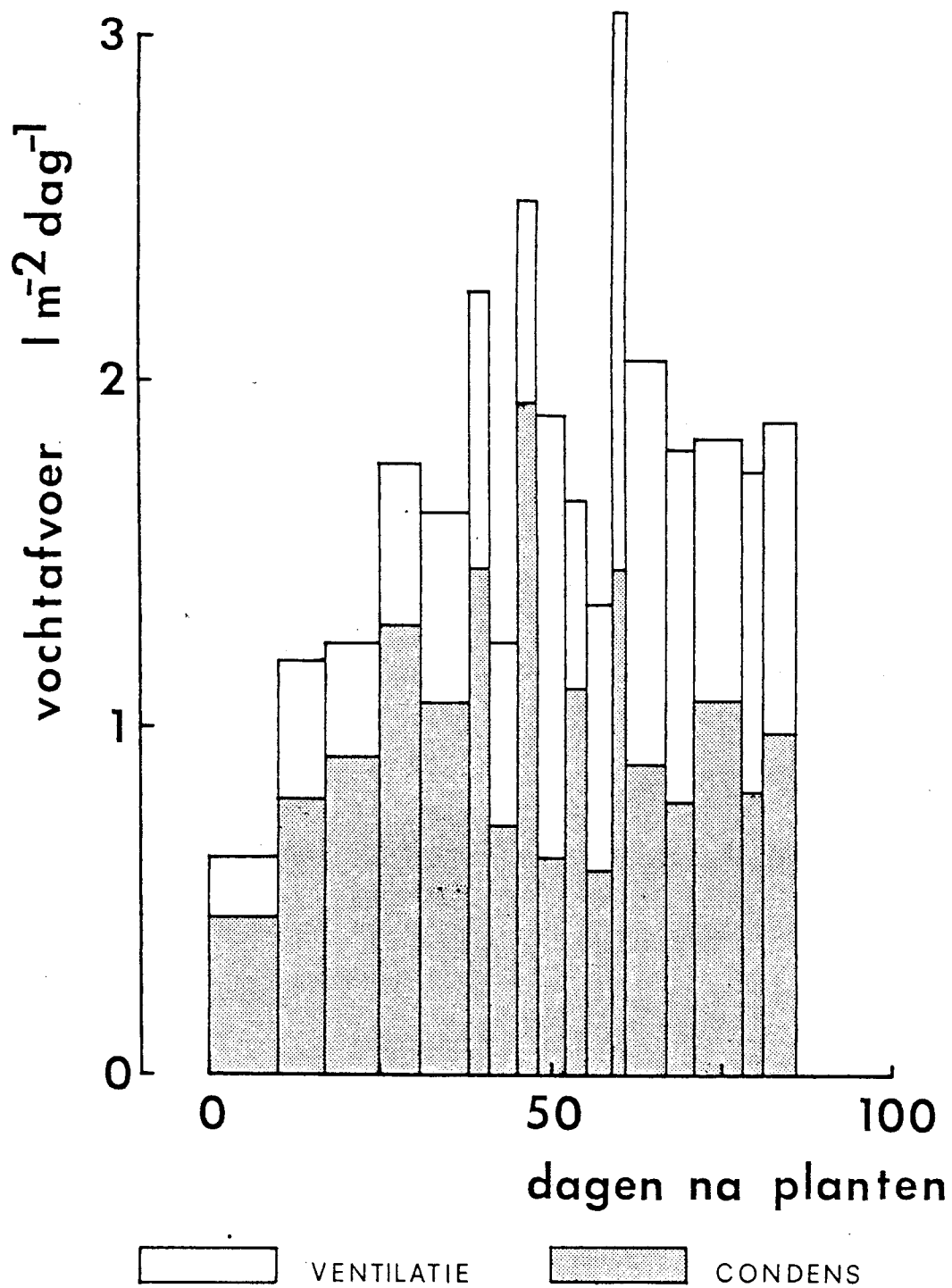
- Bakker, J.C. and van de Vooren, J., 1983.
Watervapourtransport from a greenhouse by ventilation. I. Effects on climate. Acta. Hort. 148 in press.
- Bakker, J.C., 1983 a. Watervapourtransport from a greenhouse by ventilation. II. Effects on cucumber. Acta. Hort. 148 in press.
- Bakker, J.C., 1983 b. Effects of changes in climate on cucumber. Acta. Hort. 148 in press.
- Bakker, J.C., 1983 c. Invloed van vochtafvoer niveau's tijdens de dag en nacht op groei en produktie van komkommers. Intern verslag Proefstation.
- Bailey, B.J., 1983. Limiting the relative humidity in insulated greenhouses at night. Acta. Hort. 148 in press.
- Bot, G.P.A., 1982. Persoonlijke mededeling. Afdeling Natuur- en Weerkunde. L.H. Wageningen.
- Buitelaar, K., 1983. Tomatenonderzoek in de energie-kas in Naaldwijk. Groenten en Fruit. (38) 28 : 61-65 .
- Goedhart, M., Nederhoff, E.M., Udink ten Cate, A.J. and Bot, G.P.A., 1983. Methods and instruments for ventilation rate measurements. Acta. Hort. 148 in press.
- Kinbacher, E.J., 1962. Effect of relative humidity on the high-temperature resistance of winter oats. Crop. Sci. 2, 437-440.
- Nederhoff, E.M., van de Vooren, J. and Udink ten Cate, A.J., 1983. A practical tracer gas method to determine ventilation in greenhouses. J. Agric. Eng. Res. in press.
- Tromp, J. and Oele, J. 1972. Shoot growth and mineral composition of leaves and fruits of apple as affected by relative air humidity. Physiol. Plant 27, 253-258.
- Wiersum, L.K., 1966. Calcium content of fruits and storage tissues in relation to the mode of water supply. Acta. Bot. Neerl. 15, 406-418.

Samenvatting

Binnen het kader van het onderzoek naar de invloed van ventilatie op de vochthuishouding in de kas is een methode ontwikkeld om de gewastranspiratie te berekenen uit de vochtafvoer door ventilatie en condensatie.

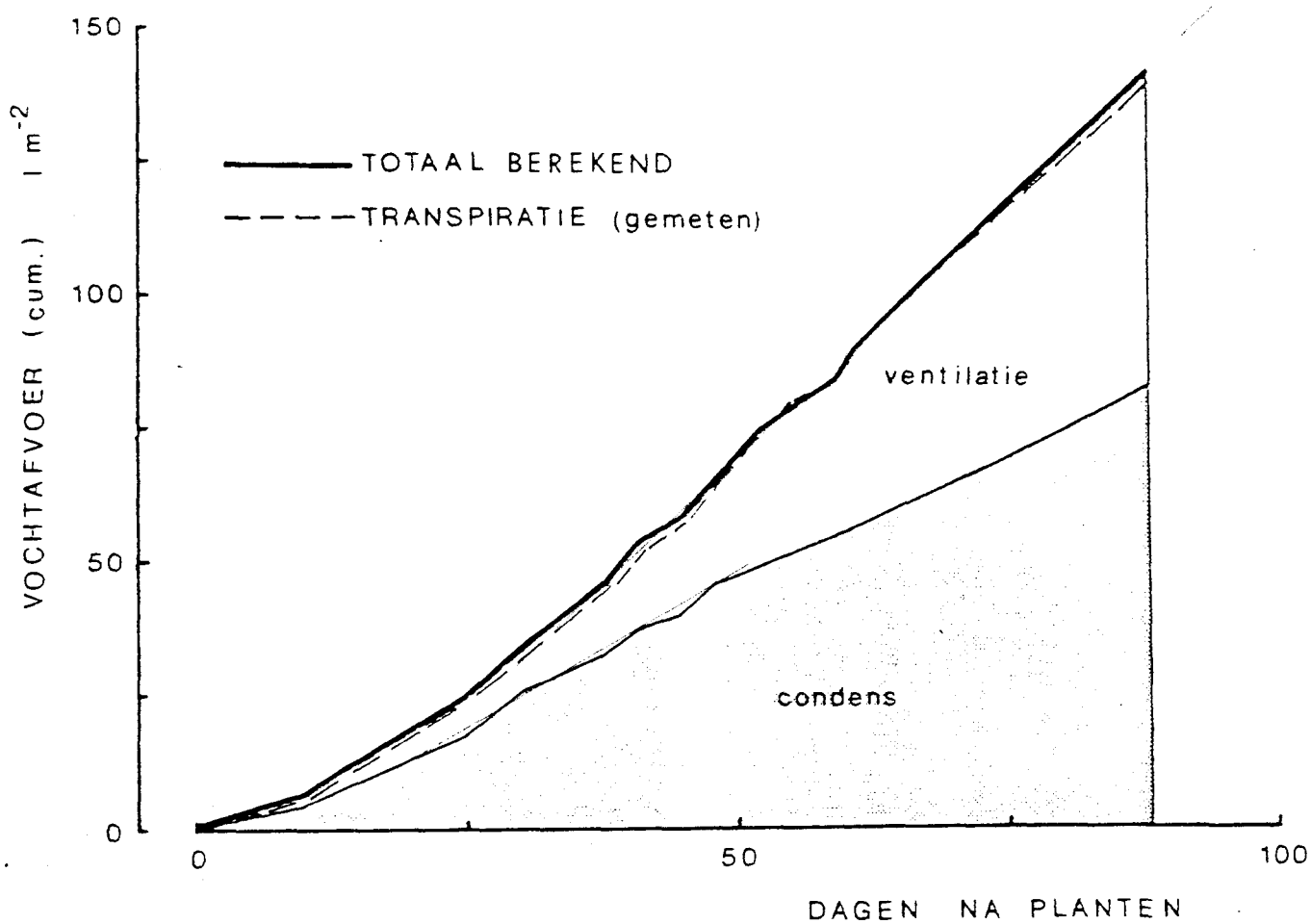
De vochtafvoer door ventilatie is berekend uit vochtgradient tussen kaslucht en atmosfeer en het ventilatievoud van de kas. Voor het berekenen van de vochtafvoer door condensatie is een eenvoudig condensmodel gebruikt met een vast gekozen stof overdracht coëfficiënt.

De totale vochtafvoer door ventilatie en condensatie blijkt, op lange termijn basis, goed overeen te komen met de gewastranspiratie. De fractie condens bedroeg 58%, gemeten over de periode van 25/2 t/m 24/5. De berekende hoeveelheid condens lag duidelijk boven de werkelijk opgevangen hoeveelheid. Het is daarom noodzakelijk het condensatiemodel te verbeteren en het bovendien voor korte termijn benadering geschikt te maken. Hierdoor wordt het mogelijk de vochtafvoer in de klimaatregeling in te bouwen om de invloed van bepaalde vochtafvoerniveau's (= gewastranspiratie niveau's) en overgangen daarvan te onderzoeken zonder directe transpiratie metingen te verrichten.

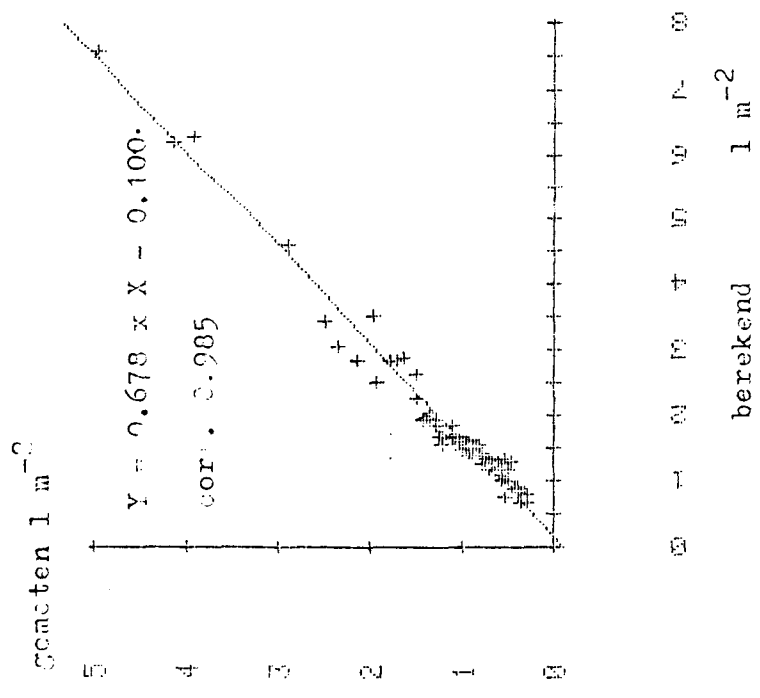


Figuur 3. Verdeling ventilatie- en condensatieafvoer.

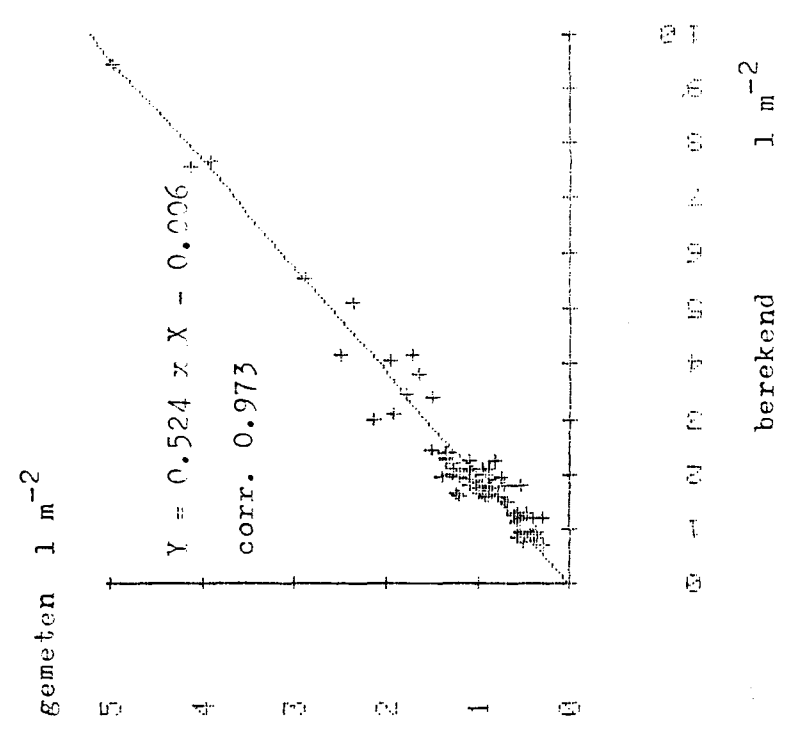
Dag 0 = 25 / 2 / 1983



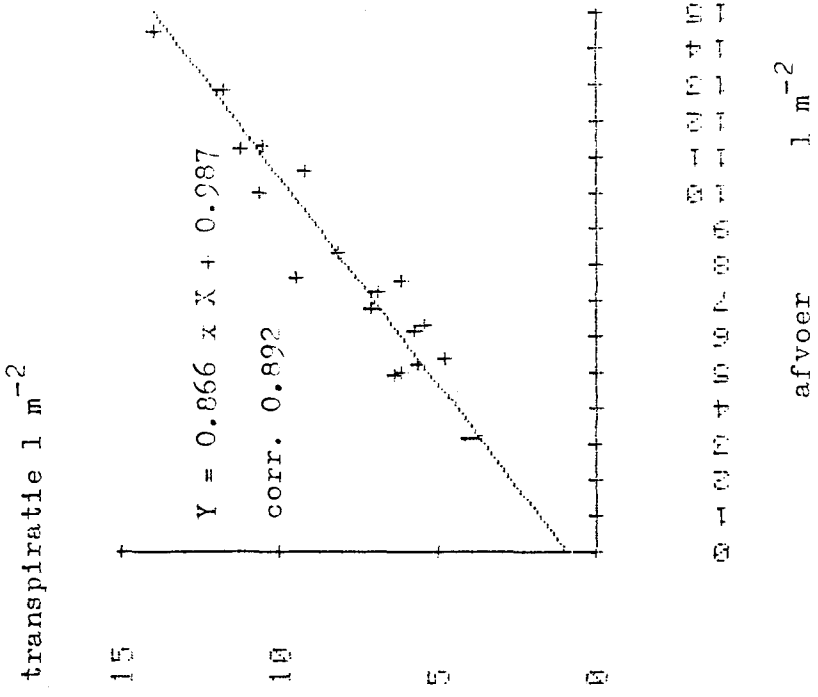
Figuur 4. Cumulatieve vochtafvoer door ventilatie en condensatie en de cumulatieve transpiratie. Dag 0 = 25 / 2 / 1983.



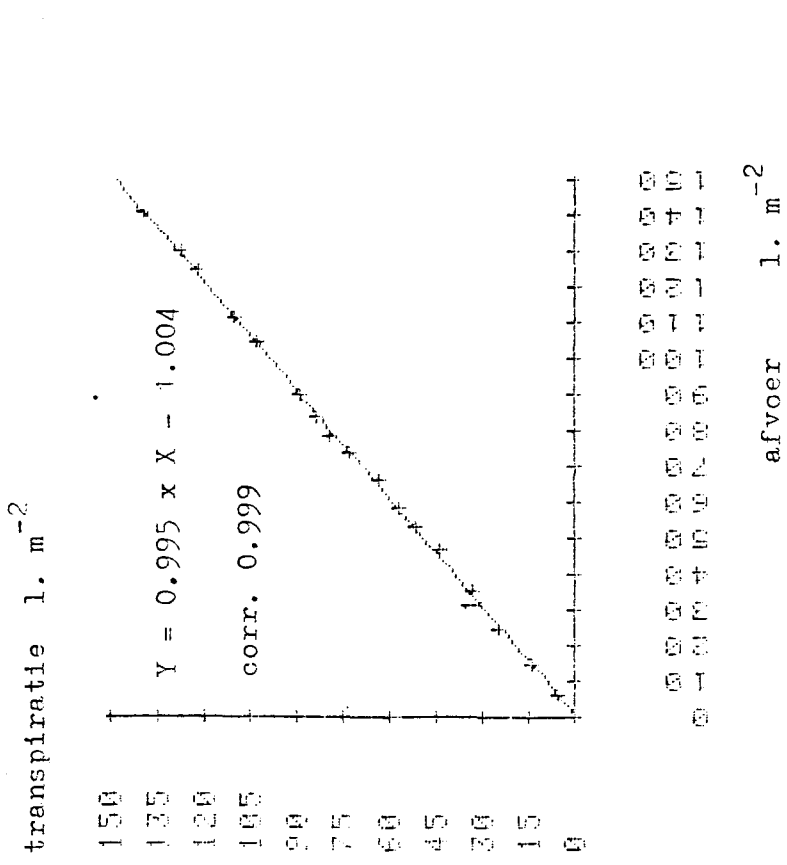
Figuur 7. Verband tussen gemeten en berekende hoeveelheid condens uit de gemeten glastemperatuur.



Figuur 8. Verband tussen gemeten en berekende hoeveelheid condens uit geschatte glastemperatuur.



Figuur 6. Verband tussen gemeten transpiratie en berekende vochtafvoer over korte periodes (1 - 3 dagen).



Figuur 5. Verband tussen gemeten transpiratie en berekende vochtafvoer (cumulatief).

```

C
C BEFEKENING HOEVEELHEID AFGEVOERD VOCHT VIA VENTILATIE B-11
C [1.210 + MIN-1 + N-2KASOPPERVLAK] EXPERIMENT JC BAKKER
C
      W1=FER(IP1)      W1= vocht absoluut in kas
      W2=FER(IP2)      W2= raamstand
      IF(.NOT.(W1.EQ.-32768.).OR.(W2.EQ.-32768.)) GOTO 1610
      FER(NR)=-32768.
      GOTO 1699
1610 CONTINUE
C BEFEKENING DVABS
      W1=(W1-FER(1B))*1.285
      W2=-0.8288*(W2+1.)
      FER(NR)=1-EXP(W2)
      FER(NR)=FER(NR)+B.157+FER(9)+W1+10+60/57.6
1699 CONTINUE
      GOTO 9999
17 CONTINUE
      IF(MODUS.NE.17) GOTO 18
C
C SCHATTING VOCHTAFVOER DOOR CONDENS B-11 W1=KASTEMP., W2=VOCHTABS.
C [1.210 + MIN-1 + N-2KASOPPERVLAK] EXPERIMENT JC BAKKER
C
      W1=FER(IP1)
      W2=FER(IP2)
      IF(.NOT.(W1.EQ.-32768.).OR.(W2.EQ.-32768.)) GOTO 1710
      FER(NR)=-32768.
      GOTO 1799
1710 CONTINUE
C SCHATTING GLASTEMPERatuur MET TKAS EN TBUITEN
      Y=FER(2)+(W1-FER(2))/3
C SCHATTING ABSOLUUT VOCHT TEGEN GLAS
      P1=8.1844+B.88849333*(Y*Y)
      P2=D(Y,Y)*P1
C CONDENSCHATTING
      FER(NR)=B.8835*(W2-P2)*((213.1/192)*GLASOPPERVLAK/GROONDOPPERVLAK
      FER(NR)=B.8835*(W2-P2)*((213.1/192)*68+10+1.293/(1.+B.88367*W1))
C
      IF(FER(NR).LE.B.) FER(NR)=B.
1799 CONTINUE
      GOTO 9999

```

Verklaring $D(Y;Y) = 10 (0.6609 + (7.5 \times Y) / (237.3 + Y))$