

Landbouwhogeschool-Wageningen  
CENTRUM VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK IN SURINAME

VERDAMPINGSMETINGEN IN SURINAME  
(70/23)

Deel II: De ijking van de lysimeter en de bepaling  
van de meetnauwkeurigheid

M.A.M. Mann

Verslag van een onderzoek verricht onder leiding van  
Dr.Ir. R.W.R. Koopmans en Ir. W.H.J. Vochtelo

augustus 1972

## I N H O U D

	Blz.
1. <u>Samenvatting</u> . . . . .	5
2. <u>Voorwoord</u> . . . . .	5
3. <u>Inleiding</u> . . . . .	5
3.1. Algemeen . . . . .	5
3.2. Meting van de bergingsverandering . . . . .	6
3.3. Meting van de runn-off en drainage . . . . .	6
3.4. Meting van de neerslag . . . . .	6
4. <u>Methodiek</u> . . . . .	7
5. <u>Uitvoering</u> . . . . .	7
5.1. De ijking van de manometer . . . . .	7
5.2. De ijkingen van het runn-off en van het drainagevat . . . . .	7
6. <u>Resultaten</u> . . . . .	8
6.1. De verdampingsformule van de lysimeter . . . . .	8
6.2. De nauwkeurigheid van de bepaling van de evapotranspiratie . . . . .	10
7. <u>Discussie</u> . . . . .	12
8. <u>Conclusies</u> . . . . .	13
9. <u>Literatuur</u> . . . . .	13

## 1. SAMENVATTING

Aan de hand van ijkings van de manometer en de verzamelvaten voor de runn-off en drainage, werd de verdampingsformule van de lysimeter bepaald op:

$$E = P - \left\{ 0,043 (\Delta h_r + \sum W_r) + 0,043 (\Delta h_d + \sum W_d) + 0,343 \Delta h_m \right\}$$

waarin:

$E$  = de berekende evapotranspiratie over de beschouwde periode  $\Delta t$

$P$  = de gemeten neerslag over  $\Delta t$

$0,043 (\Delta h_r + \sum W_r)$  = de uit de meetgegevens berekende runn-off over  $\Delta t$

$0,043 \Delta h_m$  = de uit de meetgegevens berekende bergingsverandering over  $\Delta t$

Al deze grootheden worden uitgedruk in mm waterschijf ( $\text{mm}^*$ )

De standaardafwijking van de bepaling van de evapotranspiratie bleek bij benadering 0,5 mm te bedragen.

## 2. VOORWOORD

Dit onderzoek werd verricht door de student M.A.M. Mann, als onderdeel van zijn praktijktijd in Suriname. Hierbij werd hij begeleid door Dr. Ir. R.W.R. Koopmans en Ir. W.H.J. Vochtelo, wetenschappelijk medewerkers van het CELOS.

## 3. INLEIDING

### 3.1. ALGEMEEN

Teneinde nauwkeurige gegevens te kunnen verzamelen over de verdamping van eenjarige gewassen in Suriname, werd op het CELOS-terrein een weegbare lysimeter gebouwd. (KIEFT, 1971). Voordat met de definitieve verdampingsmetingen kon worden begonnen, diende het gehele systeem zorgvuldig te worden getest en geijkt.

Voor de lysimeter kan de volgende waterbalans opgesteld worden:

$$E = P - (R + D + \Delta V)$$

$E$ = evapotranspiratie	$\left( \begin{array}{c} \text{mm}^* \\ " \\ " \\ " \\ " \end{array} \right)$
$P$ = neerslag	
$R$ = runn-off	
$D$ = drainage	
$V$ = verandering van de berging	

De grootheden  $P$ ,  $R$ ,  $D$  en  $V$  worden elk afzonderlijk gemeten.  $E$  volgt dan als restterm uit de waterbalans.

### 3.2. METING VAN DE BERGINGSVERANDERING

Door de gewichtsverandering van de lysimeterbak in  $2$  kg te delen door de oppervlakte van de lysimeterbak in  $m^2$  verkrijgt men de verandering van de berging in  $mm^*$ . De gewichtsverandering van de lysimeterbak wordt gemeten met behulp van een omgekeerde U-manometer. Hierbij wordt het verschil tussen de waterniveau's in beide benen van de manometer bepaald. Dit verschil zal verder worden aangeduid als "de manometeraflezing".

Het verband tussen de gewichtsverandering van de bak en de verandering van de manometeraflezing werd door ijking bepaald. Deze ijking zal verder worden aangeduid als "de ijking van de manometer". Aan de hand van de bij ijking verkregen cijfers kon bovengenoemd verband worden getoetst op lineariteit, nulpuntsvastheid en eventueel optredende hysteresis. Tevens kon een schatting worden gemaakt van de nauwkeurigheid van de bepaling van  $\Delta V$ .

### 3.3. METING VAN DE RUNN-OFF EN DRAINAGE

De runn-off en de drainage worden afzonderlijk opgevangen in cilindrische vaten. Door de hoeveelheid water in l, die in het betreffende vat wordt opgevangen, te delen door de oppervlakte van de lysimeterbak verkrijgt men de runn-off respectievelijk drainage in  $mm^*$ .

De in een vat opgevangen hoeveelheid water wordt gemeten met behulp van een vlotter, waarvan de verplaatsing via een staaldraad wordt overgebracht naar een meetband. De meetband kan worden afgelezen door middel van een vaste index.

Het verband tussen de verandering van de in een vat geborgen hoeveelheid water en de verandering van de aflezing van de meetband werd door ijking bepaald. Deze ijking zal verder worden aangeduid als "de ijking van het runn-off vat respectievelijk drainagevat". Aan de hand van de bij de ijking verkregen cijfers kon een schatting worden gemaakt van de nauwkeurigheid van de bepaling van R en D.

### 3.4. METING VAN DE NEERSLAG

Teneinde de meting van de neerslag gelijktijdig met de overige metingen te kunnen verrichten, werd op enige afstand van de lysimeter een standaardregenmeter ( $4 dm^2$ ) geplaatst, op 1,40 m boven maaiveld.

#### 4. METHODIEK

Om de manometer te ijken werden op de lysimeterbak verschillende belastingen van bekende grootte aangebracht. Bij elk der belastingen werd de manometeraflezing genoteerd.

Ijking van het runn-off- en van het drainagevat geschiedde door de in het betreffende vat aanwezige hoeveelheid water herhaaldelijk met een bekende hoeveelheid aan te vullen. Na elke vulling werd de meetband afgelezen.

#### 5. UITVOERING

##### 5.1. DE IJKING VAN DE MANOMETER

Getracht werd het ijktraject zodanig te kiezen dat het gewicht van de lysimeterbak, na ingebruikname van de lysimeter, binnen de uiterste grenzen van het ijktraject zou blijven. De ondergrens van het ijktraject werd bepaald door het gewicht van de lysimeterbak tijdens de ijking. Daar de grond in de bak tijdens de ijking zeer droog was, is het waarschijnlijk dat het gewicht van de bak na ingebruikname vrijwel altijd groter zal zijn dan tijdens de ijking.

De ijking vond plaats in 2 series. Voor de eerste serie werd gebruik gemaakt van standaardgewichten, waarmee een maximale belasting van 85 kg kon worden bereikt. Daar de lysimeterbak in de verzadigde toestand vermoedelijk meer dan 85 kg zwaarder zal zijn dan tijdens de ijking werd het ijktraject naar boven toe uitgebreid met een tweede serie. Hierbij moest gebruik gemaakt worden van tevoren gewogen stenen. De maximale bereikte belasting bedroeg 224,30 kg. Teneinde eventuele hysteresis te kunnen aantonen werd de belasting in de eerste helft van iedere serie in opgaande, tijdens de tweede helft in neergaande zin gewijzigd.

Daar de bak na plaatsing van de gewichten uit evenwicht geraakt was, werd, alvorens de manometer af te lezen, een insteltijd van 6 minuten in acht genomen. Experimenteel was vastgesteld dat deze tijd de manometeraflezing niet langer beïnvloed werd door schommelingen van de bak.

De hoogten van de waterniveau's in de manometer zijn temperatuurafhankelijk. Het hoogteverschil tussen de niveau's in de beide benen is dit echter niet. Daarom dienden de aflezingen van linker en rechter manometerbeen zo snel mogelijk na elkaar te geschieden.

De aflezing gebeurde in mm nauwkeurig. De laatste halve mm werd geschat.

##### 5.2. DE IJKINGEN VAN HET RUNN-OFF- EN VAN HET DRAINAGEVAT

Voor de ijking van deze vaten werd zoveel water in het vat gebracht dat de vlotter in de laagst toelaatbare stand kwam. Met behulp van een maatcilinder werd herhaaldelijk één liter water toegevoegd, totdat de vlotter de hoogst toelaatbare stand bereikt had. Na iedere toevoeging werd de meetband afgelezen. De aflezing geschiedde in mm nauwkeurig. De laatste halve mm werd geschat.

## 6. RESULTATEN

### 6.1. DE VERDAMPINGSFORMULE VAN DE LYSIMETER

Bij de ijking van de manometer was het op de bak geplaatste gewicht de onafhankelijk variabele en de aflezing de afhankelijk variabele. Evenzo was bij de ijkingen van het runn-off en het drainagevat de in het vat gebrachte hoeveelheid water de onafhankelijk variabele en de aflezing de afhankelijk variabele. De bij de ijkingen verkregen cijfers zijn weergegeven in de tabellen 1 t/m 3. De onafhankelijk variabele is hier ondergebracht in de kolommen onder X, de afhankelijk variabele in de kolommen onder Y.

In tabel 4 is voor iedere ijking uit de lineaire regressie van Y op X de regressiecoëfficiënt b berekend ( $b_m$  voor de manometer,  $b_r$  en  $b_d$  voor het runn-off vat respectievelijk drainagevat.) Dat een lineaire benadering van het verband tussen Y en X inderdaad aannemelijk is, blijkt uit de figuren 1 t/m 3 waarin voor iedere ijking Y tegen X is uitgezet. b is het aantal eenheden dat Y veranderde bij een verandering van X met één eenheid.

Uitgaande van de waterbalans kunnen we nu de verdampingsformule van de lysimeter opstellen:

$$E = P - (R + D + \Delta V) \quad (1)$$

Bepaling van  $\Delta V$ :

$$h_m = \text{aflezing rechter manometerbeen} - \text{aflezing linker manometerbeen} \quad (\text{mm})$$

$$h_{m1} = h_m \text{ ten tijde } t_1$$

$$h_{m2} = h_m \quad " \quad " \quad t_2$$

$$\Delta h_m = (h_{m2} - h_{m1}) \quad (\text{mm})$$

$$t_2 - t_1 = \Delta t$$

$O_L$  = oppervlakte van de lysimeterbak

De bergingsverandering in de tijd  $\Delta t$  is dus:

$$\Delta V = \frac{\Delta h_m}{b_m O_L} \quad (\text{mm}^3)$$

Bepaling van R:

$h_{r_1}$  = aflezing runn-off ten tijde  $t_1$  (mm)

$h_{r_2}$  = " " " "  $t_2$  (mm)

$\Delta h_r = h_{r_1} - h_{r_2}$  ( $h_r$  wordt kleiner bij toename van R)

De runn-off in de tijd  $\Delta t$  is dus:

$$R = \frac{\Delta h_r}{b_r \cdot O_1} \quad (\text{mm}^{\#})$$

Wanneer tussen de tijdstippen  $t_1$  en  $t_2$  het vat één of meerdere malen is leeggepompt, wordt de formule voor R iets gewijzigd:

$h_v = h_r$  direct voor het leegpompen

$h_n = h_r$  direct na het leegpompen

$W_r = h_n - h_v$  aantal mm water uit het vat gepompt.

$\sum W_r$  = totaal aantal mm (aflezing) water dat tussen  $t_1$  en  $t_2$  uit het vat gepompt is.

De runn-off tussen  $t_1$  en  $t_2$  is dus:

$$R = \frac{\Delta h_r + \sum W_r}{b_r \cdot O_L} \quad (\text{mm}^{\#}) \quad (3)$$

Bepaling van D;

Voor D vinden we op overeenkomstige wijze:

$$D = \frac{\Delta h_d + \sum W_d}{b_d \cdot O_L} \quad (4)$$

Bepaling van P:

De neerslag P tussen  $t_1$  en  $t_2$  wordt met behulp van de regenmeter direct in  $\text{mm}^{\#}$  bepaald.

Uit (1) (2) (3) en (4) volgt dat de evapotranspiratie tussen  $t_1$  en  $t_2$  berekend wordt als:

$$E = P - \left( \frac{\Delta h_r + \sum W_r}{b_r \cdot 0_L} + \frac{\Delta h_d + \sum W_d}{b_d \cdot 0_L} + \frac{\Delta h_m}{b_m \cdot 0_L} \right) \quad (5)$$

$$b_m = 1,082 \text{ mm/kg}$$

$$b_r = 8,612 \text{ mm/l}$$

$$b_d = 8,591 \text{ mm/l}$$

$$0_L = 2,696 \text{ m}^2$$

Substitueren we bovenstaande waarden in (5) dan vinden we als verdampingsformule van de lysimeter:

$$E = P - 0,043 (h_r + W_r) + 0,043 (h_d + W_d) + 0,343 h_m \text{ (mm*)}$$

## 6.2. DE NAUWKEURIGHEID VAN DE BEPALING VAN DE EVAPOTRANSPIRATIE

Uit de bij de ijking verkregen cijfers is de steekproefvariantie  $S_{y \cdot x}^2$  te berekenen volgens:

$$S_{y \cdot x}^2 = \frac{\sum d_{y \cdot x}^2}{n-2}, \text{ waarin}$$

$$\sum d_{y \cdot x}^2 = \sum (Y - \hat{Y})^2 = \sum Y - (\bar{Y} + bx)^2$$

$n - 2$  = aantal vrijheidsgraden

Wanneer we, aan de hand van een waarneming  $y$ ,  $x$  bepalen, dan geldt hiervoor met een betrouwbaarheid van 95%:

$$x = \frac{\hat{x} + \frac{t_{0,05}}{b} \cdot S_{y \cdot x} \sqrt{\frac{(n+1)}{n} (1 - c^2)} + \frac{\hat{x}^2}{\sum x^2}}{1 - c^2}$$



waarin:

$$S_{y \cdot x} = \sqrt{S_{y \cdot x}^2}$$

$\hat{x}$  = de verwachtingswaarde van x

$t_{0,05}$  = t uit Studentverdeling, bij een tweezijdige overschrijdingskans van 0,05 en  $(n - 2)$  vrijheidsgraden

$$c^2 = \frac{1}{\sum x^2} \left( \frac{t \cdot S_{yx}}{b} \right)^2$$

Indien  $c^2$  erg klein is, mogen we schrijven:

$$x = \hat{x} + \frac{t \cdot 0,05}{b} S_{y \cdot x} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{\hat{x}^2}{\sum x^2}}$$

Bij voldoende grootte van de steekproefomvang is nu

$$\frac{S_{y \cdot x}}{b} \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{\hat{x}^2}{\sum x^2} \right),$$

een schatter van  $S_{\hat{x}}$ , de standaardafwijking  $\hat{x}$

Daar bij de ijkingen  $c^2$  klein bleek, de steekproefomvang vrij groot was, en de vorm  $\sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{\hat{x}^2}{\sum x^2}}$  ongeveer

gelijk één zal zijn wanneer X binnen het ijktraject blijft, is  $\frac{S_{y \cdot x}}{b}$  bepaald als benadering van  $S_{\hat{x}}$

Bij metingen met de lysimeter worden steeds verschillen in Y bepaald. Hieruit worden verschillen in X berekend, die door deling door  $O_L$  worden omgerekend in mm waterschijf. De standaardafwijking van de op deze wijze berekende waarden is nu bij benadering:

$$S = \frac{S_{\hat{x}} \sqrt{2}}{O_L}$$

De berekening van de standaardafwijkingen is samengevat in tabel 5. Hier werd gevonden:

$$\begin{aligned} S_{\Delta V} &= \text{standaardafwijking van } \Delta V = 0,5 \text{ mm} \\ S_R &= \text{ " " " } R = 0,03 \text{ "} \\ S_D &= \text{ " " " } D = 0,03 \text{ "} \end{aligned}$$

De waarden van  $S_R$  en  $S_D$  zijn geldig wanneer de vaten niet tussentijds worden leeggepompt. Wanneer bijvoorbeeld het runn-off-vat  $n_r$  maal wordt leeggepompt, wordt  $R$  bepaald uit de som van  $n$  waarnemingen, ieder met standaardafwijking  $S_R$ . De standaardafwijking van  $R$  is dan

$$S_R^* = \sqrt{n_r} \cdot S_R$$

De standaardafwijking van  $R + D + \Delta V$  is nu:

$$S_{(R + D + V)} = \sqrt{S_{\Delta V}^2 + n_r S_R^2 + n_d S_D^2}$$

Bij kleine  $n_r$  en  $n_d$   $S_{(R + D + V)} \approx S_{\Delta V}$

Een grove schatting van de standaardafwijking van een enkele bepaling van de neerslag is 0,03 mm. Deze standaardafwijking is van dezelfde grootte orde als  $S_D$  en  $S_R$  en is eveneens te verwaarlozen t.o.v.  $S_{\Delta V}$ , zodat voor de standaardafwijking van  $E$  bij benadering geldt:

$$S_E \approx S_{\Delta V} = 0,5 \text{ mm}$$

## 7. DISCUSSIE

De standaardafwijking zoals berekend voor de bepaling van  $\Delta V$ , is tevens een indicatie dat eventueel tijdens de ijking opgetreden nulpuntsverschuiving en/of hysteresis van te verwaarlozen grootte waren. Verder onderzoek hiernaar is dan ook achterwege gelaten. Of ook op langere termijn geen verschuiving van het nulpunt zal optreden dient nader onderzocht te worden.

Tussen de met behulp van de regenmeter bepaalde hoeveelheid neerslag en de werkelijk door de lysimeterbak opgevangen hoeveelheid zouden systematische verschillen kunnen bestaan. Dit zou aan te tonen zijn door de lysimeter direct voor en na een regenbui af te lezen en op deze wijze als regenmeter te gebruiken. KOOPMANS (1972) vond

op het CELOS-terrein geen significante verschillen tussen de neerslagcijfers van een op 1,50 m boven maaiveld opgestelde regenmeter en een grondregenmeter. Een eventuele foutenbron moet dan ook niet gezocht worden in het hoogteverschil tussen de gebruikte regenmeter en de lysimeter, doch vermoedelijk in de afwerking van de rand van de lysimeterbak.

## 8. CONCLUSIES

Uit de standaardafwijking van de bepaling van de evapotranspiratie (0,5 mm\*) blijkt dat de lysimeter ongeschikt is voor de bepaling van de evapotranspiratie over zeer korte perioden (b.v. enige uren), daar de relatieve fout in de bepaling in dit geval zeer groot kan zijn. Een grote nauwkeurigheid is echter haalbaar bij de bepaling van de cumulatieve verdamping over langere perioden.

## 9. LITERATUUR

KIEFT, H., 1971. Verdampingsmetingen in Suriname. CELOS rapport 64.

KOOPMANS, R.W.R., 1972. Enkele opmerkingen bij het gebruik van een grondregenmeter in Suriname. Cultuurtechnisch tijdschrift, 11: 229-232.

Tabel 1. IJking van de manometer (waarnemingen) instel-  
tijd  $t = 6$  min

X = gewicht op de bak (kg)

Y =  $h_m$  = aflezing rechter manometer - aflezing linker  
manometerbeen (mm)

i = nummer van de waarneming

1<sup>o</sup> serie

i	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>
1	0	92,5
2	5	98,5
3	10	103,5
4	15	109,0
5	20	114,5
6	25	119,5
7	30	124,0
9	40	135,0
10	45	140,0
11	50	146,0
12	55	151,5
13	60	155,5
14	65	161,5
15	70	167,0
16	75	172,0
17	80	177,0
18	85	183,0

2<sup>o</sup> serie

i	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>
19	85	184,0
20	80	180,5
21	75	174,5
22	70	170,0
23	65	162,5
24	60	157,0
25	50	146,0
27	45	140,5
28	40	136,5
29	35	130,0
30	30	125,0
31	25	120,0
32	20	113,0
33	15	109,0
34	10	102,0
35	5	98,5
36	0	92,0

i	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>
1	110,00	210,5
2	123,90	224,5
3	137,90	241,5
4	146,00	251,5
5	154,50	261,5
6	168,45	273,5
8	196,75	305,5
9	210,55	320,5
10	224,30	335,0
11	224,30	334,5
12	207,70	318,0
13	193,95	302,5
14	179,85	287,0
15	165,65	270,0
16	151,85	256,5
17	137,90	241,0
18	123,90	225,5
19	110,0	210,0

Tabel 2. IJking van het runn-off-vat (waarnemingen)

X = toegevoegde hoeveelheid water (l)

Y =  $h_r$  = aflezing meetband (mm)

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0	761,5	21	582,0	41	409,5	61	237,0
1	754,0	22	573,5	42	401,0	62	228,5
2	746,0	23	565,0	43	392,5	63	220,0
3	737,0	24	556,5	44	384,0	64	211,5
4	728,5	25	548,0	45	376,0	65	203,0
5	720,0	26	539,0	46	367,5	66	194,5
6	711,0	27	530,5	47	358,5	67	186,0
7	702,5	28	522,0	48	350,0	68	177,0
8	694,0	29	513,5	49	341,5	69	169,0
9	685,5	30	504,5	50	332,5	70	160,0
10	677,0	31	496,0	51	324,0	71	151,5
11	668,5	32	487,0	52	315,5	72	142,5
12	659,5	33	478,5	53	307,0	73	134,0
13	651,0	34	470,0	54	298,0	74	125,5
14	642,0	35	461,0	55	289,0	75	116,5
15	632,5	36	452,5	56	280,5	76	108,0
16	624,5	37	444,0	57	272,0	77	99,5
17	616,0	38	435,0	58	263,0	78	91,0
18	607,0	39	426,5	59	254,0	79	82,0
19	598,5	40	418,0	60	245,5	80	74,0
20	590,0						

Tabel 3. T.Iking van het drainagevat (waarnemingen)

X = toegevoegde hoeveelheid water (l)

Y =  $h_d$  = aflezing meetband -(mm)

X	Y
0	362,0
1	353,5
2	345,0
3	336,5
4	328,0
5	320,0
6	310,5
7	302,0
8	293,5
9	285,5
10	276,5
11	268,5
12	260,0
13	252,0
14	243,0
15	234,5
16	226,0

X	Y
17	216,5
18	209,0
19	200,0
20	191,0
21	182,0
22	173,5
23	165,0
24	156,5
25	147,5
26	139,0
27	130,0
28	121,5
29	113,0
-	-
31	96,0
32	87,5

Tabel 4. Berekening van de regressiecoëfficiënten

Gebruikte formules en symbolen

$$\begin{aligned} \sum x^2 &= \sum X^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} & n &= \text{aantal waarnemingen} \\ \sum y^2 &= \sum Y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} & x &= X - \bar{X} \\ \sum xy &= \sum XY - \frac{\sum x \sum y}{n} & y &= Y - \bar{Y} \end{aligned}$$

regressiecoëfficiënten

A. Berekening van b voor de manometer

$$\begin{aligned} \sum x &= 4680,1 & n &= 55 \text{ (regressieanalyse over alle waarnemingen)} \\ \sum x^2 &= 636371,0 \\ \sum y &= 10131,0 & \sum x^2 &= 238128,55 \text{ (} b_m = 1,082 \text{ mm/kg)} \\ \sum y^2 &= 2144961,0 & \sum y^2 &= 278830,80 \\ \sum xy &= 1119730,9 & \sum xy &= 257656,53 \end{aligned}$$

B. Berekening van b voor het runn-off-vat

$$\begin{aligned} \sum x &= 3240,0 & n &= 81 \\ \sum x^2 &= 173880,0 & \sum x^2 &= 44280,00 \\ \sum y &= 33882,0 & \sum y^2 &= 3283.808,39 & b_r &= 8,612 \text{ mm/l} \\ \sum y^2 &= 17.456.523,5 & \sum xy &= 381322,00 \\ \sum xy &= 973958,0 \end{aligned}$$

C. Berekening van b voor het drainagevat

$$\begin{aligned} \sum x &= 498,0 & n &= 32 \\ \sum x^2 &= 10540,0 & \sum x^2 &= 2789,88 \\ \sum y &= 7325,0 & \sum y^2 &= 205898,22 & b_r &= 8,591 \text{ mm/l} \\ \sum y^2 &= 1882.636,50 & \sum xy &= 23966,81 \\ \sum xy &= 90028,5 \end{aligned}$$

Tabel 5. De nauwkeurigheid van de bepalingen van  $\Delta V$ , R en D

A. De nauwkeurigheid van  $\Delta V$ .

$$\begin{aligned} \sum d_{y \cdot x}^2 &= 46,44 & t_{0,05} &= 2,006 \text{ (aantal vrijheidsgraden is 53)} \\ S_{y \cdot x}^2 &= 0,876 & c^2 &= 0,0000 \\ S_{y \cdot x} &= 0,936 \end{aligned}$$

$$x = \bar{x} \pm 1,735 \sqrt{1,018 + \frac{\bar{x}^2}{\sum x^2}} \text{ (betrouwbaarheid 95\%)}$$

$$S_{\bar{x}} \approx \frac{S_{y \cdot x}}{b} = 0,865 \text{ kg}$$

$$S_{\Delta V} = \frac{\sqrt{2}}{2,636} \cdot 0,865 = 0,5 \text{ mm}$$

B. De nauwkeurigheid van R.

$$\begin{aligned} \sum d_{y \cdot x}^2 &= 15,58 & t_{0,05} &= 1,990 \text{ (aantal vrijheidsgraden is 79)} \\ S_{y \cdot x}^2 &= 0,201 & c^2 &= 0,000 \\ S_{y \cdot x} &= 0,448 \end{aligned}$$

$$x = \bar{x} \pm 0,104 \sqrt{1,012 + \frac{\bar{x}^2}{\sum x^2}} \text{ (betrouwbaarheid 95\%)}$$

$$S_{\bar{x}} \approx \frac{S_{y \cdot x}}{b} = 0,052 \text{ l}$$

$$S_R = \frac{\sqrt{2}}{2,696} \cdot 0,052 = 0,03 \text{ mm}$$

C. De nauwkeurigheid van D.

$$\begin{aligned} \sum d_{y \cdot x}^2 &= 8,46 & t_{0,05} &= 2,042 \text{ (aantal vrijheidsgraden is 0,0000)} \\ S_{y \cdot x}^2 &= 0,282 & c^2 &= 0,0000 \\ S_{y \cdot x} &= 0,531 \end{aligned}$$

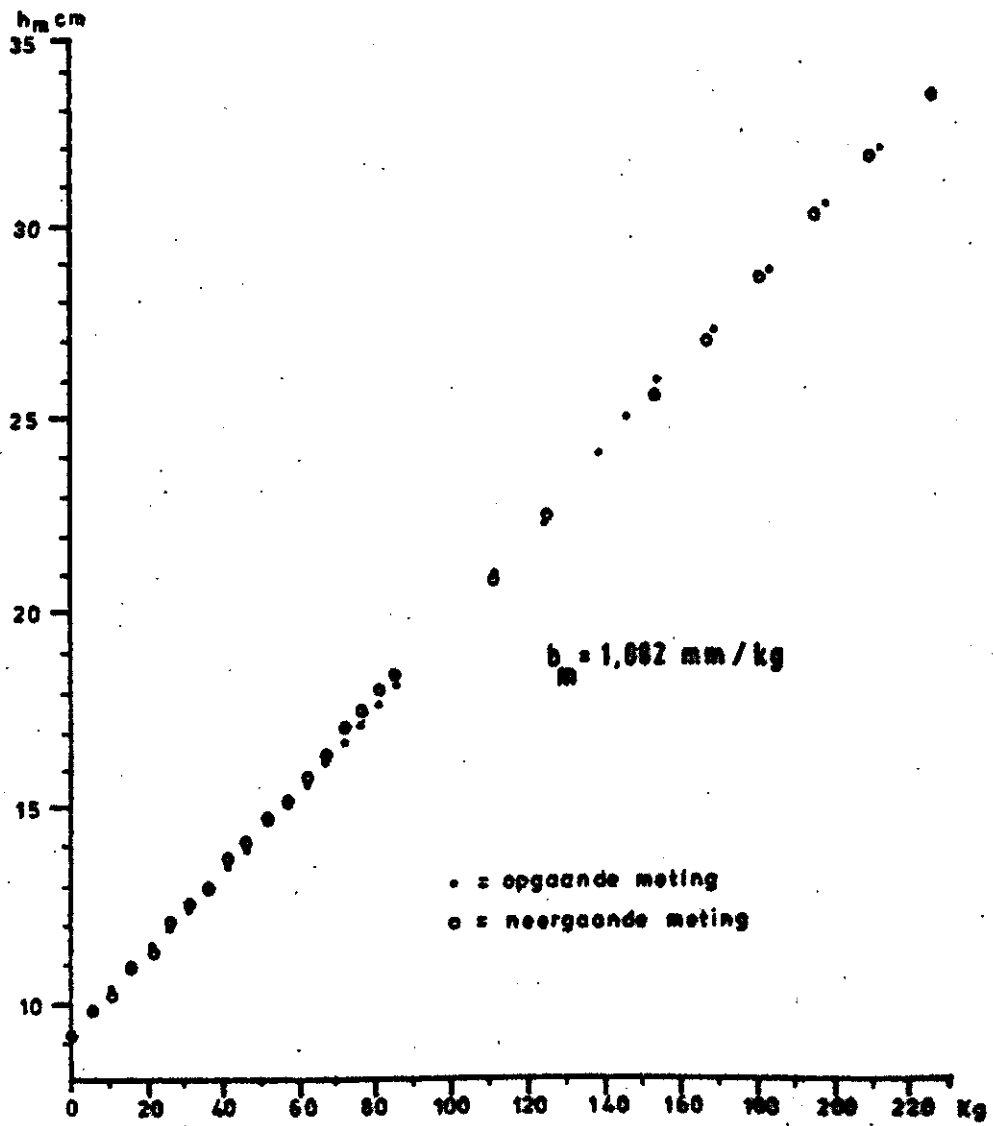
$$x = \bar{x} \pm 0,126 \sqrt{1,031 + \frac{\bar{x}^2}{\sum x^2}} \text{ (betrouwbaarheid 95\%)}$$

$$S_{\bar{x}} \frac{S_{y \cdot x}}{b} = 0,061 \text{ l}$$

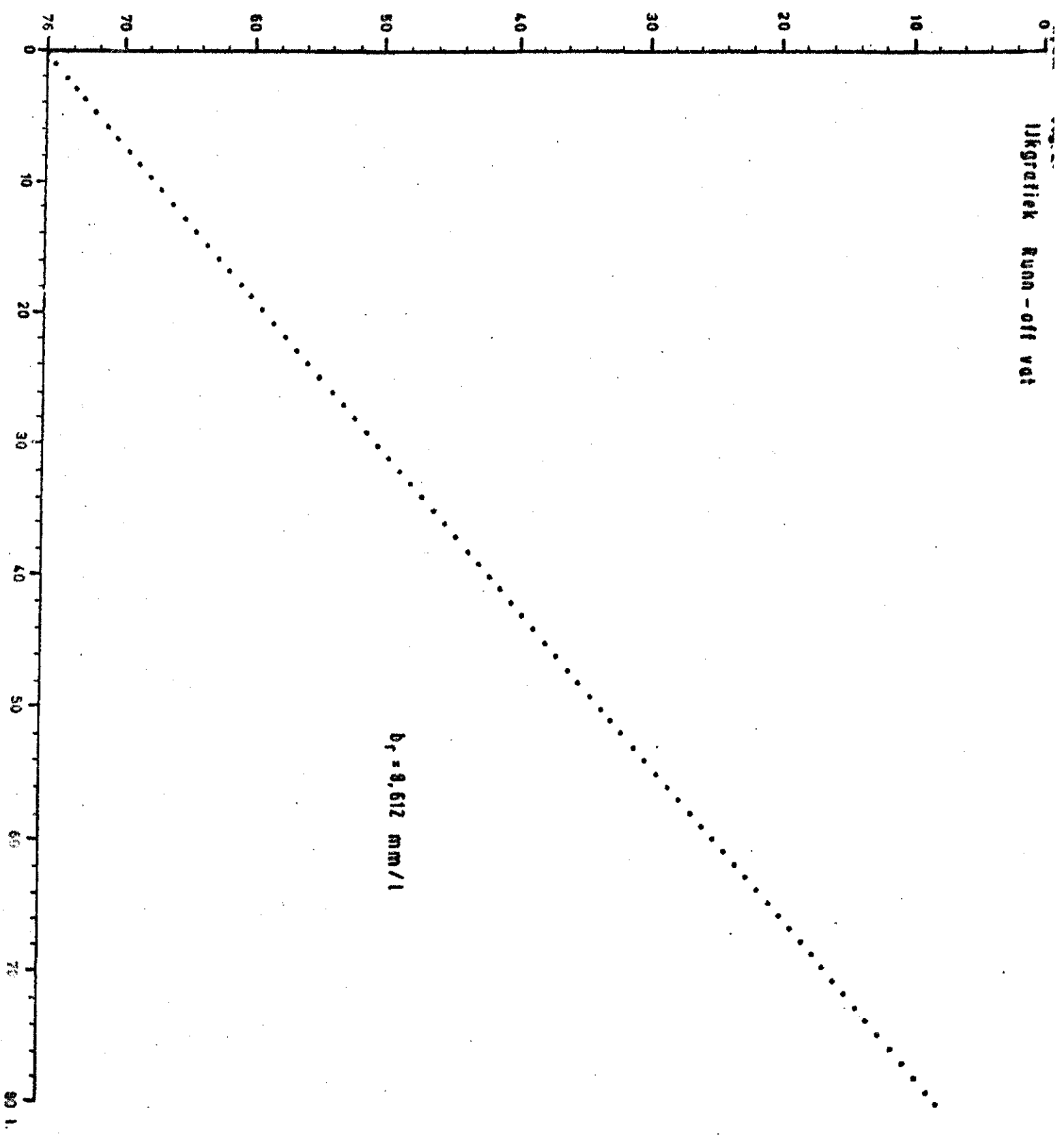
$$S_D = \frac{\sqrt{2}}{2,696} \cdot 0,061 = 0,03 \text{ mm}$$



Fig. 1  
Lijfgrafiek lysimeter bak.

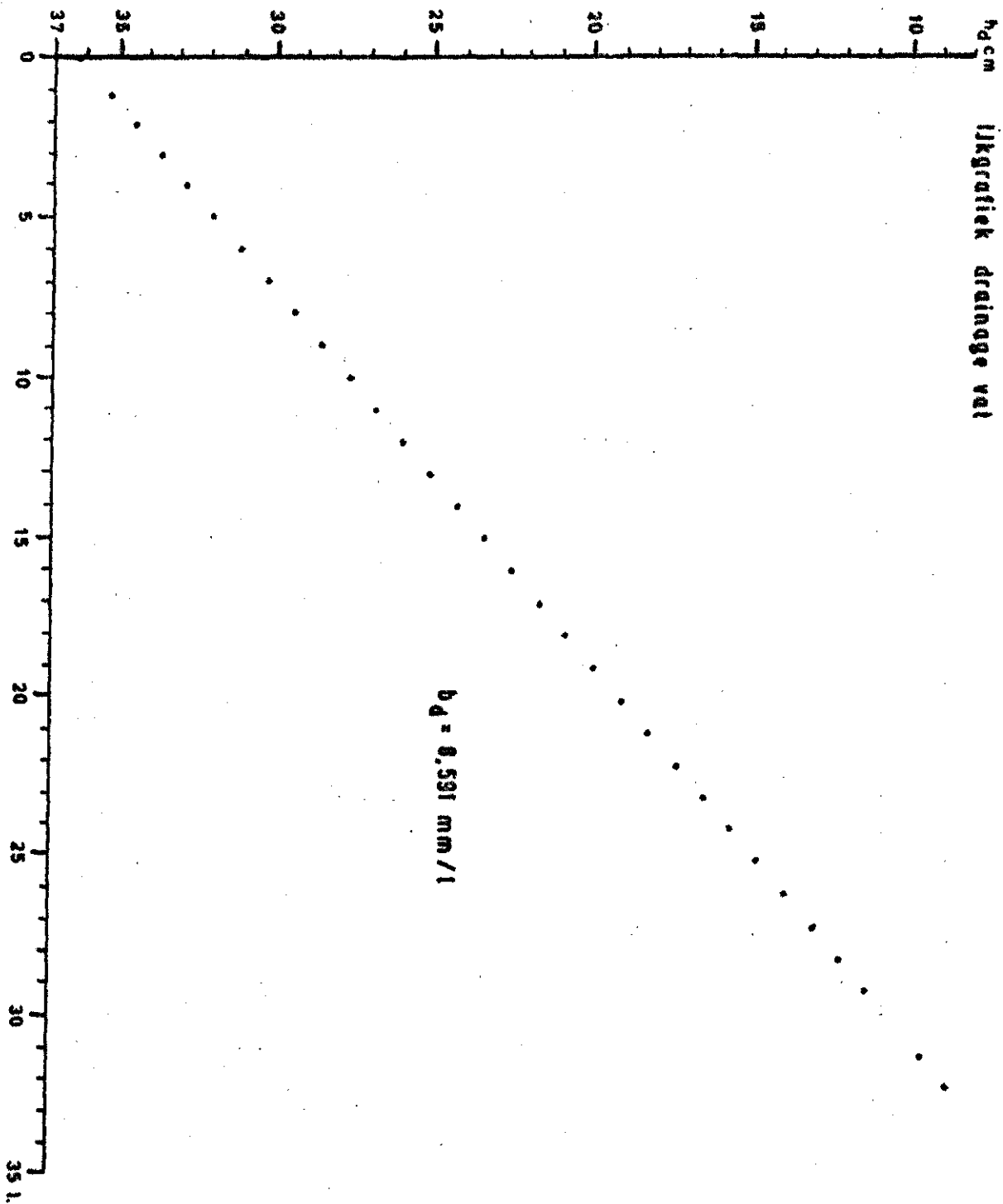


11Kgratick Run-off Vot



$b_f = 0.612 \text{ mm/l}$

FIG. 3:  
Ijgrafiek drainage vat





Landbouwhogeschool-Wageningen  
CENTRUM VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK IN SURINAME

EEN ONDERZOEK NAAR DE RELATIE TUSSEN DE INKOMENDE  
KORTGOLVIGE STRALING EN DE RELATIEVE  
ZONNESCHIJNDUUR GEDURENDE HET NATTE  
SEIZOEN IN SURINAME  
(onderzoekproject 72/5)

E.G. van der Veen

Verslag van een onderzoek verricht onder leiding  
van Dr. Ir. R.W.R. Koopmans en Ir. W.H.J. Vochtelo

juli 1972

# I N H O U D

	blz.
1. <u>Samenvatting</u> . . . . .	5
2. <u>Voorwoord</u> . . . . .	5
3. <u>Inleiding</u> . . . . .	5
4. <u>Methodiek</u> . . . . .	6
5. <u>De uitvoering</u> . . . . .	7
5.1. Meting van de inkomende kortgolvlige straling. . . . .	7
5.1.1. Metingen met de stralings- meter naar het ontwerp van Schulze. . . . .	7
5.1.2. Metingen met de Kipp- solarimeter. . . . .	7
5.2. Meting van de zonneshijnduur . . . . .	7
5.3. De registratie van de inkomende kort- golvlige straling . . . . .	8
5.4. De uitwerking . . . . .	8
5.5. De omrekeningsfaktor. . . . .	8
6. <u>Resultaten</u> . . . . .	11
7. <u>Discussie</u> . . . . .	14
8. <u>Literatuur</u> . . . . .	14
Bijlagen	

## 1. SAMENVATTING

Om de bij verdampingsberekeningen noodzakelijke term voor de inkomende kortgolvlige straling te berekenen wordt veel gebruik gemaakt van de regressieformule.

$$H_{sh} = H_{sh}^{top} (a + b \frac{n}{N})$$

In deze formule zijn  $H_{sh}$  en  $H_{sh}^{top}$  respectievelijk de kortgolvlige straling die het aardoppervlak bereikt en de inkomende straling aan de rand van de atmosfeer. De term  $\frac{n}{N}$  is de relatieve zonschijnduur. De constanten a en b dienen plaatselijk bepaald te worden. Hiertoe werd in maart 1972 begonnen met de gelijktijdige meting van de inkomende kortgolvlige straling en de zonschijnduur op het CELOS-terrein.

Uit de hierbij verkregen gegevens werden de volgende waarden door de constanten a en b gevonden:

$$\begin{aligned} a &= 0,306, \\ b &= 0,454. \end{aligned}$$

## 2. VOORWOORD

Dit onderzoek werd verricht als onderdeel van mijn praktijktijd in Suriname onder leiding van Dr. Ir. R.W.R. Koopmans en Ir. W.H.J. Vochtelloo, wetenschappelijk medewerkers van het CELOS.

## 3. INLEIDING

De inkomende kortgolvlige straling is een in vele verdampingsformules terugkerende term (Penman, Turc, Makkink, Jensen en Haise). Deze straling kan gemeten worden met een solarimeter. Omdat metingen met een dergelijk instrument van recente datum zijn en op betrekkelijk weinig plaatsen op aarde worden gedaan, zal men de inkomende kortgolvlige straling veelal met behulp van bestaande regressieformules, waarin meer voorhanden zijnde meteorologische gegevens verwerkt zijn, moeten berekenen.

Een van deze regressieformules is die van PRESCOTT (1940) die uitging van de relatieve zonschijnduur.

$$H_{sh} = H_{sh}^{top} (a + b \frac{n}{N})$$

waarin:

$H_{sh}$  = inkomende kortgolvlige straling ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ) die het aardoppervlak bereikt,

$H_{sh}^{top}$  = kortgolvlige straling ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ) buiten de atmosfeer, ook wel Angot-waarde genoemd, welke te vinden is in de Smithsonian Meteorological Tables,

a = term voor het gedeelte van de straling dat bij volledig bewolkte hemel het aardoppervlak bereikt,

b = term voor het gedeelte van de straling dat door de wolken geabsorbeerd wordt,

n = gemeten zonneshijnduur (uren),

N = potentiële zonneshijnduur (uren).

In deze formule zijn a en b empirische constanten die afhankelijk blijken te zijn van de plaats op aarde en het seizoen.

Er zijn verscheidene pogingen gedaan om a en b te relateren aan b.v. klimaatstype en breedtegraad. Deze benadering kan in vele gevallen nuttig zijn, doch om de juiste waarde van de verdamping te berekenen dienen de constanten a en b ter plaatse bepaald te worden.

De stralingsmetingen op het CELOS-terrein hebben als doel deze constanten a en b voor het droge en voor het natte seizoen afzonderlijk te bepalen.

#### 4. METHODIEK

Door gelijktijdige metingen van de inkomende kortgolvlige straling en de zonneshijnduur gedurende een bepaalde periode kan men in het veronderstelde lineaire verband,

$$H_{sh} = H_{sh}^{top} (a + b \frac{n}{N}),$$

de constanten a en b met behulp van een regressieanalyse bepalen. Deze berekende waarden van de constanten a en b gelden dan echter uitsluitend voor het seizoen waarin gemeten wordt.



## 5. DE UITVOERING

### 5.1. METING VAN DE INKOMENDE KORTGOLVIGE STRALING

#### 5.1.1. Metingen met de stralingsmeter naar het ontwerp van Schulze

De metingen van de inkomende kortgolvlige straling op het CELOS-terrein werden van 9 april t/m 21 mei 1972 gedaan met een stralingsmeter naar het ontwerp van Schulze.

Dit instrument kan door middel van thermoziilen de door de straling veroorzaakte warmte omzetten in een spanningsverschil. In de thermoziilen onstaat dit spanningsverschil door een temperatuursverschil tussen de onderkant en de bovenkant van de thermoziilen.

De Schulze-stralingsmeter is, door toepassing van een thermoziil aan de bovenkant en aan de onderkant van het instrument, geschikt om zowel de inkomende atmosferische als de van de aarde uitgaande straling te meten. De thermoziilen worden tegen weersinvloeden beschermd door halfbolvormige polyethyleen kapjes, die zowel de langgolvlige als de kortgolvlige straling doorlaten.

De bescherming tegen de regen bleek echter in het natte seizoen niet voldoende te zijn. Daarom werd medio mei 1972, naar aanleiding van enkele ijkingen met een constante lichtbron (zie bijlage 1), besloten de metingen met de Schulze-stralingsmeter te staken.

#### 5.1.2. Metingen met de Kipp-solarimeter

De metingen werden 9 juni 1972 voortgezet met een Kipp-solarimeter. De Kipp-solarimeter bezit slechts één thermoziil, waarmee alleen de atmosferische straling gemeten kan worden.

Door toepassing van dubbel glazen halfbolvormige beschermkapjes kan met dit instrument alleen de kortgolvlige straling gemeten worden.

### 5.2. METING VAN DE ZONNESCHIJNDUUR

De meting van de zonneschijnduur werd gedaan met behulp van een Campbell-Stokes zonneschijnduurregistrator, waarvan de dagstroken door de Meteorologische Dienst in Paramaribo werden uitgewerkt.

### 5.3. DE REGISTRATIE VAN DE INKOMENDE KORTGOLVIGE STRALING

De ten gevolge van de inkomende kortgolvlige straling in de Kipp-solarimeter opgewekte spanning werd geregistreerd met een Honeywell Brown Elektroniek 15 recorder. Deze 12 punts recorder werd als 6 punts recorder geschakeld zodat éénmaal de nul-lijn, viermaal de Kipp-solarimeter en tén slotte ter vergelijking eenmaal de Schulze-Stralingsmeter geregistreerd werd in een halve omwenteling van de schakelwals. Op deze wijze werden registratiecurven verkregen zoals in het voorbeeld van bijlage 2. De Honeywell-Brown recorder heeft een meetbereik van -0,5 tot +2 mV. Bij maximale zonneshijn in Suriname levert de Kipp-solarimeter ongeveer 15 mV. Teneinde deze spanning op de recorder te kunnen registreren is een verzwakking van deze spanning noodzakelijk. Met behulp van een aantal weerstanden werd een verzwakker geconstrueerd. (Zie fig. 1.) De verkregen verzwakking werd nu

$$\frac{279}{279 + 1413 + 1467 + 8,6} = \frac{1}{11,35}$$

De weerstanden werden gemeten met een Eagle weerstandsmeter.

### 5.4. DE UITWERKING

De door de Honeywell-Brown recorder geleverde dagregistraties werden ingetekend, d.w.z. de geprinte punten werden door rechte lijnen met elkaar verbonden, waarna met behulp van een planimeter het oppervlak tussen de registratiecurve en de nul-lijn bepaald werd.

Dit oppervlak (cm<sup>2</sup>) vermenigvuldigd met een omrekeningsfaktor leverde de inkomende kortgolvlige straling in cal cm<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>

### 5.5. DE OMREKENINGSFAKTOR

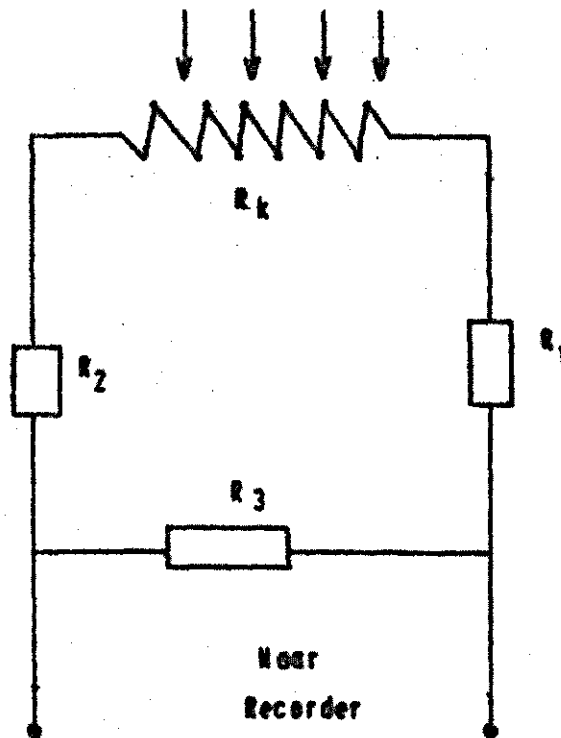
Bij een inkomende kortgolvlige straling van 1 cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup> levert de Kipp-solarimeter volgens het ijkcertificaat van 20 april 1971 een spanning van 7,2 mV.

De toegepaste verzwakking is 1/11,35 waardoor bij een inkomende kortgolvlige straling van 1 cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup> de input van de recorder 7,2/11,35 mV zal bedragen.

Bij ijking van de recorder bleek dat 1 mV input een uitslag van 38,1 schaaldelen opleverde; 1 schaaldeel is 0,28 cm. Een inkomende kortgolvlige straling van 1 cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup> geeft dan een uitslag van 7,2/11,35 x 38,1 x 0,28 = 6,767 cm, of 1 cm uitslag vertegenwoordigt een inkomende kortgolvlige straling van 0,14776 cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>. De loop-snelheid van het papier bleek niet geheel constant te zijn. Voor de periode van meting gold dat 1 cm gebruikt werd in 12,07 minuten.

Hieruit volgt dat 1 cm<sup>2</sup> op het registratiepapier overeenkomt met 12,07 x 0,14776 = 1,783 cal cm<sup>-2</sup>.

Fig. 1.



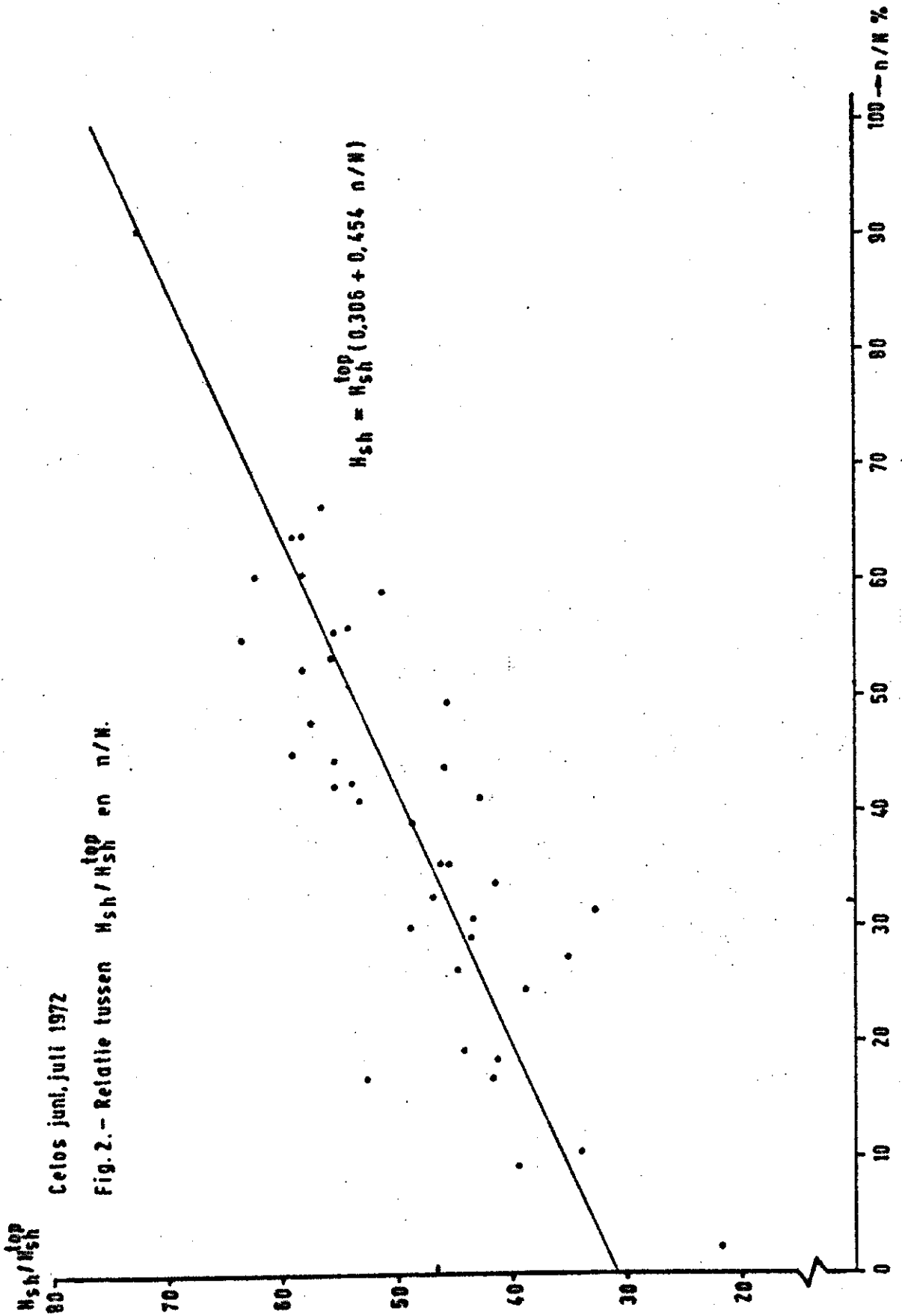
$R_k$  = inwendige weerstand van de thermozuil van de Kipp-colorimeter (  $0,6 \Omega$  )

$R_1$  =  $1413 \Omega$

$R_2$  =  $1467 \Omega$

$R_3$  =  $279 \Omega$

De inwendige weerstand van de recorder is  $\pm 1 \text{ M}\Omega$



6. RESULTATEN

Voor de resultaten van de metingen en de verwerking hiervan wordt verwezen naar tabel 1 en fig. 2.

Tabel 1. Resultaten en uitwerkingen van de metingen

Datum	n	N	$\frac{n}{N}$ %	$H_{sh}$ cm <sup>2</sup>	$H_{sh}$ cal. cm. <sup>-2</sup>	$H_{sh}^{top}$ cal. cm. <sup>-2</sup>	$\frac{H_{sh}^{top}}{H_{sh}}$ %
13 - 6 - '72	75	12,40	60,5	291	519	833	62,3
14 " "	42	12,40	33,8	195	348	833	41,7
15 " "	65	12,40	52,4	272	485	833	58,2
16 " "	34	12,40	27,4	164	292	833	35,0
18 " "	32	12,40	25,8	210	374	833	44,9
19 " "	3	"	2,4	102	182	833	21,8
20 " "	39	"	31,5	153	273	833	32,7
21 " "	21	"	16,9	246	439	832	52,7
22 " "	13	"	10,5	159	283	832	34,0
23 " "	37	"	29,8	228	406	832	48,4
24 " "	40	"	32,2	217	388	832	46,8
25 " "	36	"	29,0	204	364	832	43,7
26 " "	44	"	35,5	218	389	834	46,6
27 " "	44	"	35,5	213	380	834	45,5
28 " "	69	"	55,6	259	462	834	55,4
29 " "	24	"	19,3	207	369	834	44,2
30 " "	55	12,40	44,4	260	463	834	55,5
1 - 7 - '72	82	12,35	66,4	263	469	834	56,2
2 " "	38	"	30,7	202	360	834	43,2
3 " "	52	"	42,1	260	463	834	55,5
4 " "	40	"	32,4	220	392	834	47,0
5 " "	21	"	17,0	195	347	834	41,6
6 " "	23	"	18,6	193	344	836	41,1
7 " "	75	"	60,7	272	485	836	58,0
8 " "	61	"	49,4	213	380	836	45,5
9 " "	51	"	41,3	250	446	836	53,3
10 " "	79	"	63,9	274	488	836	58,3
11 " "	68	"	55,0	299	533	838	63,6
12 " "	52	"	42,1	253	451	838	53,8
13 " "	11	"	8,9	187	333	838	39,7
14 " "	56	"	45,3	279	497	838	59,3
15 " "	112	"	90,7	341	608	838	72,5
16 " "	66	"	53,4	262	467	842	55,4
17 " "	73	"	59,1	241	429	842	50,9
18 " "	79	"	63,9	279	479	842	59,0
19 " "	54	"	43,7	217	287	842	54,1
20 " "	69	"	55,8	256	456	842	57,5
21 " "	59	"	47,7	273	486	845	38,9
22 " "	30	"	24,3	185	329	845	42,6
23 - 7 - '72	51	12,35	41,3	202	360	845	
Totaal			1596,2				1961,7

Berekening van de lineaire regressie en de correlatiecoëfficiënt

Som  $X (\frac{n}{N}) = 1556, 2$  Som  $Y H_{sh} / H_{sh}^{top} = 1949, 5$  aantal waarnemingen  
 $X \text{ gem} = 39,90$   $Y \text{ gem} = 48,74$   $= n = 40$

Som  $X^2 = 76580,49$  Som  $Y^2 = 98995,97$  Som  $XY = 83817,12$   
 $X \text{ gem. Som } X = 63688,38$   $Y \text{ gem. Som } Y = 95018,63$   $Y \text{ gem. Som } Y = 77785,05$

$p = 13292,11$

$q = 3977,34$

$s = 6032,07$

Regressielijn:

$$\begin{aligned} b &= s/p = 0,454 \\ a &= Y \text{ gem.} - b \cdot X \text{ gem} = 30,63 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} b \\ a \end{aligned}} \right\} Y = 30,63 + 0,454 X$$

Korrelatiecoëfficiënt:

$$r = b \sqrt{p/q} = 0,830 \quad (-1 < r < +1)$$

Nauwkeurigheid van b:

$$t = |b| : \sqrt{\frac{q(1-r^2)}{p(n-2)}} = 9,17 \quad \left. \vphantom{t} \right\} \begin{aligned} &\text{significant voor} \\ &p < 0,001 \end{aligned}$$

$v = \text{vrijheidsgraden} = n-2 = 38$

Nauwkeurigheid van r:

$$|r| = 0,830 \quad \left. \vphantom{|r|} \right\} \begin{aligned} &\text{significant voor} \\ &p < 0,01 \end{aligned}$$

$v = \text{vrijheidsgraden} = n-2 = 38$

Standaardafwijking:

$$G = \sqrt{\frac{q - S^2/p}{n-2}} = 5,71 \% \text{ van } H_{sh}^{top}$$

Samenvatting:

$$Y = 30,63 + 0,454 X$$

waarin:

Y is  $H_{sh} / H_{sh}^{top} \%$  en

X is  $n / N \%$

## 7. DISCUSSIE

Uit de metingen in het natte seizoen resulteerde de volgende empirische relatie tussen  $H_{sh}$  en  $n/N$ .

$$H_{sh} = H_{sh}^{top} (0,31 + 0,45 \frac{n}{N}).$$

Bij volledige bewolking zal gedurende de natte tijd ca. 31% van de kortgolvlige straling door het wolkendek worden geabsorbeerd. De verwachting is dat dit percentage voor het droge seizoen hoger zal zijn.

De resultaten van de metingen in de komende droge tijd zullen een verdere vergelijking mogelijk moeten maken.

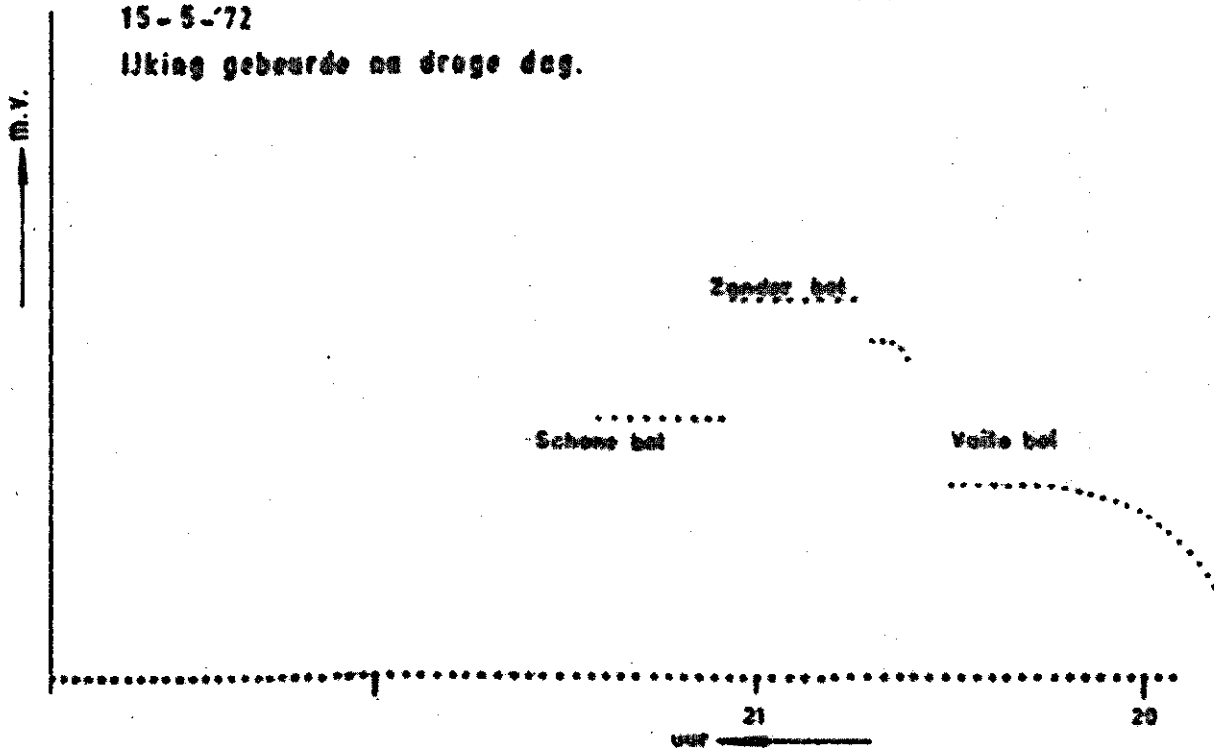
## 8. LITERATUUR

PRESCOTT, J.A., 1940. Evaporation from a watersurface in relation to solar radiation. Transaction of the Royal Society of South Australia, Vol. 64, p. 114-118.



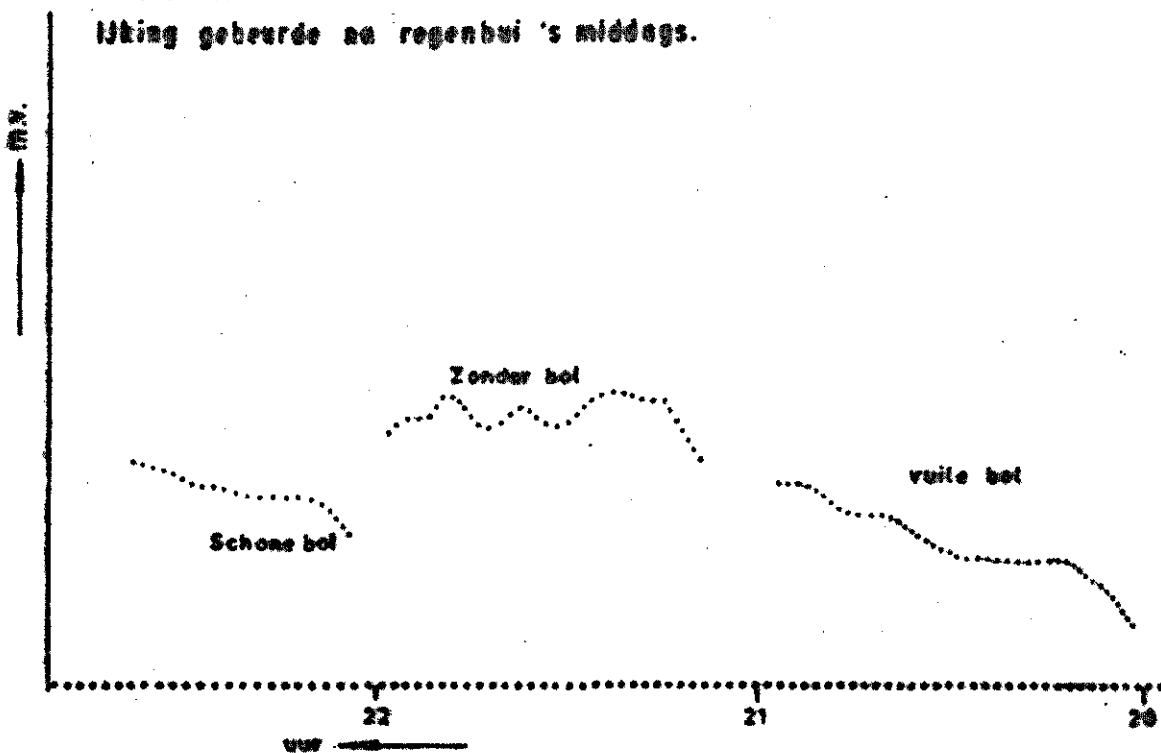
15-5-'72

Ijking gebeurde na droge dag.



21 mei 1972

Ijking gebeurde na regenbui 's middags.



**Bijlage 2.**

**Voorbeeld van een dagregistratie met de HONEYWELL BROWN recorder.**

**25 juni 1972**

**204.05 cm<sup>2</sup>**

**Schaal 1:2.5**

