HET VERDAMPINGSONDERZOEK IN DE ROTTEGATSPOLDER

GEDURENDE DE JAREN
1947 TOT EN MET 1952

L. J. L. DEIJ
S. B. HOOGHOUDT (†)
J. H. M. LATOUR
P. K. PEERLKAMP
A. H. STAM

Overdruk uit Versl. Med. Comm. Hydr. Onderz. T.N.O. No. 2
's-Gravenhage — 1955

INHOUD

Blz.

I. Inleiding 211

II. De methode van het verticale waterdamptransport 216
1. Inleiding 216
2. Voorlopige metingen 216
3. Theoretische basis 217
4. Practische uitvoering van de berekening 219
5. Moeilijkheden met de psychrometers 221
6. Moeilijkheden met de anemometers 222
7. Nabeschouwing 223

III. De methode van de waterbalans voor de gehele polder 224
1. Inleiding 224
2. Bepaling van de verschillende termen van de waterbalans 224
3. Overzicht der meetresultaten 237

IV. De methode van de waterbalans voor vier drainage-lysimetervakken 239
1. Algemeen 239
2. Bepaling van de verschillende termen van de waterbalans 243
3. Overzicht der meetresultaten 249

V. Samenvatting en conclusie 251
1. Samenvatting 251
2. Conclusie 251

Literatuur 253

I. INLEIDING

Tijdens de op 15 Februari 1946 gehouden Eerste Technische Bijeenkomst, belegd door de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., werden door een drietal sprekers uitvoerige mededelingen gedaan over het in voorbereiding zijnde onderzoek naar de verdamping van water uit cultuurgrond. Voor de uitvoering van dit onderzoek was de keuze gevallen op de in de gemeente Ten Boer (Groningen) gelegen Rottegatspolder, ter grootte van 86,6 ha (Zie *Verslagen Technische Bijeenkomsten* 1—6 van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., 's Gravenhage 1952).

Voor het onderzoek, dat sedertdien met kracht ter hand is genomen, werd het volgende werkschema opgesteld:

a. voor de gehele polder zal de verdamping worden bepaald met behulp van de waterbalans;

b. voor een met gras begroeid in de polder gelegen terrein zal de verdamping worden bepaald met behulp van de methode van het verticale waterdamptransport;

c. met behulp van een viertal op een bijzondere wijze ingerichte lysimeters, waarvan één te voorzien van een grasvegetatie en de overige drie te beplanten met een afzonderlijk gewas, zullen verhoudingscijfers voor de verdamping van verschillende gewassen worden vastgesteld.

Met het ten uitvoer brengen van dit werkschema beoogde de Werkcommissie zodanig waarnemingsmateriaal bijeen te brengen, dat de voor Nederland nog niet toegepaste methode van het verticale waterdamptransport op zijn bruikbaarheid kan worden getoetst.

In de loop van 1946 kwamen de ten behoeve van het onderzoek in de Rottegatspolder te treffen technische voorzieningen voor het merendeel gereed, zodat in de loop van 1947 met het onderzoek een aanvang kon worden gemaakt. De volgende paragrafen bevatten mededelingen over de ontwikkeling van het onderzoek en de hiermede bereikte resultaten.

De figuren 1a en 1b geven een algemeen overzicht van de polder en van de daarin ten behoeve van het onderzoek aangelegde werken en getroffen voorzieningen.

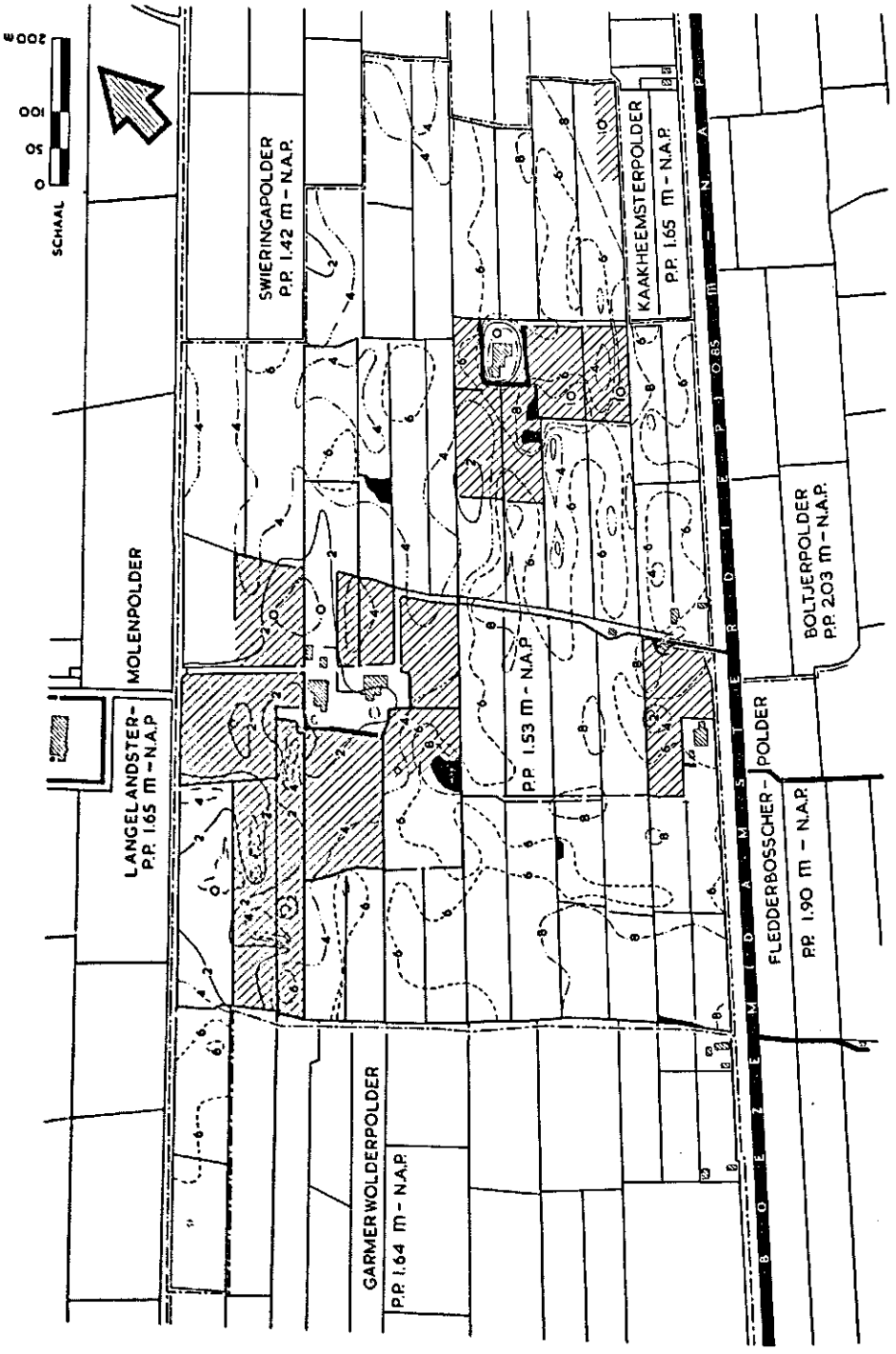

SCHAAL
0
50
100
200 m
SWIERINGAPOLDER
P.P. 1.42 m - N.A.P.
KAAKHEEMSTERPOLDER
P.P. 1.65 m - N.A.P.
MOLENPOLDER
LANGELANDSTER-
P.P. 1.65 m - N.A.P.
P.P. 1.53 m - N.A.P.
BOLTJERPOLDER
P.P. 2.03 m - N.A.P.
FLEDDERBOSSCHER-POLDER
P.P. 1.90 m - N.A.P.
GARMERWOLDERPOLDER
P.P. 1.64 m - N.A.P.
BOEZEMIDAMSTERDIEP 0.85 m - N.A.P.

FIG. 1a. Overzichtstekening Rottegatspolder. (Topografie).

— · — · — · — = poldergrens
= *polder boundary*
= *limite du polder*

P.P. = polderpeil in m — N.A.P.
= *polder level in m — N.A.P.*
= *niveau du polder en m — N.A.P.*

Hoogtelijnen:
Altitude lines:
Courbes de niveau:

— — — 0 — — — = N.A.P.
——— 2 ——— = 0.20 m — N.A.P.
——— 4 ——— = 0.40 m — N.A.P.
— — — 6 — — — = 0.60 m — N.A.P.
— — · 8 — — · = 0.80 m — N.A.P.
..... 10 ..... = 1.00 m — N.A.P.

= grasland
= *grassland*
= *prés*

= bouwland
= *arable land*
= *champs cultivés*

FIG. 1a. *Survey drawing Rottegatspolder. (Topography).*

FIG. 1a. *Dessein général Rottegatspolder. (Topographie).*

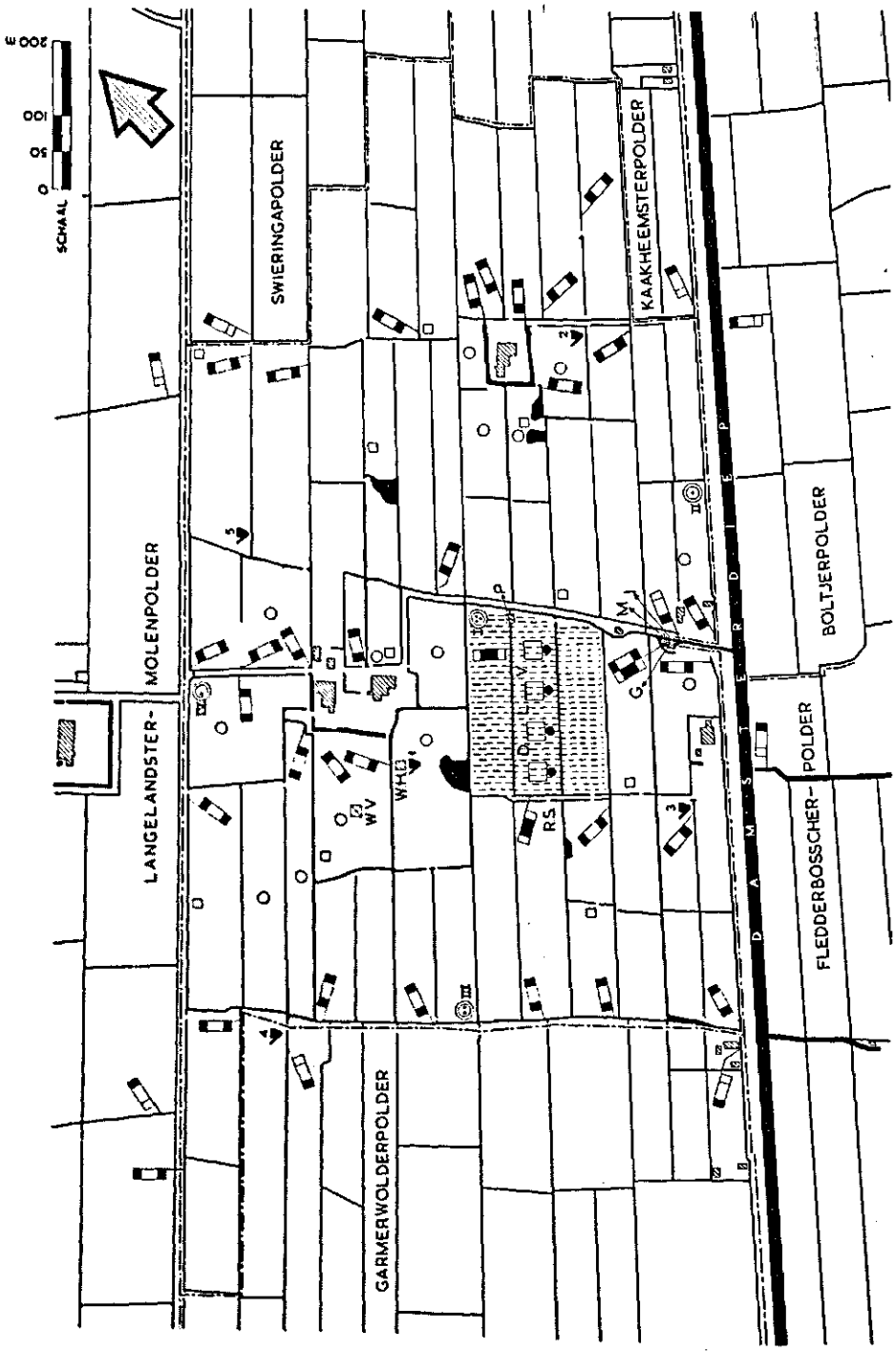

SCHAAL
0
50
100
200 m
SWIERINGAPOLDER
KAAKHEEMSTERPOLDER
LANGELANDSTER-
MOLENPOLDER
BOLTJERPOLDER
FLEDDERBOSSCHER-
POLDER
GARMERWOLDERPOLDER
DAMSTERDIEP
WV
WH
RS
G
M
P

FIG. 1b. Overzichtstekening Rottegatspolder. (Technische voorzieningen ten behoeve van het onderzoek).

W.V. = K.N.M.I. waarnemingsveld
= *K.N.M.I. field of observation*
= *K.N.M.I. champ d'observation*

W.H. = waarnemershuisje
= *observers hut*
= *abri de l'observateur*

D.L.V. = drainage-lysimeterveld met 4 proefvakken (zie figuren 8 en 9)
= *drainage-lysimeterfield with 4 trial-sections (see figs. 8 and 9)*
= *champ de drainage-lysimètre avec 4 sections d'épreuve (voir les figures 8 et 9)*

R.S. = ringsloot
= *encircling ditch*
= *fossé de ceinture*

G = gemaal
= *pumping engine*
= *station d'épuisement*

I = inlaatduiker
= *irrigation culvert*
= *aqueduc d'irrigation*

M = meetschot
= *measuring board*
= *planche de mesure*

= polderpeilschaal (32 stuks)
= *poldergauge (32)*
= *échelle du polder (32)*

= registrerende polderpeilschaal
= *recording poldergauge*
= *échelle du polder enregistrante*

= peilschaal in ringsloot (2 stuks)
= *gauge in encircling ditch (2)*
= *échelle dans le fossé de ceinture (2)*

= boezempeilschaal
= *„boezem" gauge*
= *échelle de „boezem"*

= peilschaal in omliggende polder (8 stuks)
= *gauge in adjacent polders (8)*
= *échelle dans les polders circonvoisins (8)*

= peilbuis
= *gauge tube*
= *tuyau d'échelle*

III = diepboring nr III met 2 waarnemingsfilters
= *depth boring nr III with 2 observation filters*
= *forage de profondeur no III avec 2 filtres d'observation*

= bemonsteringsveld (zie ook figuur 10)
= *sampling plot (see also fig. 10)*
= *champ d'échantillonnage (voir aussi fig. 10)*

P = bemalings- en inlaatinstallatie voor ringsloot
= *drainage- and inlet installation of encircling ditch*
= *installation d'épuisement et d'irrigation pour le fossé de ceinture*

= regenmeter (nrs 1, 2, 3, 4 en 5)
= *pluviometer (nrs 1, 2, 3, 4 and 5)*
= *pluviomètre (nos 1, 2, 3 4 et 5)*

= drainage

= boerderij, e.d.
= *farmhouse, etc.*
= *ferme, etc.*

= poldergrens
= *polder boundary*
= *limite de polder*

FIG. 1b. *Survey drawing Rottegatspolder. (Technical provisions for the investigation).*
FIG. 1b. *Dessein général Rottegatspolder. (Provisions techniques pour l'investigation).*

II. DE METHODE VAN HET VERTICALE WATERDAMPTRANSPORT

1. Inleiding

De door toepassing van deze methode verkregen resultaten tot October 1951 zijn in tabel 1 vermeld.

Tabel 1. Maandsommen (in mm) van de verdamping uit grasland berekend volgens de methode van het verticale waterdamptransport

Jaar *Year Année*	Jan.	Febr.	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1947	–	–	–	–	–	62	67	54	17	10	2	0
1948	0	6	10	28	70	174	112	43	45	9	1	4
1949	–3	–2	19	32	78	40	33	40	28	10	–6	–1
1950	8	21	18	74	127	108	108	60	55	38	6	–2
1951	8	15	30	78	39	47	49	64	29	–	–	–

Table 1. *Monthly totals (in mm) of evaporation from grassland, calculated according to the method of the vertical vapour transport*

Tableau 1. *Totaux mensuels (en mm) de l'évaporation de prés, calculés d'après la méthode de transport vertical de vapeur*

Gebrek aan ervaring met deze methode, welke hier te lande nog nimmer was toegepast en elders niet in die mate, dat het verantwoord zou zijn geweest, de daar gevolgde werkwijze zonder meer over te nemen, was oorzaak, dat meermalen veranderingen in het instrumentarium en de berekeningswijze werden aangebracht. Een onderlinge vergelijking der in tabel 1 gegeven verdampingsgetallen, zonder daarbij de achtergrond van hun ontstaan in het oog te houden, kan dan ook niet tot een juiste waardering leiden. Ter kenschetsing van die achtergrond dienen de volgende gegevens.

2. Voorlopige metingen

Tot Mei 1948 zijn de vermelde maandsommen gebaseerd op resultaten van dagelijkse waarnemingen met de Assmann-psychrometer om 8, 14 en 19 uur middelbare plaatselijke tijd, welke tijden overeenstemmen met de waarnemingstijden op de overige klimatologische stations van het K.N.M.I.

Er werden achtereenvolgens op de meethoogten 25, 50, 100, 200, 100, 50 en 25 cm met tijdsverschillen van 4 minuten gedurende 2 minuten, 5 aflezingen verricht van de geventileerde droge- en nattebolthermometer. Het symmetrische schema werd zo afgewerkt, dat de middelste waarneming op 200 cm hoogte juist op 8, 14 of 19 uur viel. Met behulp van een Assmann-psychrometertabel kon bij iedere combinatie van de natte- en drogeboltemperatuur de dampspanning worden bepaald. De uitkomsten voor een zelfde hoogte in een meetserie werden tot een gemiddelde waarde samen-

gevoegd. Op deze wijze werd voor iedere dag de gemiddelde dampspanning en de gemiddelde temperatuur op de vier meethoogten te 8, 14 en 19 uur bepaald.

Daar de anemometers nog niet beschikbaar waren, konden nog geen metingen van de windsnelheid worden verricht. Om nu toch tot een schatting van de verdamping te kunnen geraken werd aangenomen, dat de door het meteorologische waarnemingsstation bij het Physisch Laboratorium te Groningen op torenhoogte gemeten windsnelheid overeenstemt met die, welke op 11 m hoogte boven vlak terrein zou worden gemeten en dat deze windsnelheid ook voor de Rottegatspolder zou gelden. Hoewel een grove benadering van de werkelijkheid, is deze veronderstelling, gelet op de geografische ligging van de stad Groningen en het waarnemingsstation in de Rottegatspolder, niet al te gewaagd, te minder aangezien geen momentane waarden van de windsnelheid gebruikt werden, doch gemiddelden over 2 uren, zoals die aan de uurtabellen konden worden ontleend. Voorts werd voor de ruwheidsparameter van de bodem de waarde van 3 cm aangenomen, een waarde die in de literatuur voor open grasland wordt opgegeven.

Met deze aanname en de voor de vier hoogten gevonden gemiddelde dampspanningen en gemiddelde temperaturen werd op 8, 14 en 19 uur dagelijks de verdamping per uur berekend, met behulp van de formules betreffende het verband tussen windsnelheid resp. dampspanning en de waarnemingshoogte (Lit. 2). De verkregen uitkomsten werden over de maand gesommeerd en de drie aldus verkregen sommen in een grafiek gebracht, waarvan op de horizontale as de uren van de dag waren uitgezet. Door de drie verkregen punten werd met de vrije hand een gemiddelde dagelijkse gang geconstrueerd, met een maximum overdag en een vlak minimum des nachts, hetgeen op ongedwongen wijze mogelijk bleek zonder daarbij belangrijke fouten te maken. Uit de grafiek kon dan over ieder uur de verdamping of de condensatie (negatieve verdamping) worden afgelezen en na optelling over de 24 uren van het etmaal werd de totale netto-verdamping over de maand gevonden. Het behoeft geen betoog, dat de op de geschetste wijze verkregen resultaten niet meer dan een globaal karakter dragen.

3. Theoretische basis

Nadat in April 1948 de registrerende psychrometer-installatie en de Robinson-anemometers waren geplaatst, kon de electrische registratie van de natte- en drogeboltemperaturen en van de windsnelheden een aanvang nemen. Aan de methoden van bewerking van de resultaten der waarnemingen liggen de in het volgende overzicht gegeven theoretische betrekkingen ten grondslag.

Volgens de theorie van de turbulente uitwisseling, zoals die door Prandtl, Sverdrup, Rossby en Montgomery vóór 1940 was ontwikkeld, kan de verticale transportstroomdichtheid van waterdamp (σ_z) in een horizontale, parallelle windstroming boven een uniform, oneindig uitgebreid oppervlak van een bepaald hydrodynamische ruwheid onder stationnaire omstandigheden worden uitgedrukt door de vergelijking:

$$\sigma_z = -\bar{\varrho}\ \varkappa^2\ (z+z_0)^2\ \frac{d\bar{u}}{dz}\ \frac{d\bar{\ }}{dz} \qquad (1)$$

waarin: $\bar{\varrho}$ = de dichtheid van de lucht,
$\varkappa$ = 0,40 (de constante van VON KÁRMÁN),
z = de hoogte boven het aardoppervlak,
z_0 = de ruwheidsparameter,
$\bar{u}$ = de gemiddelde horizontale windsnelheid
$\bar{q}$ = de gemiddelde specifieke vochtigheid van de lucht, d.i. de massa van de waterdamp per massa-eenheid vochtige lucht.

Daar het verticale transport door iedere horizontale eenheidsdoorsnede gelijk is, stelt σ_z tevens de verdampingssnelheid (F) voor, d.w.z. de watermassa, welke per oppervlakte-eenheid en per tijdseenheid verdampt. De vergelijking geldt strikt genomen alleen voor een atmosfeer waarin thermisch indifferent evenwicht heerst, d.w.z. voor een atmosfeer waarin de potentiële temperatuur niet met de hoogte verandert. Waarschijnlijk zijn de afwijkingen in een onstabiel gelaagde atmosfeer gering. Grotere afwijkingen mag men in een stabiel gelaagde atmosfeer verwachten. Onder dergelijke omstandigheden, welke vaak des nachts optreden, wordt de turbulente uitwisseling sterk onderdrukt; de verdamping is dan ook gering en daarom is deze toestand waarschijnlijk niet van overwegende betekenis.

De theorie leert verder, dat de beide factoren uit (1) te weten:

$$\left.\begin{aligned} (z+z_0)\frac{d\bar{u}}{dz} &= \frac{d\bar{u}}{d\ \ln\ (z+z_0)} = \frac{\Delta\ \bar{u}}{\Delta\ \ln\ (z+z_0)} \\ &\text{en} \\ (z+z_0)\frac{d\bar{q}}{dz} &= \frac{d\bar{q}}{d\ \ln\ (z+z_0)} = \frac{\Delta\ \bar{q}}{\Delta\ \ln\ (z+z_0)} \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

welke resp. het windsnelheids- en het vochtigheidsprofiel bepalen, constant zijn naar de hoogte. Deze grootheden kunnen derhalve door differentiequotiënten vervangen worden.

Om redenen van practische aard wordt in plaats van de specifieke vochtigheid $\bar{q}$ de dampspanning $\bar{e}$ gebruikt. Bij goede benadering geldt:

$$\bar{q} = 0{,}623\ \frac{\bar{e}}{p} \quad (3)$$

waarin p de luchtdruk voorstelt.

Tussen de luchtdruk p, de luchtdichtheid $\bar{\varrho}$ en de virtuele absolute temperatuur van de lucht T_v bestaat de betrekking:

$$p = \bar{\varrho}\ R_L\ T_v \quad (4)$$

waarbij R_L de gasconstante van droge lucht voorstelt.

Met gebruikmaking van (1), (2), (3) en (4) kan de verdampingssnelheid F in de volgende vorm worden gebracht:

$$F = -\ \frac{0{,}623\ \varkappa^2}{R_L\ T_v} \cdot \frac{\Delta\ \bar{u}}{\Delta\ \ln\ (z+z_0)} \cdot \frac{\Delta\ \bar{e}}{\Delta\ \ln\ (z+z_0)} \quad (5)$$

Drukt men alle grootheden in c.g.s.-eenheden uit, dus z en z_0 in cm, $\bar{u}$ in cm.sec^{-1}, in dn.cm^{-2}, T_v in °K, dan is $R_L = 2{,}8703 \times 10^6$ en men vindt F in g.cm^{-2}.sec^{-1}.

Het is gebruikelijk $\bar{u}$ in m.sec^{-1} te meten, $\bar{e}$ in mm kwikdruk, de temperatuur t in °C en F in mm waterhoogte per uur. Drukt men z en z_0 in cm uit, dan geldt voor dit geval:

$$F = -\frac{0{,}623\ \varkappa^2}{2{,}87 \,.\, 10^6} \cdot \frac{1}{t + 273} \cdot \frac{10^2\ \Delta\ \bar{u}}{\Delta \ln (z + z_0)} \cdot \frac{981{,}3 \,.\, 1{,}358 \,.\, \Delta\ \bar{e} \,.\, 3600 \,.\, 10}{\Delta \ln (z + z_0)} \qquad (6)$$

of:

$$F = -\frac{167}{t + 273} \cdot \frac{\Delta\ \bar{u}}{\Delta \ln (z + z_0)} \cdot \frac{\Delta\ \bar{e}}{\Delta \ln (z + z_0)} \ (\text{mm h}^{-1})$$

4. Practische uitvoering van de berekening

Reeds werd opgemerkt, dat $\bar{u}$ een lineaire functie is van ln $(z + z_0)$. Indien men dus de op de meethoogten z_i ($i = 1, \ldots 4$) verkregen windsnelheden $\bar{u}_i$ (gemiddelden over 1 uur) in een grafiek uitzet tegen ln $(z_i + z_0)$, dan zullen de punten op een rechte liggen, waarvan de helling direct de gezochte waarde $\frac{\Delta\ \bar{u}}{\Delta \ln (z + z_0)}$ heeft. Echter is z_0 een onbekende. Zet men de waarden $\bar{u}_i$ uit tegen ln z_i, dan liggen de punten niet op een rechte, doch op een kromme, welke echter des te minder van een rechte afwijkt naarmate z meer van z_0 verschilt.

Men kan nu de windkromme tussen het hoogste en het laagste meetpunt vervangen door een waarschijnlijkste rechte volgens de methode van de kleinste kwadraten en het verband bepalen tussen de parameters van deze rechte en de parameters

$$A = \frac{\Delta\ \bar{u}}{\Delta \ln (z + z_0)} \text{ en } z_0.$$

De waarschijnlijkste rechte kan worden voorgesteld door:

$$\bar{u}' = P \ln z + Q \qquad (7)$$

Substitutie van de waarden z_i in deze vergelijking levert waarden $\bar{u}_i'$, welke volgens de windwet gelden:

$$\bar{u}_i' = \frac{1}{\varkappa} \sqrt{\frac{\tau_0}{\bar{\varrho}}} \ln \frac{z + z_0}{z_0} = A \ln \frac{z_i + z_0}{z_0} \qquad (8)$$

Nu moet getracht worden P en Q zodanig te bepalen, dat de som van de kwadraten der verschillen ($n = 4$):

$$\Omega\ (P.Q) = \sum_1^n i\ (\bar{u}_i - \bar{u}_i')^2 = \sum_1^n i \left\{ A \ln \frac{z_i + z_0}{z_0} - (P \ln z_i + Q) \right\}^2 \qquad (9)$$

een minimum wordt. Daartoe moet $\frac{\delta\ \Omega}{\delta\ P} = \frac{\delta\ \Omega}{\delta\ Q} = 0$ zijn, hetgeen twee lineaire

vergelijkingen in P en Q geeft, waaruit deze grootheden gemakkelijk kunnen worden opgelost. Het eindresultaat blijkt in de volgende vorm geschreven te kunnen worden:

$$P = A.\ \alpha(z_0) \text{ en } Q = A.\ \beta(z_0) \tag{10}$$

waarin α (z_0) en β (z_0) bekende functies zijn van z_0, omdat de overige grootheden, welke er in voorkomen (z_1 en n = aantal meethoogten), alle bekend zijn.

De bepaling van de grootheden z_0 en A uit simultane windwaarnemingen op verschillende vaste hoogten z_1 kan nu op de volgende wijze grafisch worden uitgevoerd.

In een ($\bar{u}$, ln z)-diagram worden de gemeten windsnelheden $\bar{u}_1$ tegen ln z_1 uitgezet en door de punten ($\bar{u}_1$, ln z_1) op het oog de „beste" rechte getrokken. Deze rechte wordt nu beschouwd identiek te zijn met de rechte, die door (7) wordt voorgesteld. Zij snijdt de $\bar{u}$-as in het punt ($\bar{u}$, ln z) = (Q, O) en de ln z-as in het punt

$$(\bar{u}, \ln z) = (O, -\frac{Q}{P}).$$

Nu is volgens (10):

$$-\frac{Q}{P} = \frac{\beta(z_0)}{\alpha(z_0)} = \psi(z_0) \tag{11}$$

waarin ψ (z_0) eveneens een bekende functie van z_0 is. Voegt men nu aan de waarden $\ln z = -\frac{Q}{P}$ de waarden z_0 toe volgens (11) langs de ln z-as, dan leest men hierop onmiddellijk de gezochte waarde z_0 af.

Voorts leidt men gemakkelijk uit (7) en (10) de volgende waarde van A af:

$$A = \frac{\bar{u}'_1}{\alpha(z_0) \ln z_1 + \beta(z_0)} \tag{12}$$

De waarde $\bar{u}'_1$ is bepaald door de getrokken „beste" rechte. Trekt men vervolgens door een der punten ($\bar{u}'_1$, ln z_1) een nieuwe rechte, welke de ln z-as snijdt bij een waarde

$$\gamma(z_0) = \ln z_1 - \left\{\alpha(z_0) \ln z_1 + \beta(z_0)\right\} \tag{13}$$

dan heeft deze rechte de juiste helling A.

Voegt men wederom aan de waarden ln z = γ (z_0) de bijbehorende waarden z_0 op de ln z-as toe, dan kan men deze nieuwe rechte ook direct trekken als z_0 via (11) bekend is. De gezochte waarde A is af te lezen als tangens van de hoek tussen de normaal op de rechte en de $\bar{u}$-as langs een cirkelboog, die het punt ($\bar{u}'_1$, ln z_1) tot middelpunt heeft.

Door P. J. Rijkoort, wetenschappelijk assistent bij het K.N.M.I., werd een eenvoudig hulpinstrument geconstrueerd, waarmede op snelle wijze volgens de hier geschetste methode de waarden van z_0 en

$$A = \frac{\Delta\ \bar{u}}{\Delta \ln (z+z_0)} \text{ zijn te bepalen.}$$

Wat de dampspanningsgradiënt betreft kan men op analoge wijze te werk gaan. Onder stationnaire omstandigheden geldt:

$$\bar{e}(z) = \bar{e}(O) = B \ln \frac{z+z_0}{z_0} \tag{14}$$

resp.:

$$\frac{\triangle e}{\triangle \ln(z+z_0)} = -B \tag{15}$$

Wordt $\bar{e}(z)$ in een grafiek uitgezet tegen ln (z) dan wordt een kromme gevonden, die evenals bij de wind des te minder van een rechte afwijkt, naarmate z meer van z_0 verschilt. Wordt de kromme in het hoogte-interval vervangen door de „beste" rechte

$$\bar{e}'(z) = P' \ln z + Q' \tag{16}$$

dan kunnen volgens de methode van de kleinste kwadraten wederom P′ en Q′ bepaald worden:

$$P' = -B\,\alpha(z_0) \text{ en } Q' = \bar{e}(O) - B\,\beta(z_0) \tag{17}$$

waaruit:

$$-B = \frac{\triangle \bar{e}}{\triangle \ln(z+z_0)} = \frac{P'}{\alpha(z_0)} \tag{18}$$

volgt.

De bewerking van de anemometerregistraties is het eenvoudigst uit te voeren. Uittelling van het aantal geregistreerde contactafstanden levert met behulp van de ijking onmiddellijk de gemiddelde windsnelheid over het uur. De bewerking van de registraties der droge- en natteboltherm ometers levert meer moeite op. Hoewel men strikt genomen de gemiddelde dampspanning over een uur zou dienen af te leiden uit een zo groot mogelijk aantal dampspanningswaarden, afzonderlijk afgeleid uit droge- en natteboltemperaturen, bleek in de practijk, dat kon worden volstaan met de waarde van de dampspanning afgeleid uit het gemiddelde van 3 waarnemingen van de drogeboltemperatuur (aan het begin, het midden en het eind van het betrokken uur) gecombineerd met het gemiddelde van 3 waarnemingen van de natteboltemperatuur.

De verdamping over het uur werd berekend met (6) voor elk uur van de dag en gesommeerd over het etmaal.

5. Moeilijkheden met de psychrometers

Tijdens vorstperioden konden de registrerende psychrometers — wegens gemakkelijke bevriezing van de waterhouders voor de vochtvoorziening van de natte thermometers — niet worden gebruikt. Dan werden, om toch een zo goed mogelijke aaneensluitende reeks van uitkomsten te krijgen, driemaaldaagse waarnemingen met de Assmann-psychrometer verricht.

III. DE METHODE VAN DE WATERBALANS VOOR DE GEHELE POLDER

1. Inleiding

Onder de waterbalans van een polder voor een bepaalde periode wordt verstaan de gelijkstelling van de som der hoeveelheden water, welke door regen, inlating of kwel gedurende die periode op de polder zijn gebracht aan de som der hoeveelheden water, welke in dezelfde periode door lozing, uitzijging (= negatieve kwel) en verdamping aan de polder zijn onttrokken, vermeerderd met de toeneming van de in de grond en in de sloten geborgen hoeveelheden water.

De waterbalans kan daarom voorgesteld worden door de formule:

$$R + I + K = L + V + G + S$$

waarin R = regen (sneeuw, dauw), I = ingelaten water,
K = kwel (inclusief uitzijging of negatieve kwel),
L = geloosd water, V = verdamping,
G = toeneming van het in de grond geborgen water en
S = toeneming van het in de sloten en plassen geborgen water.

2. Bepaling van de verschillende termen van de waterbalans

Voor het berekenen van de hoeveelheid over een bepaalde periode verdampt water volgens de uit de waterbalans afgeleide formule voor de verdamping

$$V = R + I + K - L - G - S$$

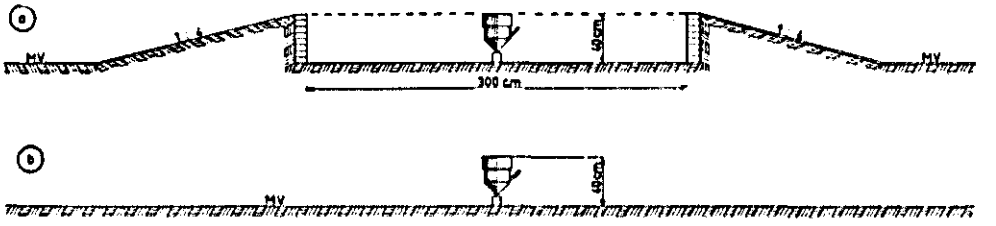
moet dus de grootte der in deze formule voorkomende termen R, enz. worden bepaald. Voor balansperioden van ongeveer één maand leverde dit — met uitzondering van G — geen bijzondere moeilijkheden op.

De bepaling van de aan de verschillende termen van de waterbalans toe te kennen waarden geschiedde als volgt:

R. Voor R werd beschikt over de waarnemingen van een 5-tal verspreid over de polder opgestelde regenmeters (K.N.M.I.-model), genummerd 1 t/m 5 (zie fig. 1b). Regenmeter nr 1 is opgesteld volgens de „Engelse opstelling", de overige meters volgens de normale bij het K.N.M.I. gebruikelijke methode, zoals in fig. 2 is aangegeven.

Uit de in Augustus 1947 aangevangen reeks waarnemingen bleek, dat over het algemeen met de regenmeter nr 1 grotere hoeveelheden neerslag werden gemeten, dan met de overige 4 regenmeters en dat de met de regenmeter nr 2 gemeten hoeveelheden neerslag onder invloed van de plaatselijke situatie (nabijgelegen boerderij, bomen enz.) min of meer betekenend bij de met de meters nrs 3, 4 en 5 waargenomen hoeveelheden achterbleven. Op 1 November 1949 werd regenmeter nr 2 verplaatst, tengevolge waarvan een belangrijke verandering ten goede kon worden geconstateerd. In de loop van het voorjaar van 1952 werd de opstelling der regenmeters andermaal

FIG. 2. Opstelling regenmeters



a = Engelse opstelling
= *English mounting*
= *montage à l'anglaise*

b = normale opstelling
= *normal mounting*
= *montage normal*

M.V. = maaiveld
= *surface level*
= *niveau du sol*

FIG. 2. *Mounting of pluviometers*
FIG. 2. *Montage des pluviomètres*

in discussie gebracht, hetgeen leidde tot het verplaatsen der regenmeters nrs 2 en 3 en het aanbrengen van enige wijziging in de opstelling der regenmeters nrs 4 en 5.

Voor perioden van een jaar vóór en na de verplaatsing van de regenmeter nr 2 op 1 November 1949 en van de regenmeters nrs 2 t/m 5 op 24—26 April 1953 geeft tabel 2 de percentages van de met de 4 normaal opgestelde regenmeters gemeten neerslaghoeveelheden ten opzichte van de met de meter nr 1 (Engelse opstelling) opgevangen hoeveelheden. De genoemde verschillen en de wijzigingen ten goede daarin tengevolge van de ingevoerde veranderingen in de opstelling der regenmeters komen in deze tabel duidelijk tot uitdrukking.

FIG. 3. Invloed van de verplaatsing der regenmeters nrs 2, 3, 4 en 5 op de verhoudingen (in procenten ten opzichte van regenmeter nr 1) der gemeten hoeveelheden (zie ook tabel 2)

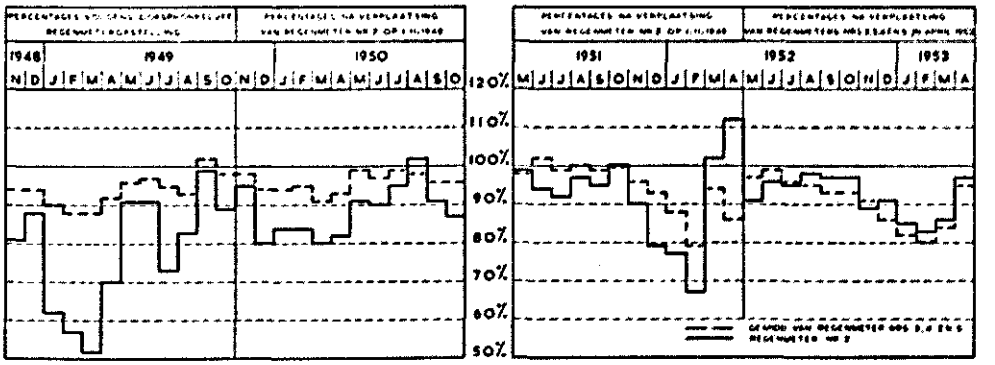


FIG. 3. *Influence of shifting of pluviometers nrs 2, 3, 4 and 5 on the proportions (in percentages with regard to pluviometer nr 1) of the quantities measured (see also table 2)*

FIG. 3. *Influence du déplacement des pluviomètres no 2, 3, 4 et 5 sur les proportions (en pourcents en égard du pluviomètre no 1) des quantités mesurées (voir aussi tableau no 2)*

TABEL 2. (zie ook fig. 3).

Neerslag gemeten met de regenmeters nrs 2, 3, 4 en 5 (zie fig. 1b en 2b) in procenten van de neerslag gemeten met regenmeter nr 1 (zie fig. 1b en 2a).

a. gedurende de perioden Nov. 1948/Oct. 1949 en Nov. 1949/Oct. 1950

Tijdvak *Period* *Période*	Regenmeter nr *Pluviometer nr* *Pluviomètre no* 2	3	4	5	Opmerkingen *Remarks* *Remarques*
November 1948	81	93	91	99	Het percentage voor regenmeter nr 2 is aanzienlijk geringer dan de percentages voor de regenmeters nrs 3, 4 en 5. *The percentage for pluviometer nr 2 is considerably lower than the percentages for the pluviometers nrs 3, 4 and 5.* *Le pourcentage pour le pluviomètre no 2 est considérablement plus petit que les pourcentages pour les pluviomètres nos 3, 4 et 5.*
December 1948	88	94	93	96	
Januari 1949	62	89	90	90	
Februari 1949	57	83	89	92	
Maart 1949	52	80	88	95	
April 1949	70	89	92	95	
Mei 1949	91	91	98	100	
Juni 1949	91	97	93	100	
Juli 1949	73	96	97	92	
Augustus 1949	83	95	92	93	
September 1949	99	98	102	105	
October 1949	89	99	95	99	
Nov. 1948/Oct. 1949	78	92	93	96	
		94			
November 1949	95	98	99	98	Op 1 November 1949 werd regenmeter nr 2 verplaatst. De percentages voor de regenmeters nrs 2, 3, 4 en 5 lopen onderling aanzienlijk minder sterk uiteen dan voordien het geval was. *On November 1st, 1949, pluviometer nr 2 was shifted. The percentages for the pluviometers nrs 2, 3, 4 and 5 mutually differ considerably less strongly than before.* *Le 1 novembre 1949 le pluviomètre no 2 fut déplacé. Les pourcentages pour les pluviomètres nos 2, 3, 4 et 5 diffèrent entre eux considérablement moins qu'auparavant.*
December 1949	80	91	93	98	
Januari 1950	84	95	92	95	
Februari 1950	84	97	93	96	
Maart 1950	80	88	90	96	
April 1950	82	90	91	98	
Mei 1950	91	89	102	106	
Juni 1950	90	96	95	99	
Juli 1950	95	99	97	100	
Augustus 1950	102	104	90	99	
September 1950	91	93	94	100	
October 1950	87	93	90	106	
Nov. 1949/Oct. 1950	89	95	94	99	
		96			

TABLE 2. *(see also fig. 3).*

Precipitation measured with the pluviometers nrs 2, 3, 4 and 5 (see fig. 1b and 2b) in percentages of the precipitation measured with pluviometer nr 1 (see fig. 1b and 2a).

a. During the periods Nov. 1948/Oct. 1949 and Nov. 1949/Oct. 1950

TABLEAU 2. *(voir aussi figure 3).*

Précipitation mesurée avec les pluviomètres nos 2, 3, 4 et 5 (voir figures 1b et 2b) en pourcents de la précipitation mesurée avec la pluviomètre no 1 (voir figures 1b et 2a).

a. Pendant les périodes novembre 1948/octobre 1949 et novembre 1949/octobre 1950

b. Gedurende de perioden Mei 1951/April 1952 en Mei 1952/April 1953

Tijdvak *Period* *Période*	Regenmeter nr *Pluviometer nr* *Pluviomètre no*				Opmerkingen *Remarks* *Remarques*
	2	3	4	5	
Mei 1951	99	94	99	100	De nevenstaande cijferreeks geeft een zelfde beeld als nok voor de periode Nov. 1949/Oct. 1950 werd gevonden (zie 2de deel van tabel 2a). Na de verplaatsing van regenmeter nr 2 op 1 Nov. 1949 blijft het percentage voor deze regenmeter over het algemeen iets kleiner dan de percentages voor de overige regenmeters. * Neerslag d.d. 23-4-1952: nrs 1 10,7 mm; 2 20,2 mm; 3 3,8 mm; 4 9,9 mm; en 5 11,1 mm. *The adjacent series of figures gives the same picture as was found for the period Nov. 1949/Oct. 1950 (see second part of table 2a). After the shifting of pluviometer nr 2 on November 1st, 1949 the percentage for this pluviometer generally remains a little lower than the percentages for the other pluviometers.* ** Precipitation d.d. 23.4.1952:* *nrs 1 10.7 mm; 2 20.2 mm; 3 3.8 mm; 4 9.9 mm; and 5 11.1 mm.* *La série de chiffres à gauche donne le même image que pour la période nov. 1949/oct. 1950 (voir la 2me partie du tableau 2a). Après le déplacement du pluviomètre no 2 au 1 nov. 1949 le pourcentage pour ce pluviomètre-ci reste généralement un peu moins que les pourcentages pour les autres pluviomètres.* ** Précipitation du 23.4.1952:* *nos 1 10,7 mm; 2 20,2 mm; 3 3,8 mm; 4 9,9 mm et 5 11,1 mm.*
Juni 1951	94	100	103	102	
Juli 1951	92	100	101	96	
Augustus 1951	97	106	97	98	
September 1951	95	99	100	99	
October 1951	100	97	99	103	
November 1951	90	97	93	98	
December 1951	79	95	88	97	
Januari 1952	77	87	84	92	
Februari 1952	67	86	71	81	
Maart 1952	102	95	92	96	
April 1952 *	112	65	92	101	
Mei 1951/April 1952	90	94	93	97	
		95			
Mei 1952	91	96	100	96	In April 1952 werden de regenmeters nrs 2 en 3 verplaatst en werd in de opstelling van de regenmeters nrs 4 en 5 enige wijziging gebracht. Tengevolge van deze maatregelen komen de percentages voor de 4 regenmeters onderling vrijwel met elkaar overeen. *In April 1952 the pluviometers nrs 2 and 3 were shifted and a small change was effected in the place of the pluviometers nrs 4 and 5. Owing to these measures the percentages of the 4 pluviometers fairly well agree.* *En avril 1952 les pluviomètres nos 2 et 3 furent déplacés et la situation des pluviomètres 4 et 5 fut légèrement changée. Par suite de ces mesures les pourcentages pour les 4 pluviomètres sont à peu près conformes.*
Juni 1952	96	99	100	99	
Juli 1952	95	96	98	95	
Augustus 1952	98	95	95	96	
September 1952	97	91	91	97	
October 1952	97	95	91	94	
November 1952	89	91	90	92	
December 1952	91	85	85	88	
Januari 1953	85	81	81	86	
Februari 1953	83	82	79	80	
Maart 1953	86	81	83	89	
April 1953	97	96	94	95	
Mei 1952/April 1953	93	92	92	93	
		92			

b. During the periods May 1951/April 1952 and May 1952/April 1953

b. Pendant les périodes mai 1951/avril 1952 et mai 1952/avril 1953

In figuur 3 zijn de maandpercentages uit de tabel 2 ter nadere verduidelijking grafisch weergegeven. De grafiek wijst nog wel in de richting van enige seizoeninvloed. Gedurende de zomermaanden zijn de percentages nl. over het algemeen hoger, dan gedurende de wintermaanden.

Op grond van de opgedane ervaring werd in April 1953 overgegaan tot het

plaatsen van een regenmeter in een gewone opstelling direct naast regenmeter nr 1, teneinde dit verschil beter te kunnen bestuderen.

Voor de per balansperiode met betrekking tot de neerslag in rekening te brengen hoeveelheden, wordt verwezen naar de gegevens in de tabel 4 van dit artikel.

l. Op grond van de verkregen inlichtingen mocht aanvankelijk worden aangenomen, dat niet op inlaten van water gerekend behoefde te worden. Nadat in de droge zomer van 1947 de polder met watergebrek te kampen kreeg en derhalve op primitieve wijze tot het inlaten van water moest worden overgegaan, werd tot de bouw van een inlaatduiker met meetschot besloten. Deze installatie kwam in Juli 1949 gereed. Nadat het meetschot geijkt was (zie fig. 4), konden op eenvoudige wijze de ingelaten hoeveelheden water worden berekend.

FIG. 4. Capaciteitskromme inlaatduiker

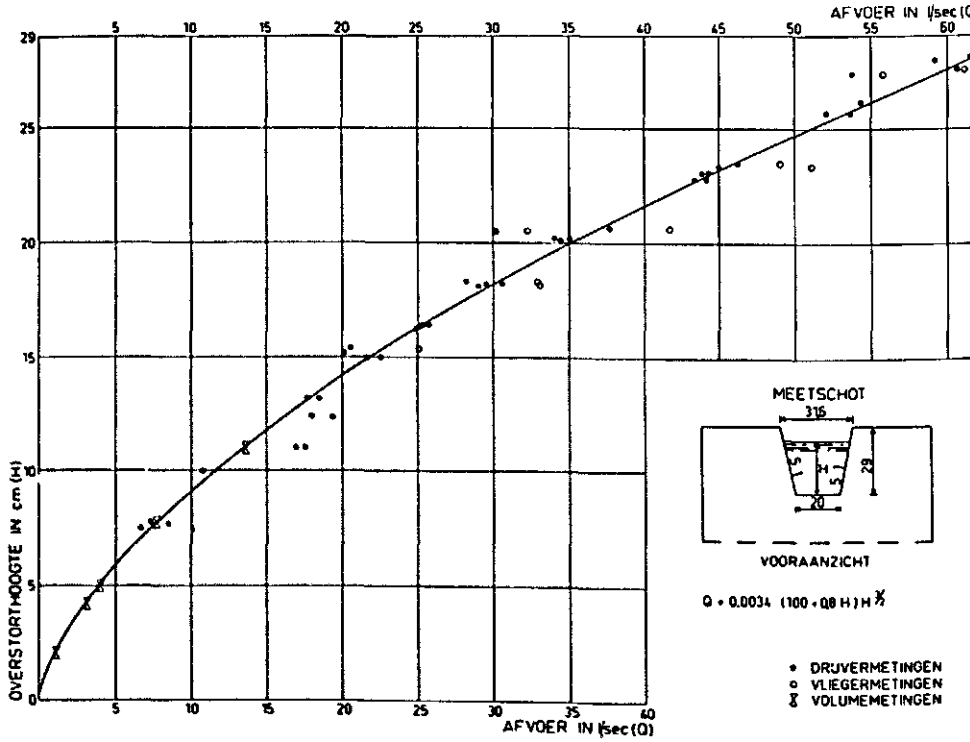


FIG. 4. *Capacity curve irrigation culvert*
FIG. 4. *Courbe de capacité de l'aqueduc d'irrigation*

Bij extreem hoog oplopende boezemstanden, welke bij uitzondering voorkwamen, bleken de tussen de boezem en de polder gelegen kaden niet geheel waterkerend meer te zijn. Onder deze omstandigheden was een enkele maal water in oncontroleerbare hoeveelheden in de polder gekomen. De op grond van een globale raming vastgestelde

hoeveelheden waren relatief gering. Maatregelen werden inmiddels genomen om deze lekkages te voorkomen, dan wel te beperken.

K. Teneinde te kunnen vaststellen of met positieve dan wel met negatieve kwel (inzijging) rekening gehouden moest worden, werd door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening in 1946 een 4-tal boringen (I t/m IV) in de polder uitgevoerd, waarbij de boorgaten met behulp van peilbuizen van uiteenlopende lengte werden ingericht tot waarnemingspunten voor de stijghoogte van het diepe grondwater. De diepteligging der 7 filters varieert van ongeveer 10 tot ongeveer 45 m — N.A.P.

Op grond van de geschatte waarden der doorlatendheidsfactoren van de aangeboorde grondlagen en van het geringe verschil — hetzij positief hetzij negatief — tussen het gemiddelde polderpeil en de gemiddelde stijghoogte van het diepe grondwater is de conclusie gerechtvaardigd, dat — voorzover enige kwel mocht optreden — deze van te verwaarloosbare omvang zal zijn. De term K in de formule voor V kan derhalve op nul gesteld worden.

Ter nadere oriëntering geeft tabel 3a voor de 5 jaren omvattende periode 1948/1952 kwartaals- en jaarsgewijze een overzicht van de stijghoogten van het diepe grondwater in een 7-tal peilbuizen, de gem. stijghoogten van het phreatisch water in 14 (gedurende 1948/1951) resp. 11 (gedurende 1952) verspreid over de polder geplaatste peilbuizen (z.g. landbouwbuizen), het gem. polderpeil (32 peilschalen), het gem. boezempeil, de hoeveelheden neerslag en het peil in de omliggende polders.

Met betrekking tot de vermelde standen van het diepe grondwater kan worden opgemerkt, dat in de filters nrs II.1 en III.1 over het algemeen een gemiddeld 4 à 5 cm lagere waterstand optreedt, dan in de filters nrs I.1 en IV.1 het geval is, hetgeen dus wijst op een zeer gering verhang van noord naar zuid. Eveneens geeft filter nr III.2 een lagere (8 à 9 cm) waterstand aan dan filter nr I.2, d.w.z. een iets sterker verhang dan voor de filters nr 1 het geval is.

De gemiddelde stijghoogten per tijdvak volgens de 4 filters nr 1 komen practisch geheel overeen met die volgens de 7 filters tezamen. De gemiddelden volgens de 2 filters nr 2 liggen echter over het algemeen ongeveer 4 à 5 cm boven en de stijghoogte volgens filter nr 1.3 ligt over het algemeen 6 à 8 cm onder het algemeen gemiddelde. Het verhang in verticale zin is derhalve uiterst gering en naar de diepte toe wisselend van teken. Met inachtneming van de verschillen, welke het gevolg zijn van het bij de aanleg der filters geconstateerde verschil in zoutgehalte tussen het uit de verschillende lagen afkomstige water, kan worden vastgesteld, dat een waterbeweging in verticale richting practisch van geen betekenis is.

Uit de waterstanden, welke zijn waargenomen in de omliggende polders blijkt, dat het peil in de ten zuidoosten van het Damsterdiep gelegen polders bijna 40 cm lager is, dan dat van de Rottegatspolder en de direct hieraan grenzende polders. Het gemiddelde boezempeil bedraagt 0,83 m — N.A.P. Voorzover het peil van het Damsterdiep of de lage polderpeilen in de Boltjerpolder en in de Fledderbosscherpolder het optreden van kwel mogelijk zouden bevorderen, dan zou voor de waterbalans — in verband met de richting waarin een eventuele kwel zou optreden — alleen het verschil in kwel van belang zijn.

TABEL 3a. De stijghoogten van het diepe en het ondiepe grondwater, het polderpeil, het boezempeil en afzonderlijk voor elk der 5 jaren

	Diep grondwater *Deep groundwater* *Eau souterraine profonde*							
Boring nr . . . . . *Sondage no*	IV	I	II	III	I	III	I	Gemiddelde stijghoogte *Mean rising-height* *Hauteur d'ascension moyenne*
Filter nr . . . . . *Filtre no*	1	1	1	1	2	2	3	
Filterdiepte in m — N.A.P. . . . . *Filterdepth in m — N.A.P.* *Profondeur de filtration en m — N.A.P.*	14,2	16,3	10,6	13,3	25,3	24,9	45,3	
Tijdvak *Period* *Période*								Waterstanden *Waterlevels* *Niveaux d'eau*
Jan. t/m Maart 1948	132	126	140	130	120	130	132	130
April t/m Juni 1948	153	154	157	162	169	161	161	158
Juli t/m Sept. 1948	162	159	160	164	157	165	169	162
Oct. t/m Dec. 1948	155	153	155	159	150	159	162	156
Jan. t/m Maart 1949	144	143	149	150	139	149	151	146
April t/m Juni 1949	151	151	155	156	146	155	158	153
Juli t/m Sept. 1949	179	175	176	180	170	179	182	177
Oct. t/m Dec. 1949	162	161	164	165	156	164	169	163
Jan. t/m Maart 1950	134	135	140	140	132	139	139	137
April t/m Juni 1950	146	146	151	151	142	151	153	149
Juli t/m Sept. 1950	157	154	157	159	150	159	161	157
Oct. t/m Dec. 1950	129	131	135	137	128	136	140	134
Jan. t/m Maart 1951	131	132	140	137	126	136	137	134
April t/m Juni 1951	140	141	145	147	138	146	149	144
Juli t/m Sept. 1951	174	171	171	175	165	173	176	172
Oct. t/m Dec. 1951	162	161	163	166	158	166	170	163
Jan. t/m Maart 1952	136	137	143	144	133	143	144	140
April t/m Juni 1952	155	154	156	161	151	160	162	157
Juli t/m Sept. 1952	166	163	161	167	160	167	170	165
Oct. t/m Dec. 1952	128	131	135	136	128	136	137	133
Jaar *(year)* *(année)* 1948	150	148	153	154	144	154	156	151
1949	159	158	161	162	153	162	165	160
1950	141	142	146	147	138	146	149	144
1951	152	151	155	156	147	155	158	153
1952	146	146	149	152	143	152	153	149
Jaar 1948/1952 gemiddeld *(average)* *(moyenne)*	150	149	153	154	145	154	156	151

TABLE 3a. *The rising heights of the deep and the shallow groundwater, the polderlevel, the "boezem"-*
annually separately for each of the

TABLEAU 3a. *Les hauteurs d'ascension de l'eau souterraine et superficielle, le niveau du polder, le niveau*
et annuellement, séparément pour chacune

de hoeveelheid neerslag, alsmede de polderpeilen van de omliggende polders, per kwartaal en per jaar van de periode 1948–1952

Gemiddeld peil ondiep grondwater *Mean level of shallow groundwater* *Niveau moyen de l'eau souterraine superficielle*	Gemiddeld polderpeil *Mean polder-level* *Niveau moyen du polder*	Gemiddeld boezempeil *Mean "boezem"-level* *Niveau moyen du „boezem"*	Neerslag *Precipitation* *Précipitation*	Waterstanden in omliggende polders *Waterlevels in adjacent polders* *Niveaux d'eau dans les polders circonvoisins*					
				Garmerwolder polder	Langelandster-molen polder	Swieringa-polder	Kaakheemster-polder	Bolijerpolder	Fledder-bosscherpolder
in cm — N.A.P. *in cm — N.A.P.* *en cm — N.A.P.*			in mm *in mm* *en mm*	Waterstanden in cm — N.A.P. *Waterlevels in cm — N.A.P.* *Niveaux d'eau en cm — N.A.P.*					
121	148	66	219	155	151	131	146	186	180
152	154	86	191	168	165	144	169	198	192
146	148	86	260	159	158	137	157	196	193
146	151	89	98	165	160	142	164	195	193
136	154	96	112	173	164	144	165	209	193
145	152	88	166	165	163	144	162	207	192
167	160	83	150	176	179	.	168	209	196
152	153	75	280	162	155	.	161	207	190
128	151	86	165	165	157	143	162	202	188
137	149	87	182	162	160	142	162	204	191
141	151	78	368	162	164	142	153	207	190
119	148	77	183	160	164	142	158	207	187
121	145	76	238	159	168	140	170	204	185
132	147	90	176	163	167	143	168	206	189
164	157	86	159	170	174	.	169	207	194
148	156	83	211	170	174	.	173	202	192
128	150	88	158	161	172	142	174	203	191
145	155	85	112	167	172	151	177	205	194
153	154	85	278	162	169	.	170	201	193
135	148	78	228	154	165	139	170	202	184
140	150	82	768	162	159	138	159	194	189
150	155	85	708	169	165	.	164	208	193
131	150	82	898	162	161	142	159	205	189
141	151	84	784	166	170	144	170	205	190
140	152	84	776	161	170	.	173	203	191
140	152	83	787	164	165	.	165	203	190

level and the quantity of precipitation, as well as the polderlevels of the adjacent polders, quarterly and 5 years of the period 1948–1952

du „boezem" et la quantité de précipitation, ainsi que les niveaux des polders circonvoisins, trimestriellement des années de la période 1948–1952

TABEL 3b. De stijghoogten van het diepe en het ondiepe grondwater, het polderpeil, het boezempeil en de per jaar, gemiddeld voor de 5 jaren van

	Diep grondwater *Deep groundwater* *Eau souterraine profonde*							
Boring nr *Sondage no*	IV	I	II	III	I	III	I	Gemiddelde stijghoogte *Mean rising-height* *Hauteur d'ascension moyenne*
Filter nr *Filtre no*	1	1	1	1	2	2	3	
Filterdiepte in m — N.A.P. *Filterdepth in m — N.A.P.* *Profondeur de filtration en m — N.A.P.*	14,2	16,3	10,6	13,3	25,3	24,9	45,3	
Tijdvak *Period* *Période*	Waterstanden *Waterlevels* *Niveaux d'eau*							
Jan. 1948 t/m 1952	132	134	140	140	129	139	140	137
Febr. 1948 t/m 1952	134	136	141	141	130	141	143	138
Maart 1948 t/m 1952	140	134	147	140	130	139	132	138
April 1948 t/m 1952	140	142	147	149	137	148	149	145
Mei 1948 t/m 1952	148	148	152	154	144	154	156	151
Juni 1948 t/m 1952	159	157	160	163	154	163	165	160
Juli 1948 t/m 1952	169	166	167	171	162	170	173	168
Aug. 1948 t/m 1952	170	167	168	171	162	170	173	169
Sept. 1948 t/m 1952	164	161	160	164	157	164	168	163
Oct. 1948 t/m 1952	160	159	160	163	155	162	167	161
Nov. 1948 t/m 1952	148	149	152	153	146	154	156	151
Dec. 1948 t/m 1952	128	135	140	141	132	141	144	137
1e kwart. *(quarter) (trim.)* 1948/1952	135	135	143	140	130	140	138	138
2e kwart. *(quarter) (trim.)* 1948/1952	149	149	153	155	145	155	157	152
3e kwart. *(quarter) (trim.)* 1948/1952	168	165	165	169	160	168	171	167
4e kwart. *(quarter) (trim.)* 1948/1952	145	148	151	152	144	152	156	150
Jaar *(year) (année)* 1948 t/m 1952	149	149	153	154	145	154	156	151

TABLE 3b. *The rising heights of the deep and the shallow groundwater, the polderlevel, the "boezem"-level and annually, average for the 5 years of*

TABLEAU 3b. *Les hauteurs d'ascension de l'eau souterraine profonde et superficielle, ainsi que des niveaux la période 1948–1952*

Teneinde een indruk te verkrijgen van de gedragingen gemiddeld per jaar voor de 5-jarige periode 1948—1952 van de grondwaterstanden e.d. van maand tot maand en van kwartaal tot kwartaal, zijn de voor de samenstelling van tabel nr 3a gebruikte gegevens eveneens bewerkt voor de afzonderlijke maanden en kwartalen en voor het gehele jaar (zie tabel 3b). Vanzelfsprekend komt het 5-jaargemiddelde uit tabel 3a overeen met het 5-jaargemiddelde uit tabel 3b, behoudens enkele tengevolge van ingevoerde afrondingen ontstane afwijkingen. In figuur 5 is het cijfermateriaal van tabel 3b grafisch weergegeven.

Zoals uit de gegevens voorkomende in de tabellen 3a en 3b kan worden afgeleid

hoeveelheid neerslag, alsmede de polderpeilen van de omliggende polders, per maand, per kwartaal en de periode 1948–1952 (zie figuur nr 5)

Gemiddeld peil ondiep grondwater *Mean level of shallow groundwater* *Niveau moyen de l'eau souterraine superficielle*	Gemiddeld polderpeil *Mean polder-level* *Niveau moyen du polder*	Gemiddeld boezempeil *Mean "boezem"-level* *Niveau moyen du „boezem"*	Neerslag *Precipitation* *Précipitation*	Waterstanden in omliggende polders *Waterlevels in adjacent polders* *Niveaux d'eau dans les polders circonvoisins*					
				Garmerwolder polder	Langelandster-molen polder	Swieringa-polder	Kaakheemster-polder	Boltjerpolder	Fledder-bosscherpolder
in cm — N.A.P. *in cm — N.A.P.* *en cm — N.A.P.*			in mm *in mm* *en mm*	Waterstanden in cm — N.A.P. *Waterlevels in cm — N.A.P.* *Niveaux d'eau en cm — N.A.P.*					
121	144	68	82	161	152	135	157	197	183
131	150	87	52	162	165	141	164	201	188
132	150	93	44	165	164	144	168	204	190
131	152	93	57	162	165	143	171	203	191
143	149	84	59	163	162	142	166	204	191
152	153	85	50	168	168	149	164	205	193
155	158	85	76	168	172	152	164	206	194
154	154	85	84	165	168	139	163	204	193
153	150	81	83	163	166	138	161	203	192
154	155	83	40	167	168	139	166	204	193
140	151	80	92	163	164	141	164	201	188
126	148	78	68	157	158	141	164	203	187
128	148	83	178	163	162	140	163	201	187
142	151	87	166	164	165	145	167	204	192
154	154	84	243	165	169	143	163	204	193
140	151	80	200	162	163	140	165	203	189
141	151	84	787	164	165	142	165	203	190

the quantity of precipitation, as well as of the polderlevels of the adjacent polders, monthly, quarterly and the period 1948–1952 (see fig. 5)

des polders circonvoisins, mensuellement, trimestriellement et annuellement; moyennes pour les 5 années de (voir figure no 5)

is er bij het verloop van de stijghoogten van het diepe en van het ondiepe grondwater sprake van een sterke seizoensinvloed. In de wintermaanden ofwel het natte seizoen zijn de verschillende peilen aanzienlijk hoger dan in de zomermaanden, welke het droge seizoen omvatten. Het diepe grondwater daalt in de zomer in de waarnemingsbuizen tot ongeveer 8 cm beneden het gemiddelde zomerpolderpeil, terwijl in de winter het peil, tot waarop het diepe grondwater in de waarnemingsbuizen stijgt, ongeveer 12 cm hoger is dan het gemiddelde winterpolderpeil. Dit laatste ligt 3 cm hoger dan het gemiddelde zomerpolderpeil.

Wordt de stijghoogte van het diepe grondwater vergeleken met het peil van het

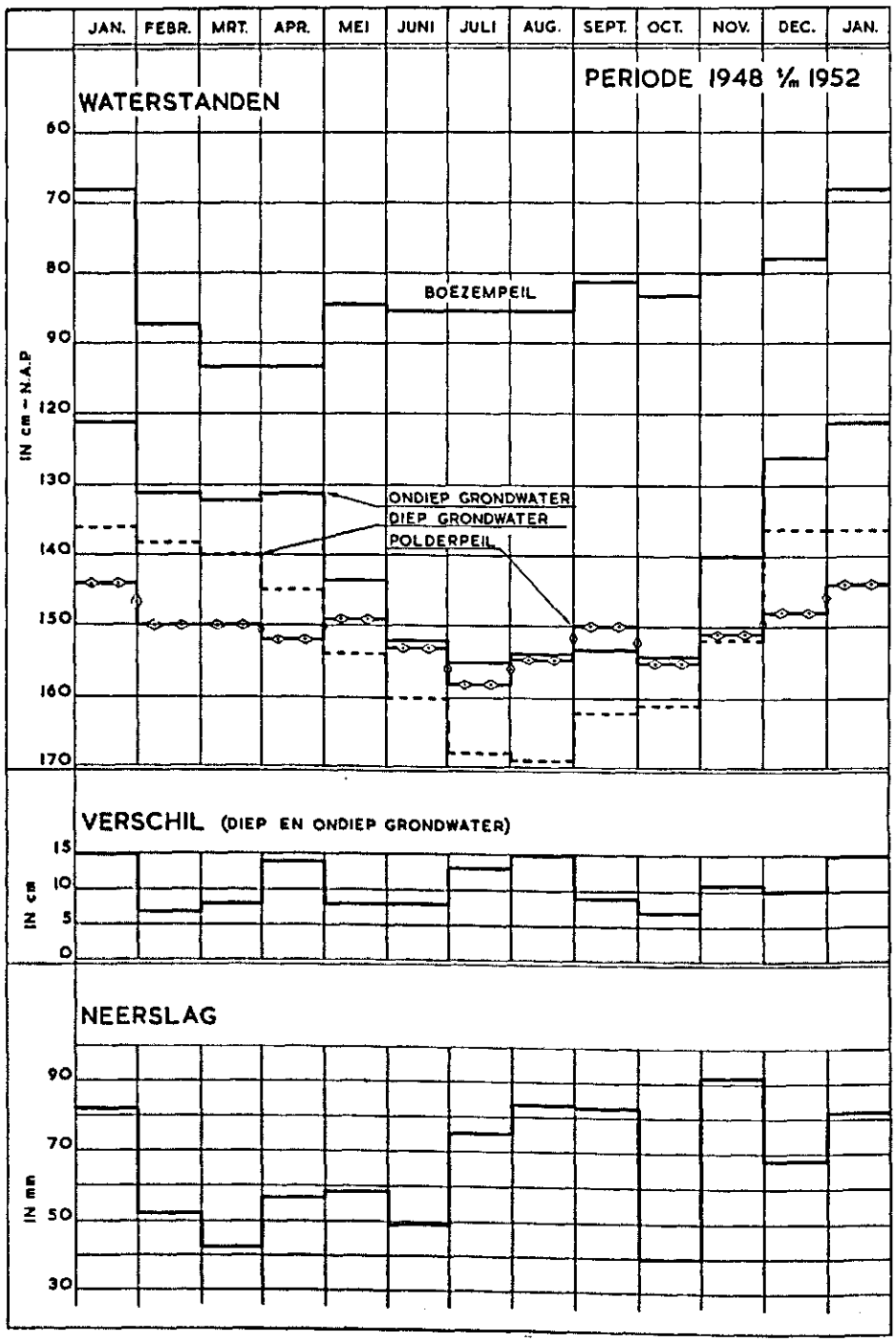

JAN.
FEBR.
MRT.
APR.
MEI
JUNI
JULI
AUG.
SEPT.
OCT.
NOV.
DEC.
JAN.
PERIODE 1948 t/m 1952
WATERSTANDEN
IN cm - N.A.P
60
70
80
90
120
130
140
150
160
170
BOEZEMPEIL
ONDIEP GRONDWATER
DIEP GRONDWATER
POLDERPEIL
VERSCHIL (DIEP EN ONDIEP GRONDWATER)
IN cm
15
10
5
0
NEERSLAG
IN mm
90
70
50
30

FIG. 5. Het verloop per maand gemiddeld voor de 5-jarige periode 1948–1952 van de stijghoogten van het diepe en het ondiepe grondwater, van het verschil tussen deze stijghoogten, van het boezem- en het polderpeil en van de hoeveelheid neerslag (zie ook tabel 3b)

FIG. 5. *The course per month as an average of the 5 years period 1948–1952 of the rising altitudes of the deep and the shallow groundwater, of the difference between these altitudes, of the „boezem"- and the polder level and of the quantity of precipitation (see also table 3b)*

FIG. 5. *Le cours mensuel moyen pour la période de 5 années 1948–1952 des altitudes d'ascension de l'eau souterraine profonde et superficielle, de la différence entre ces altitudes d'ascension, du niveau du „boezem" et du polder et de la quantité de précipitation (voir aussi tableau 3b)*

ondiepe grondwater, dan is het laatstgenoemde peil steeds hoger dan het eerstgenoemde en wel in de zomerperiode gemiddeld ongeveer 9 cm en in de winterperiode ongeveer 12 cm (zie ook figuur 5).

Daar voorts in de winterperiode het polderpeil kunstmatig beïnvloed wordt door het in bedrijf zijn van de bemalingsinstallatie, terwijl voor de zomerperiode — waarin slechts bij hoge uitzondering water wordt ingelaten — van kunstmatig ingrijpen nauwelijks sprake is, is op grond van een uitvoerige bewerking van het beschikbare waarnemingsmateriaal gebleken, dat de stijghoogten van het diepe grondwater en de stand van het ondiepe grondwater niet door de kunstmatige wijzigingen van het polderpeil ten gevolge van het malen beïnvloed worden.

L. Van het voor de lozing van het overtollige water bestemde vijzelgemaal werd aan de hand van een groot aantal in de toe- en afvoersloot uitgevoerde stroomsnelheidsmetingen de opbrengst bij verschillende hoogten van het polderpeil bepaald. Hierdoor was het mogelijk een capaciteitskromme voor het gemaal op te stellen (zie fig. 6). Met behulp van de voor elke lozing opgenomen gegevens inzake de tijdsduur en het verloop van het polderpeil, werden de hoeveelheden geloosd water vervolgens vastgesteld.

G. Ter bepaling van de wijziging per balansperiode van de hoeveelheden in de grond geborgen water, is het noodzakelijk de hoeveelheden boven een bepaald vlak in de bodem geborgen water aan het begin en aan het einde van de in beschouwing genomen periode vast te stellen. Van alle bekende methoden ter bepaling van deze waterberging werd met het oog op het verkrijgen van een zo nauwkeurig mogelijk resultaat en een practische uitvoerbaarheid zonder in onevenredig hoge kosten te vervallen, de voorkeur gegeven aan de methode van de periodieke grondvochtbemonsteringen.

De — van bemonsteringsveldje tot bemonsteringsveldje — geconstateerde verschillen in de vochtgehalten van de bodem kunnen veroorzaakt worden door de heterogeniteit van de bodem, het verschil in de neerslag en het verschil in de verdamping.

Op grond van het op uiteenlopende wijze uitvoeren van de gekozen methode kon worden geconcludeerd, dat het verschil in de verdamping van veldje tot veldje een even belangrijke, zo niet belangrijkere rol speelt dan de heterogeniteit van de bodem. Onder deze omstandigheden werd het practisch onuitvoerbaar geacht om met de thans bekende methoden en beschikbare hulpmiddelen de verdamping uit de gehele

FIG. 6. Capaciteitskromme van het vijzelgemaal

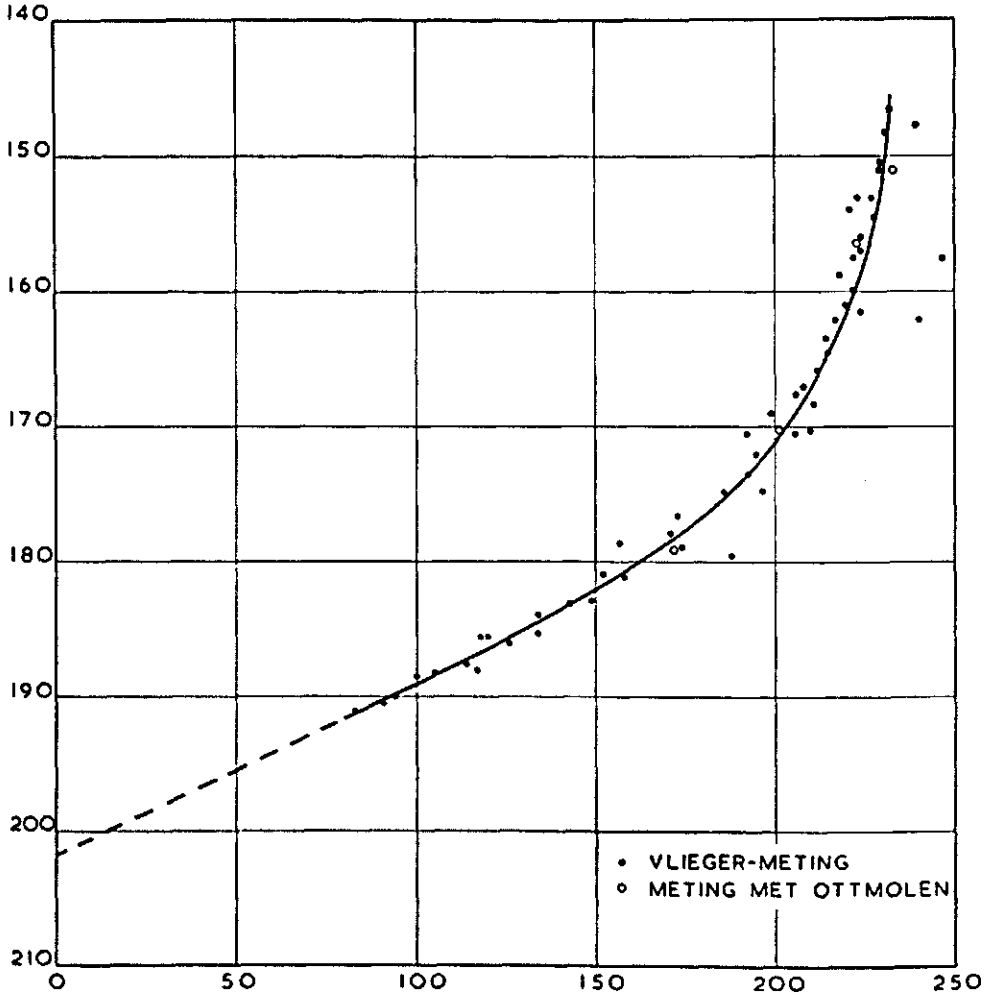


FIG. 6. *Capacity curve of the screw-pumpstation*

FIG. 6. *Courbe de capacité du station d'épuisement à vérin*

polder voor perioden van één maand op een bevredigend nauwkeurige wijze te berekenen, met behulp van de methode van de waterbalans. Besloten werd daarom — aanvangende met het waarnemingsjaar October 1950/October 1951 — de balansperiode voor de gehele polder op ongeveer 3 maanden te stellen, met dien verstande, dat het laatste kwartaal in een kalenderjaar en het eerste kwartaal in het daaropvolgende kalenderjaar eventueel tot één balansperiode zouden worden samengevoegd indien de middelbare afwijkingen in de voor de grondvochttoenemingen gevonden

waarden over een periode van 3 maanden te groot zouden zijn, om de verdamping over die kwartalen voldoende nauwkeurig te kunnen berekenen.

In Hoofdstuk IV wordt uitvoerig ingegaan op de problemen verbonden aan de grondvochtbemonsteringen en aan het bepalen van de wijzigingen per balansperiode in de hoeveelheden in de bodem geborgen water.

S. Ten behoeve van de bepalingen van het verschil tussen de hoeveelheden — aan het begin en het einde van een balansperiode — in de sloten en plassen van de Rottegatspolder geborgen water, werden bij verschillende waterstanden de oppervlakten (= tezamen 3 à 4% van het totale polderoppervlak) van de slootwaterspiegels c.a. opgemeten. Uit deze gegevens en de uit de peilschaalwaarnemingen afgeleide verschillen in de slootpeilen, werd voor elke periode de grootte van S bepaald.

3. Overzicht der meetresultaten

In tabel 4 is het resultaat (in mm) van de uitgevoerde metingen en berekeningen opgenomen.

De gegevens voor deze tabel zijn ontleend aan de „Verslagen betreffende het verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder" (Lit. 3). Voor R en G is echter rekening gehouden met achteraf wenselijk gebleken wijzigingen van ondergeschikte aard.

Opgemerkt wordt, dat in het late najaar van 1951 verschillende percelen grasland werden omgeploegd en voor bouwland werden bestemd. Tot dat tijdstip bestond de polder voor 59% uit bouwland en voor 29% uit grasland; nadien zijn deze percentages resp. 75% en 13% geworden.

TABEL 4. Gegevens in mm voor de waterbalans van de Rottegatspolder

Periode *Period* *Période*	Aantal dagen *Number of days* *Nombre de jours*	Neerslag *Precipitation* *Précipitation* R	Inlating *Inlet* *Irrigation* I	Lozing *Drainage* *Décharge* L	Wijziging grondwaterberging *Changes in groundwater-storage* *Modification du dépôt d'eau souterraine* G	Wijziging slootwaterberging *Changes in ditchwater-storage* *Modification du dépôt d'eau des fossés* S	Verdamping V = R + I-L-G-S per *Evaporation* V = R + I-L-G-S *per* *Evaporation* V = R + I-L-G-S *par* periode *period* *période*	dag *day* *jour*
3- 2-1948/ 1- 4-1948	57	74	0	72	-11	-3	16	0,28
1- 4-1948/ 3- 5-1948	32	62	0	14	- 7	2	53	1,62
3- 5-1948/ 1- 6-1948	29	44	0	0	-21	-1	66	2,28
1- 6-1948/ 1- 7-1948	30	96	0	0	- 6	0	102	3,40
1- 7-1948/ 2- 8-1948	32	72	0	0	-24	-1	97	3,03
2- 8-1948/ 2- 9-1948	31	110	0	0	26	5	79	2,55
2- 9-1948/ 5-10-1948	33	80	0	12	14	-1	55	1,67
5-10-1948/ 1-11-1948	27	31	0	0	5	0	26	0,96
1-11-1948/ 2-12-1948	31	29	0	9	5	-2	17	0,55
2-12-1948/10- 1-1949	39	55	0	35	31	2	-13	-0,30
10- 1-1949/ 2- 2-1949	23	23	0	20	3	0	0	0,00
2- 2-1949/ 2- 3-1949	28	50	0	24	15	2	9	0,31
2- 3-1949/31- 3-1949	29	28	0	26	-43	0	45	1,55
31- 3-1949/ 2- 5-1949	32	71	0	15	- 5	2	59	1,84
2- 5-1949/ 1- 6-1949	30	75	0	7	10	0	58	1,93
1- 6-1949/30- 6-1949	29	25	0	0	-49	-3	77	2,66
30- 6-1949/ 1- 8-1949	32	55	4	0	-33	-1	93	2,91
1- 8-1949/ 2- 9-1949	32	66	6	0	-21	0	93	2,91
2- 9-1949/ 4-10-1949	32	34	5	0	18	-1	22	0,69
4-10-1949/ 2-11-1949	29	52	4	0	14	0	42	1,45
2-11-1949/ 1-12-1949	29	134	0	43	63	4	24	0,83
1-12-1949/ 3- 1-1950	33	126	0	103	4	3	16	0,48
3- 1-1950/19- 5-1950	136	277	0	151	-63	-1	190	1,40
19- 5-1950/ 2- 6-1950	14	37	0	2	1	2	32	2,28
2- 6-1950/ 4- 7-1950	32	64	0	0	-32	-5	101	3,15
4- 7-1950/ 1- 8-1950	28	79	0	0	11	-2	70	2,50
1- 8-1950/ 5- 9-1950	35	117	2	0	6	6	107	3,06
5- 9-1950/ 2-10-1950	27	163	0	89	15	-1	60	2,22
*								
19- 4-1951/10- 7-1951	82	144	0	21	-48	-2	173	2,11
10- 7-1951/ 4-10-1951	86	142	16	0	-20	-2	179	2,08
4-10-1951/15- 1-1952	103	271	0	121	81	5	64	0,62
15- 1-1952/10- 4-1952	86	131	0	107	0	-4	28	0,33
10- 4-1952/ 7- 8-1952	119	250	12	2	-58	2	316	2,66
7- 8-1952/ 4-11-1952	89	222	0	35	56	-1	132	1,48

* Voor de periode 2-10-1950/19-4-1951 wordt door bijzondere omstandigheden niet over gegevens betreffende de wijziging van de grondwaterberging (G) beschikt.

* *For the period 2-10-1950/19-4-1951 no data concerning the groundwaterstorage (G) are available, owing to particular circumstances.*

* *Pour la période 2-10-1950/19-4-1951 on n'a pas la disposition de données concernant la modification du depôt d'eau souterraine (G), à cause de circonstances exceptionelles.*

TABLE 4. *Data for the waterbalance of the Rottegatspolder*

TABLEAU 4. *Données pour le bilan d'eau du Rottegatspolder*

IV. DE METHODE VAN DE WATERBALANS VOOR VIER DRAINAGE-LYSIMETERVAKKEN

1. Algemeen

De plannen voor het verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder omvatten ook de inrichting van lysimeters, waarmede beoogd werd verhoudingsgetallen voor de verdamping van diverse gewassen te verkrijgen. Met de beschikking over deze verhoudingsgetallen werd het mogelijk geacht om de verdampingscijfers, met behulp van de methode van het verticale waterdamptransport gevonden voor grasland, te vergelijken met de verdampingscijfers, welke voor de polder uit de waterbalans zijn afgeleid.

Oorspronkelijk werd overwogen weegbare lysimeters te benutten, welke met verschillende gewassen zouden moeten worden beteeld. Verschillende bezwaren, welke aan het gebruik van dergelijke lysimeters kleven, hebben echter tot gevolg gehad, dat hiervan werd afgezien. Het bodemprofiel van de Rottegatspolder bestaat nl. uit klei tot zware klei met onder de bouwvoor of zode vaak een taaie, knikachtige laag. Lysimeters gevuld met geroerde grond geven van de natuurlijke omstandigheden geen goede nabootsing, terwijl aan lysimeters gevuld met een blok ongeroerde grond uit deze polder evenreens bezwaren zijn verbonden. Een zeer belangrijk bezwaar was wel het vermoedelijk ontstaan van krimpscheuren, vooral langs de wanden, waardoor de af te voeren hoeveelheden overtollig regenwater vermoedelijk zelfs sterk zouden kunnen worden beïnvloed. Bovendien was er onzekerheid over de afmetingen, die dergelijke lysimeters zouden moeten hebben om — afgezien van de storende invloeden van krimpscheuren — betrouwbare resultaten te kunnen geven.

In verband met deze bezwaren leek de aanleg van zogenaamde drainage-lysimetervakken aantrekkelijk. De grond blijft hier, afgezien van de drainsleuven voor de aan te brengen drainreeksen, in de oorspronkelijke structuur. De bewerking en de verzorging van het gewas en de grond kunnen onder normale omstandigheden plaatsvinden. Verder kunnen dergelijke lysimetervakken (zie fig. 7) veel groter genomen worden dan weegbare lysimeters ooit kunnen zijn (in dit geval $25 \times 25 = 625$ m²), waardoor heterogeniteiten in bodem en gewas een kleinere invloed zullen hebben. De momenteel bij het C.I.L.O. te Wageningen in gebruik zijnde, weegbare lysimeters zullen overigens wel leren, in hoeverre de genoemde bezwaren van weegbare lysimeters voor dergelijke zware grond al dan niet te zwaar zijn uitgemeten. Het grote voordeel van de drainage-lysimetervakken, waarvan er vier op een perceel van ongeveer 1,5 ha zijn aangelegd, is in elk geval, dat — mits dit gehele veld en dus ook de lysimetervakken met één gewas zijn beteeld — op ditzelfde veld ook de methode van het verticale waterdamptransport kan worden toegepast, waardoor een directe vergelijking van de resulterende gegevens, welke beide methoden opleveren, mogelijk is. Het nadeel van de drainage-lysimeters is, dat de verandering van de grondwaterberging niet door weging, maar op een andere veel moeilijker hanteerbare methode moet worden vastgesteld.

FIG. 7. Gedeelte van het drainage-lysimeterveld met een der 4 vakken

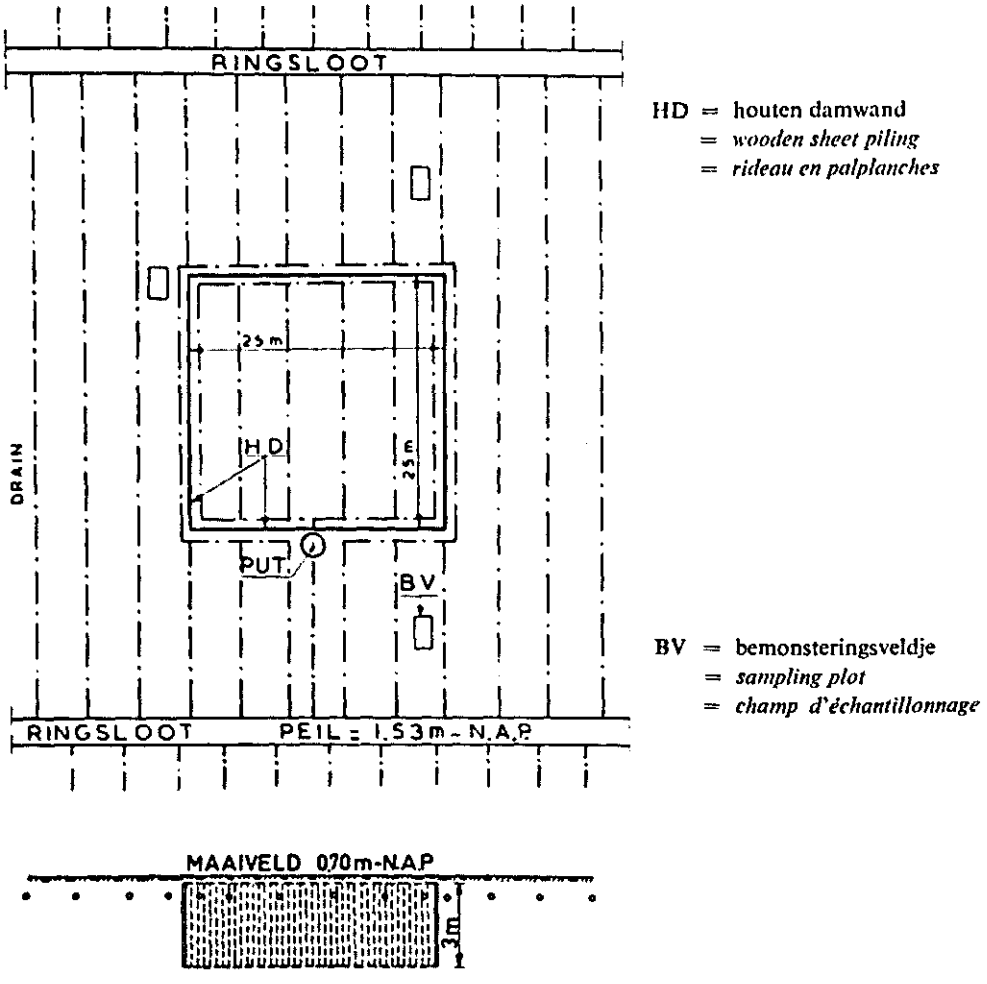


FIG. 7. *Part of the drainage-lysimeterfield with one of the 4 sections*
FIG. 7. *Partie du champ de drainage-lysimètre avec une des 4 sections*

Ook de methode met drainage-lysimetervakken berust uiteindelijk op het opstellen van een waterbalans.

Deze luidt: Neerslag + Inlaat = Lozing + Toeneming grondwaterberging + Verdamping (Evapotranspiratie) of

$$R + I = L + G + V$$

Aangezien kwel noch inzijging (infiltratie) op deze vakken mag optreden, bevat deze balans slechts 5 factoren.

Met drainage-lysimetervakken worden gedeelten van een perceel bedoeld, welke elk voorzien zijn van een drainage met behulp waarvan de overtollige neerslag voor elk gedeelte kan worden bepaald. Dit houdt in, dat de neerslag, welke buiten deze vakken valt, niet binnen deze vakken tot afvloeiing mag komen of omgekeerd. Gemeend werd dit te kunnen bereiken door de grondwaterstand binnen en buiten de vakken practisch constant en aan elkaar gelijk te houden, waartoe de volgende maatregelen werden genomen:

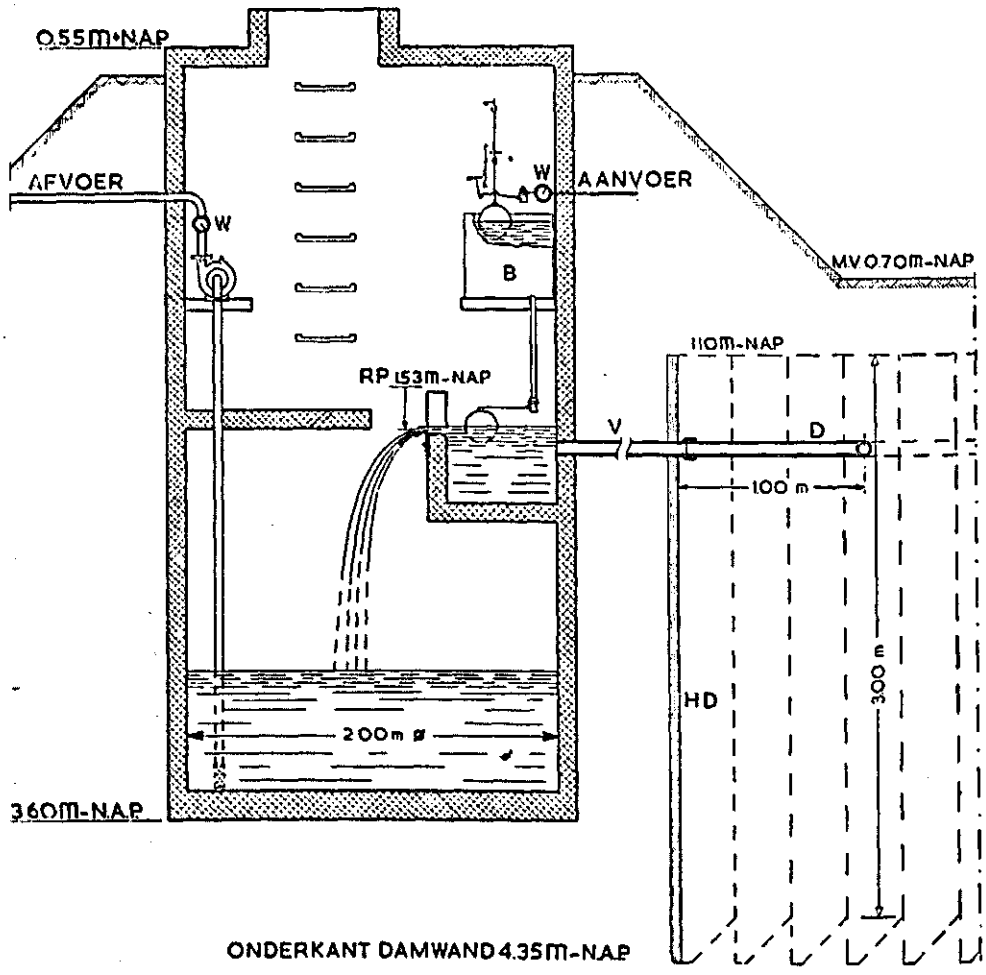
a. De ringsloot om het perceel, waarop de vier drainage-lysimetervakken werden aangelegd, werd van de overige sloten afgedamd en van een bemalings- en inlaatinstallatie voorzien. Hierdoor werd bereikt, dat het slootpeil gedurende het gehele jaar tot op 2 cm nauwkeurig constant bleef.

b. Het perceel, waarop de lysimetervakken werden aangelegd, werd evenals de aanliggende percelen gedraineerd, waarbij de horizontaal liggende drainreeksen onder water (hart drain 10 cm onder vastgesteld ringslootpeil) in de ringsloot uitmonden. De drainafstand (5 m) is in verband met de doorlatendheid zo gekozen, dat de variaties in de grondwaterstand zowel bij de optredende afvoeren van de overtollige neerslag, als bij de te verwachten aanvoeren van het benodigde water in droge perioden in de zomer te verwaarlozen zijn.
De draindiepte is ongeveer 90 cm — m.v. en het slootpeil ongeveer 80 cm — m.v. of 1,53 m — N.A.P.

c. De drainage-lysimetervakken werden eveneens voorzien van even diep horizontaal gelegde drainreeksen op 5 m onderlinge afstand. Een verzameldrain mondt daarbij telkens onder water uit in de resp. opvangbakken van deze lysimetervakken, welke bakken van een overstortrand op dezelfde hoogte als het gemiddelde slootpeil (1,53 m — N.A.P.) waren voorzien, waardoor het peil hierin in tijden van overtollige neerslag constant en gelijk was aan dat van het gemiddelde slootpeil. Het overvloeiende water werd naar een diepe bak afgevoerd, waaruit het tenslotte door middel van een pompje werd verwijderd en op de ringsloot werd geloosd. Met behulp van een in de pompleiding opgenomen watermeter konden de geloosde hoeveelheden nauwkeurig bepaald worden. In tijden van droogte werd weer water uit de waterleiding in deze opvangbakken ingelaten, waarvoor een vlotterinstallatie met buffertank werd geconstrueerd, zodat het peil in deze overstortbakken ook in deze perioden constant en gelijk was aan ca. 1,53 m — N.A.P. Ook deze ingelaten hoeveelheid leidingwater kon via een watermeter bepaald worden. De gehele installatie is ondergebracht in een aan- en afvoerput van gewapend beton, waarvan figuur 8 een geschematiseerd beeld geeft.

d. Om de vierkante lysimetervakken van 25×25 m voldoend nauwkeurig te omgrenzen werd een ringdrainreeks binnen deze vakken op 1 m uit de omtrek gelegd. De overige drainreeksen binnen deze vakken (zie sub c) werden op de ringdrain en deze weer op de verzameldrain aangesloten. Aan de buitenkant van deze vakken werd eveneens een ringdrainreeks gelegd op 1 m afstand uit de omtrek, welke drainreeks werd aangesloten op de drainreeksen op 5 m onderlinge afstand in het overige gedeelte van het perceel.

FIG. 8. Aanvoer- en afvoerput, zoals deze bij elk der 4 vakken van het drainage-lysimeterveld aanwezig is



B = buffertank
= *citerne-tampon*

HD = houten damwand
= *wooden sheet piling*
= *rideau en palplanches*

MV = maaiveld
= *surface level*
= *niveau du sol*

RP = ringslootpeil
= *waterlevel of encircling ditch*
= *niveau du fossé de ceinture*

V = verbindingsbuis
= *connecting tube*
= *tuyau de connexion*

W = watermeter
= *hydrometer*
= *hydromètre*

FIG. 8. *Supply- and discharge pit as present at each of the 4 sections of the drainage-lysimeterfield*

FIG. 8. *Puits d'amenée et de décharge, comme il est présent à chacune des 4 sections du champ de drainage-lysimètre*

Gemeend werd, dat met de genomen maatregelen de drainagesystemen binnen en buiten de 4 vakken van elkaar onafhankelijk zouden zijn en dat de overtollige neerslag c.q. de toegevoerde hoeveelheid water zich zo zou verdelen, dat de oppervlakte van elk der 4 vakken voldoende nauwkeurig op 625 m² mocht worden aangehouden. Vervolgens werd begonnen met op de vier proefvakken een zelfde gewas te telen om na te gaan, of er geen systematische verschillen tussen deze vakken in de aan- of afvoer bestonden. Als eerste gewas werd daartoe koolzaad gekozen, aangezien eventuele verschillen in de structuur en de doorlatendheid van de grond door dit diepwortelend gewas worden verkleind. Tot heden werd — in tegenstelling derhalve met het aanvankelijke voornemen — steeds één gewas op het drainage-lysimeterveld verbouwd, aangezien reeds spoedig bleek, dat de bepaling van het gemiddelde verschil in vochtinhoud zeer tijdrovend was, waardoor het onderzoekschema voorlopig moest worden vereenvoudigd.

2. Bepaling van de verschillende termen van de waterbalans

Regenmetingen

Over de metingen van de neerslag is in Hoofdstuk III reeds een beschouwing opgenomen. Hier kan worden volstaan met op te merken, dat van het tijdstip af, waarop alle metingen van de verschillende factoren van de waterbalans met een voldoende benadering konden worden bepaald (8 Maart 1951), de regenval op het lysimeterveld berekend werd als het gemiddelde van de gemeten neerslag in de regenmeters nrs 1 en 3, welke ter weerszijden van het lysimeterveld in de polder waren opgesteld. Hierop moet een correctie worden toegepast, doordat de wijze van opstelling voor beide regenmeters verschillend is. In de toekomst zal dit nog niet geheel bevredigend verloop van deze metingen ondervangen worden door het bijplaatsen van een tweetal regenmeters op het lysimeterveld. De neerslaghoeveelheden gemeten van 8 Maart 1951 af t/m 4 Nov. 1952 zijn in tabel 5 medegedeeld. Moeilijkheden van betekenis zijn bij deze metingen niet opgetreden.

Af- en aanvoermetingen

Met het meten van de van of naar de drainage-lysimetervakken af- resp. aangevoerde hoeveelheden water werden wel moeilijkheden ondervonden.

Uit de metingen in het eerste waarnemingsjaar (Oct. 1947—Oct. 1948) bleek namelijk, dat deze hoeveelheden voor dezelfde maandelijkse perioden voor de vier lysimetervakken sterk, nl. 30 mm en meer, onderling uiteenliepen. Toch zijn de grootte en de inrichting van deze drainage-lysimetervakken dezelfde, terwijl op alle vakken hetzelfde gewas werd verbouwd en van vak tot vak het bodemprofiel ten hoogste weinig verschilt.

Het feit, dat het bodemprofiel ter plaatse van de drainreeksen geroerd is geweest, kan dit niet verklaren, aangezien bovengrondse afvoer niet voorkomt, alle drains op alle vakken precies gelijk zijn gelegd en de geconstateerde verschillen in verloop van tijd niet kleiner zijn geworden. Als oorzaak van deze onderlinge verschillen werd

TABEL 5. Neerslag (R) in mm volgens de regenmeters nrs 1 en 3

Periode *Period* *Période*	Aantal dagen *Number of days* *Nombre de jours*	R_1	R_3 (gecorr.) *(corrected)* *(corrigé)*	$\bar{R}$	S ($\bar{R}$)
8 Maart 1951– 5 April 1951	28	114	119	116	3
5 April 1951– 2 Mei 1951	27	37	36	36	1
2 Mei 1951– 1 Juni 1951	30	84	83	84	1
1 Juni 1951– 3 Juli 1951	32	32	34	33	1
3 Juli 1951– 2 Aug. 1951	30	56	60	58	2
2 Aug. 1951– 4 Sept. 1951	33	76	83	80	4
4 Sept. 1951– 2 Oct. 1951	28	29	29	29	0
2 Oct. 1951–31 Oct. 1951	29	12	13	12	0
31 Oct. 1951– 4 Dec. 1951	34	131	133	132	1
4 Dec. 1951– 9 Jan. 1952	36	103	102	102	0
9 Jan. 1952– 6 Febr. 1952	28	77	73	75	2
6 Febr. 1952–29 Febr. 1952	23	26	23	24	2
29 Febr. 1952– 4 April 1952	35	48	47	48	0
4 April 1952– 2 Mei 1952	28	33	22	28	6
2 Mei 1952– 5 Juni 1952	34	32	34	33	1
5 Juni 1952–27 Juni 1952	22	51	53	52	1
27 Juni 1952– 1 Aug. 1952	35	132	135	134	2
1 Aug. 1952– 2 Sept. 1952	32	85	85	85	0
2 Sept. 1952– 1 Oct. 1952	29	76	74	75	1
1 Oct. 1952–30 Oct. 1952	29	67	67	67	0

R_1 = neerslag volgens regenmeter nr 1, enz.
= *precipitation according to pluviometer nr 1, etc.*
= *précipitation selon le pluviomètre no 1, etc.*

$\bar{R}$ = gemiddelde neerslag
= *mean precipitation*
= *précipitation moyenne*

S ($\bar{R}$) = standaardafwijking van $\bar{R}$
= *standard deviation of* $\bar{R}$
= *déviation-type de* $\bar{R}$

TABLE 5. *Precipitation* (R) *in mm according to pluviometers nrs 1 and 3*
TABLEAU 5. *Précipitation* (R) *en mm selon les pluviomètres nos 1 et 3*

gedacht aan kwel en (of) inzijging, die voor alle vakken niet dezelfde behoeven te zijn, doordat de verschillen in de grondwaterstand binnen en buiten de vakken niet precies dezelfde zijn, resp. de dikte en de doorlatendheid van de goed doorlatende laag ter plaatse ook uiteen kunnen lopen.

Er werden diverse onderzoekingen verricht om na te gaan, of hieraan inderdaad de verschillen in de maandelijkse aan- of afgevoerde hoeveelheden water zijn toe te schrijven.

Op grond van de onderzoekingsresultaten werden in de periode Februari—Maart 1950 de vier lysimetervakken op de omtrek voorzien van houten damwanden, reikende van 0,5 tot 3,5 m — m.v., waardoor tevens een normale grondbewerking mogelijk

TABEL 6. Afgevoerde (+) resp. toegevoerde (—) hoeveelheden water in mm voor de drainage-lysimetervakken A, B, C en D

Periode *Period* *Période*	Aantal dagen *Number of days* *Nombre de jours*	$L_A(+)$ of *or* *ou* $I_A(-)$	$L_B(+)$ of *or* *ou* $I_B(-)$	$L_C(+)$ of *or* *ou* $I_C(-)$	$L_D(+)$ of *or* *ou* $I_D(-)$	$\bar{L}(+)$ of *or* *ou* $\bar{I}(-)$	$S[\bar{L}]$ of *or* *ou* $S[\bar{I}]$
8 Maart 1951– 5 April 1951 . .	28	+ 73	+ 67	+ 73	+ 69	+ 70	2
5 April 1951– 2 Mei 1951 . .	27	+ 23	+ 22	+ 22	+ 23	+ 22	0
2 Mei 1951– 1 Juni 1951 . .	30	+ 27	+ 26	+ 26	+ 25	+ 26	0
1 Juni 1951– 3 Juli 1951 . .	32	+ 3	+ 3	+ 3	+ 3	+ 3	0
3 Juli 1951– 2 Aug. 1951 . .	30	0	+ 1	— 1	0	0	0
2 Aug. 1951– 4 Sept. 1951 . .	33	— 11	— 11	— 16	— 13	— 13	1
4 Sept. 1951– 2 Oct. 1951 . .	28	— 9	— 7	— 10	— 9	— 9	1
2 Oct. 1951–31 Oct. 1951 . .	29	— 6	— 4	— 6	— 6	— 6	1
31 Oct. 1951– 4 Dec. 1951 . .	34	+ 62	+ 64	+ 67	+ 63	+ 64	1
4 Dec. 1951– 9 Jan. 1952 . .	36	+ 94	+ 91	+ 93	+ 93	+ 93	1
9 Jan. 1952– 6 Febr. 1952 . .	28	+ 71	+ 69	+ 71	+ 69	+ 70	1
6 Febr. 1952–29 Febr. 1952 . .	23	+ 20	+ 20	+ 20	+ 20	+ 20	0
29 Febr. 1952– 4 April 1952 . .	35	+ 29	+ 27	+ 29	+ 27	+ 28	1
4 April 1952– 2 Mei 1952 . .	28	+ 9	+ 9	+ 8	+ 9	+ 9	0
2 Mei 1952– 5 Juni 1952 . .	34	— 28	— 38	— 40	— 35	— 35	3
5 Juni 1952–27 Juni 1952 . .	22	— 29	— 34	— 33	— 33	— 32	1
27 Juni 1952– 1 Aug. 1952 . .	35	— 33	— 30	— 29	— 30	— 30	1
1 Aug. 1952– 2 Sept. 1952 . .	32	+ 22	+ 25	+ 25	+ 26	+ 24	1
2 Sept. 1952– 1 Oct. 1952 . .	29	+ 14	+ 15	+ 15	+ 15	+ 15	0
1 Oct. 1952–30 Oct. 1952 . .	29	+ 26	+ 25	+ 26	+ 25	+ 25	0

$L_{A,\,B,\,C,\,D}$ = afvoer (+) van / $I_{A,\,B,\,C,\,D}$ = toevoer (—) naar } de 4 vakken A, B, C en D.

Gemiddelde { afvoer = $\bar{L}$ / toevoer = $\bar{I}$

Standaardafwijking van de gemiddelde { afvoer = $S[\bar{L}]$ / toevoer = $S[\bar{I}]$

$L_{A,\,B,\,C,\,D}$ = *discharge* (+) of / $I_{A,\,B,\,C,\,D}$ = *supply* (—) to } *the 4 sections* A, B, C and D

Average { *discharge* (+) = $\bar{L}$ / *supply* (—) = $\bar{I}$

Standard deviation of the average { *discharge* = $S\bar{L}$ / *supply* = $S\bar{I}$

$L_{A,\,B,\,C,\,D}$ = *décharge* (+) *des* / $I_{A,\,B,\,C,\,D}$ = *amenée* (—) *vers* } *les 4 sections* A, B, C *et* D

Moyenne { *du décharge* (+) = $\bar{L}$ / *de l'amenée* (—) = $\bar{I}$

Déviation-type de la moyenne { *du décharge* = $S\bar{L}$ / *de l'amenée* = $S\bar{I}$

TABLE 6. *Discharged* (+), *resp. supplied* (—) *quantities of water in mm for the drainage-lysimetersections* A, B, C *and* D

TABLEAU 6. *Quantités d'eau de décharge* (+) *resp. d'amenée* (—) *en mm pour les sections de drainage-lysimètres* A, B, C *et* D

bleef. De damwand te laten beginnen op 50 cm — m.v. is toelaatbaar door de constante grondwaterstand op 80 cm — m.v. en het ontbreken van bovengrondse afvoer. Een nog diepere damwand heeft weinig zin, doordat op meer dan 3,5 m — m.v. spoedig het pleistocene zand is te verwachten.

Deze damwand (zie fig. 7 en 8) kwam in Maart 1950 gereed. Afgezien van een korte overgangstijd waren nadien de aan- of afvoeren van de 4 vakken vrijwel gelijk. De standaardafwijking van het gemiddelde van de 4 vakken is meestal 0 tot 1 mm; een enkele maal iets hoger, zoals uit tabel 6 blijkt. (Zie blz. 245).

TABEL 7. Maximaal, gemiddeld en minimaal per dag afgevoerde (+) resp. toegevoerde (—) hoeveelheden water in mm, als gemiddelden voor de 4 drainage-lysimetervakken

Periode *Period* *Période*	Aantal dagen *Number of days* *Nombre de jours*	Dagelijkse af- en aanvoer *Daily discharge or supply* *Décharge ou amenée par jour*		
		maximum	gemiddeld *mean* *moyenne*	minimum [1]
8 Maart 1951– 5 April 1951	28	+ 19,10	+ 2,52	— 0,08 [1]
5 April 1951– 2 Mei 1951	27	+ 5,02	+ 0,84	+ 0,14
2 Mei 1951– 1 Juni 1951	30	+ 11,66	+ 0,86	+ 0,08
1 Juni 1951– 3 Juli 1951	32	+ 0,36	+ 0,10	— 0,10 [1]
3 Juli 1951– 2 Aug. 1951	30	— 0,17	— 0,01	+ 0,16 [1]
2 Aug. 1951– 4 Sept. 1951	33	— 0,78	— 0,39	+ 0,04 [1]
4 Sept. 1951– 2 Oct. 1951	28	— 0,54	— 0,32	— 0,08
2 Oct. 1951–31 Oct. 1951	29	— 0,38	— 0,19	— 0,04
31 Oct. 1951– 4 Dec. 1951	34	+ 12,48	+ 1,89	— 0,26 [1]
4 Dec. 1951– 9 Jan. 1952	36	+ 11,44	+ 2,58	+ 0,12
9 Jan. 1952– 6 Febr. 1952	28	+ 9,61	+ 2,50	+ 0,20
6 Febr. 1952–29 Febr. 1952	23	+ 5,18	+ 0,88	+ 0,12
29 Febr. 1952– 4 April 1952	35	+ 3,39	+ 0,81	+ 0,03
4 April 1952– 2 Mei 1952	28	+ 3,60	+ 0,33	— 0,13 [1]
2 Mei 1952– 5 Juni 1952	34	— 1,83	— 1,04	— 0,06
5 Juni 1952–27 Juni 1952	22	— 2,25	— 1,46	— 0,75
27 Juni 1952– 1 Aug. 1952	35	— 2,09	— 0,87	+ 5,81 [1]
1 Aug. 1952– 2 Sept. 1952	32	+ 8,47	+ 0,76	— 0,10 [1]
2 Sept. 1952– 1 Oct. 1952	29	+ 3,96	+ 0,51	— 0,11 [1]
1 Oct. 1952–30 Oct. 1952	29	+ 8,00	+ 0,88	+ 0,04

[1] Voor perioden, waarin gemiddeld „afvoer" resp. „toevoer" optrad en waarin naast de dagen met „afvoer" resp. „toevoer" ook enkele dagen met „toevoer" resp. „afvoer" zijn voorgekomen, is als „minimum" de maximum opgetreden „dagtoevoer" resp. „dagafvoer" vermeld.

[1] *For periods, in which averagely „discharge" resp. „supply" occured and in which, besides the days with „discharge" resp. „supply" also occured a few days with „supply" resp. „discharge", is stated as a „minimum" the highest „daily supply", resp. „daily discharge".*

[1] *Pour des périodes où se produisait en moyenne „décharge" resp. „amenée" et où, à côté des jours avec „décharge" resp. „amenée" se présentaient aussi quelques jours avec „amenée" resp. „décharge", on a pris comme „minimum" le maximum de „l'amenée par jour" resp. „du décharge" par jour",*

TABLE 7. *Maximum, mean and minimum quantities of water discharged (+) resp. supplied (—) per day, in mm as averages for the 4 drainage-lysimetersections*

TABLEAU 7. *Maximum, moyenne et minimum des quantités d'eau déchargées (+) resp. amenées (—) par jour en mm comme moyennes pour les 4 sections de drainage-lysimètre*

Voorts blijkt, dat ook deze meetresultaten voldoende nauwkeurig zijn geworden. De af- of aangevoerde hoeveelheden worden dagelijks (met uitzondering van de Zon- en feestdagen) bepaald. Deze waarnemingen, welke onder natuurlijke omstandigheden worden verricht, zijn ook voor vele andere doeleinden zeer waardevol. In tabel 7 is voor dezelfde perioden een overzicht gegeven van de hoogste, de gemiddelde en de laagste dagelijkse af- of aanvoer, als gemiddelden voor de 4 drainagelysimetervakken. De waargenomen hoeveelheden, welke betrekking hebben op meer dan 1 dag (b.v. de Maandagwaarnemingen) werden gelijkmatig verdeeld gedacht over de desbetreffende dagen.

Bepaling verschil in grondwaterberging

Tenslotte dient nog te worden besproken de bepaling van het verschil in grondwaterberging, welke wel de lastigste bleek te zijn bij het streven naar voldoend nauwkeurige waarden.

In wezen komt de bepaling hierop neer, dat men het verschil in de gemiddelde vochtinhoud van de lysimetervakken (resp. van de polder) aan het begin en aan het einde van de beschouwde perioden moet vaststellen. De diepte tot welke men telkens de vochtinhoud moet kennen, wordt bepaald door de diepteligging van de laag, waarvan de vochtinhoud constant blijft. Blijft de grondwaterstand practisch constant, zoals dit op en naast de lysimetervakken het geval is, dan wordt deze diepte aangegeven door deze grondwaterstand; verandert deze laatste, dan zou men hiervoor de diepste grondwaterstand kunnen kiezen als bepaalde omstandigheden dit althans niet beletten, zoals dit in de polder het geval bleek te zijn.

De bepaling komt verder hierop neer, dat men de vochtgehalten per 100 g droge stof op een voldoend aantal — verspreid over de gehele polder c.q. over de 4 vakken van het lysimeterveld gelegen — punten en van de diverse bodemlagen aan het begin en aan het einde van de te beschouwen perioden moet kennen, evenals het droge volumegewicht van deze lagen. Hieruit is dan aan het begin en aan het einde de vochtinhoud als een laag water in mm's uit te rekenen, door b.v. de vochtinhoud te beschouwen van een kolom grond van 1 cm^2 doorsnede en van een lengte gelijk aan de diepte, waarop de vochtinhoud constant blijft.

Nu zijn er uit de literatuur geen andere methoden bekend, die de mogelijkheid bieden dit vochtgehalte, *ook in het natte traject,* met een voldoende nauwkeurigheid vast te stellen, dan het nemen van grondmonsters en het bepalen van het vochtgehalte hierin door drogen. De monsters moeten verkregen worden uit boringen, welke in veelvoud en dikwijls verricht moeten worden. Hierdoor kunnen deze niet binnen de omtrek van de lysimetervakken, maar moeten deze op de grond daarnaast worden uitgevoerd. Tegen deze handelwijze bestaat weinig bezwaar, aangezien alle omstandigheden en zo ook de grondwaterstand gemiddeld genomen dezelfde zijn.

De dikte van de afzonderlijk bemonsterde lagen bedroeg (behoudens bij de eerste bemonsteringen van 1948) tot 40 cm diepte steeds 10 cm en daaronder 20 cm. De bemonsteringsdiepte in de polder werd vastgesteld op 140 cm, aangezien monsters genomen uit dieper gelegen lagen (soms ook reeds uit de lagen op meer dan 120

cm — m.v.) op verschillende plekken uit de boor lopen. Op het lysimeterveld was deze diepte eerst 100 cm en bedraagt thans 80 cm, aangezien deze diepte voldoende blijkt te zijn (grondwaterstand 80 cm — m.v.).

In dit verband kan verder nog worden opgemerkt, dat het niet mogelijk is om bij iedere bemonstering monsters van een bepaald volume te nemen, maar dat terwille van een vlot verloop volstaan moet worden met het trekken van min of meer willekeurig grote monsters, waarin het vochtgehalte in grammen per 100 g droge grond wordt bepaald. Deze vochtgehalten worden vervolgens met behulp van de eens voor altijd bepaalde volumegewichten (grammen droge grond per cm^3 bodem) omgerekend in mm water.

De bemonstering ter vaststelling van de volumegewichten in de onderscheidene lagen, waarop later nog uitvoeriger wordt teruggekomen, is op het lysimeterveld in 1952 geschied; voor de polder zal een voldoend nauwkeurige bepaling nog plaats moeten vinden.

Vóór 1952 is het volumegewicht voor alle op het lysimeterveld bemonsterde lagen gemakshalve op 1,0 gesteld; de juiste waarden bleken later uiteen te lopen van 1,20 tot 1,33. De daardoor voor de oudere resultaten vereiste correcties konden gemakkelijk worden aangebracht. In verband met de kleine standaardafwijkingen van de gebruikte volumegewichten hebben deze correcties vrijwel geen invloed op de procentuele nauwkeurigheid der bepaalde verschillen in vochtinhoud. Daardoor is het niet kennen van de volumegewichten geen bezwaar geweest voor het uitzoeken van de juiste bemonsteringswijze.

Aangezien door één bemonstering de vochtinhoud slechts op 1 punt bepaald wordt, moest worden nagegaan op hoeveel punten bemonsterd moest worden om voldoend nauwkeurige, gemiddelde verschillen in de vochtinhoud voor maandelijkse perioden te verkrijgen. Aangezien uiteraard niet op precies dezelfde punten nog eens geboord kan worden, betekent dit, dat rekening gehouden moest worden met de heterogeniteit van de bodem tot de bemonsteringsdiepte, zowel wat de samenstelling, als de structuur van de bodem betreft, daar beide de vochtinhoud beïnvloeden. Het aantal te verrichten boringen hangt daarbij af van de vereiste nauwkeurigheid. Neemt men in aanmerking, dat de verdamping in de maanden Nov. t/m Febr. slechts weinig mm's bedraagt en bedenkt men verder, dat het hoofddoel van dit onderzoek is de vergelijking van de verdampingsgegevens verkregen met behulp van de methode van het verticale waterdamptransport met die, verkregen volgens de andere, toegepaste methoden, dan zal de standaardafwijking van het gemiddelde verschil in vochtberging voor maandelijkse perioden niet groter mogen zijn dan ca. 3 mm. Een reeds zware eis, welke nog verzwaard wordt door het feit, dat de bemonsteringen van het drainage-lysimeterveld en van de polder ieder liefst in één dag of samen in elk geval in niet veel meer dan ongeveer 3 dagen moeten geschieden, wil men de begin- en de einddatum van de te beschouwen periode niet te veel vervagen. Voor langere perioden (b.v. driemaandelijkse) mag deze middelbare afwijking groter zijn.

Op het lysimeterveld werd het aantal bemonsteringsveldjes uiteindelijk vastgesteld op 12 nl. 3 om ieder lysimetervak (zie fig. 7). Voor ieder lysimetervak blijft de standaardafwijking van het gemiddelde te groot. Alleen door het gemiddelde van alle

twaalf bemonsteringsveldjes te nemen, werden met inachtneming van de volumegewichten van de afzonderlijke lagen de standaardafwijkingen (= S [G]) van de gemiddelde verschillen in vochtberging (G) voldoende betrouwbaar. Deze schommelen voor de maandelijkse perioden sedert de toepassing van de dertigvoudige bemonstering op kleine veldjes tussen ongeveer 1,5 en 3,0 mm met een gemiddelde van ongeveer 2,0 mm (zie tabel 8). Deze nauwkeurigheid is voldoende. Hierbij bleef de bemonstering beperkt tot 80 cm, zoals reeds eerder is opgemerkt.

TABEL 8. Wijzigingen (in mm) in de gemiddelde vochtinhoud van de bodem (laag 0–80 cm – m.v.) van 12 veldjes op het drainage-lysimeterveld met bijbehorende standaardafwijkingen

Periode *Period* *Période*	Aantal dagen *Number of days* *Nombre de jours*	$\bar{G}$	S [G]
8 Maart 1951– 5 April 1951	28	+ 7,9	1,6
5 April 1951– 2 Mei 1951	27	— 21,0	2,2
2 Mei 1951– 1 Juni 1951	30	+ 2,8	2,7
1 Juni 1951– 3 Juli 1951	32	— 11,7	2,7
3 Juli 1951– 2 Aug. 1951	30	— 5,3	2,5
2 Aug. 1951– 4 Sept. 1951	33	+ 6,5	2,1
4 Sept. 1951– 2 Oct. 1951	28	— 10,4	2,3
2 Oct. 1951–31 Oct. 1951	29	— 1,2	2,5
31 Oct. 1951– 4 Dec. 1951	34	+ 36,6	2,2
4 Dec. 1951– 9 Jan. 1952	36	+ 8,7	1,7
9 Jan. 1952– 6 Febr. 1952	28	+ 7,7	2,7
6 Febr. 1952–29 Febr. 1952	23	— 7,9	1,7
29 Febr. 1952– 4 April 1952	35	— 1,1	1,5
4 April 1952– 2 Mei 1952	28	— 22,6	1,8
2 Mei 1952– 5 Juni 1952	34	— 34,0	2,1
5 Juni 1952–27 Juni 1952	22	+ 15,3	1,8
27 Juni 1952– 1 Aug. 1952	35	+ 40,5	1,8
1 Aug. 1952– 2 Sept. 1952	32	+ 10,3	1,8
2 Sept. 1952– 1 Oct. 1952	29	+ 5,3	1,9
1 Oct. 1952–30 Oct. 1952	29	+ 6,3	2,0

TABLE 8. *Modifications (in mm) in the mean moisture content of the soil (layer 0–80 cm – m.v.) of 12 plots on the drainage-lysimeterfield with standard-deviation belonging thereto*

TABLEAU 8. *Modifications (en mm) dans le contenu en humidité du sol (couche 0–80 cm niveau du sol) de 12 champs sur le terrain de drainage-lysimètre avec les déviations-types correspondantes*

3. OVERZICHT DER MEETRESULTATEN

Aangezien eerst van 8 Maart 1951 af voldoend nauwkeurige bepalingen van het gemiddelde verschil in vochtinhoud bekend zijn, zijn van deze datum af in tabel 9 de diverse factoren van de waterbalans met hun standaardafwijkingen van het gemiddelde opgenomen.

De tevens in tabel 9 opgenomen standaardafwijkingen van de gevonden verdampingscijfers zijn — wat de grootte betreft — van dien aard, dat verondersteld

kan worden, dat een bevredigende benadering van de gemiddelde verdamping op de drainage-lysimetervakken gedurende de beschouwde balansperioden is verkregen.

In 1951 werden aardappelen en in 1952 werd wintertarwe (ingezaaid November 1951) op het drainage-lysimeterveld verbouwd.

TABEL 9. Waterbalans voor het drainage-lysimeterveld. (Alle hoeveelheden in mm).

Balansperioden *Periods of balance Périodes du bilan*		Neerslag *Precipitation Précipitation*		Inlating *Inlet Irrigation*		Lozing *Discharge Décharge*		Wijziging grondvocht *Modification ground moisture Modification humidité du sol*		Verdamping *Evaporation*		
Tijdvakken *Periods Périodes*	Aantal dagen *Number of days Nombre de jours*	R	S [$\bar{R}$]	I	S [$\bar{I}$]	L	S [$\bar{L}$]	G	S [$\bar{G}$]	V per tijdvak *per period par période*	S [$\bar{V}$]	V gem. per 24 u. *average per 24 hours moyenne 24 h*
8- 3-1951/ 5- 4-1951	28	116	3			70	2	+ 8	2	38	4	1,36
5- 4-1951/ 2- 5-1951	27	36	1			22	0	—21	2	35	2	1,30
2- 5-1951/ 1- 6-1951	30	84	1			26	0	+ 3	3	55	3	1,83
1- 6-1951/ 3- 7-1951	32	33	1			3	0	—12	3	42	3	1,31
3- 7-1951/ 2- 8-1951	30	58	2	0	0	0	0	— 5	2	63	3	2,10
2- 8-1951/ 4- 9-1951	33	80	4	13	1			+ 6	2	87	4	2,64
4- 9-1951/ 2-10-1951	28	29	0	9	1			—10	2	48	2	1,71
2-10-1951/31-10-1951	29	12	0	6	1			— 1	2	19	2	0,66
31-10-1951/ 4-12-1951	34	132	1			64	1	+37	2	31	2	0,91
4-12-1951/ 9- 1-1952	36	102	0			93	1	+ 9	2	0	2	0,00
9- 1-1952/ 6- 2-1952	28	75	2			70	1	+ 8	3	—3	4	—0,11
6- 2-1952/29- 2-1952	23	24	2			20	0	— 8	2	12	3	0,52
29- 2-1952/ 4- 4-1952	35	48	0			28	1	— 1	2	21	2	0,60
4- 4-1952/ 2- 5-1952	28	28	6			9	0	—23	2	42	6	1,50
2- 5-1952/ 5- 6-1952	34	33	1	35	3			—34	2	102	4	3,00
5- 6-1952/27- 6-1952	22	52	1	32	1			+15	2	69	2	3,14
27- 6-1952/ 1- 8-1952	35	134	2	30	1			+41	2	123	3	3,51
1- 8-1952/ 2- 9-1952	32	85	0			24	1	+10	2	51	2	1,59
2- 9-1952/ 1-10-1952	29	75	1			15	0	+ 5	2	55	2	1,90
1-10-1952/30-10-1952	29	67	0			25	0	+ 6	2	36	2	1,24

S = standaardafwijking van het gemiddelde
S = *standard deviation of the average*
S = *déviation-type de la moyenne*

TABLE 9. *Waterbalance for the drainage-lysimeterfield. (All quantities in mm).*
TABLEAU 9. *Bilan d'eau pour le terrain de drainage-lysimètre. (Toutes les quantités en mm).*

V. SAMENVATTING EN CONCLUSIE

1. Samenvatting

De in de Hoofdstukken II, III en IV vermelde waarden voor de verdamping van water uit de Rottegatspolder gedurende bepaalde perioden zijn samengevat in figuur 9, waarbij teneinde de onderlinge vergelijking mogelijk te maken de verdampingssommen herleid zijn tot de gemiddelde verdamping per etmaal gedurende de aangegeven perioden.

2. Conclusie

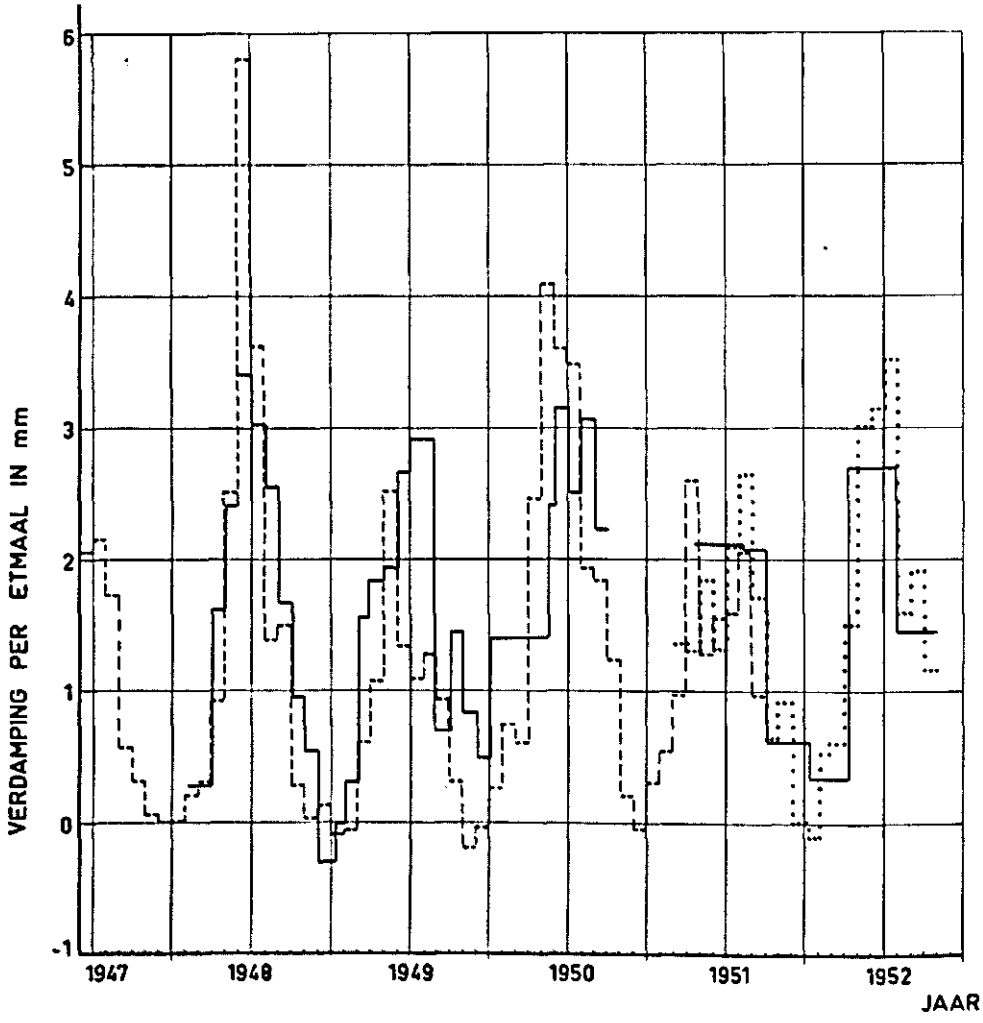
Ofschoon gedurende de gehele periode, welke in figuur 9 is opgenomen, voor geen der toegepaste methoden volledige gegevens ter beschikking zijn, blijkt helaas overduidelijk, dat zelfs voor zeer lange tijdvakken nauwelijks mag worden gesproken van een nauwkeurige overeenstemming tussen de verschillende reeksen van verdampingsgegevens. Voor perioden van omstreeks een maand treden zeer grote verschillen op, zodat er tot heden nog geen sprake is van de mogelijkheid ener toetsing der methode van het verticale waterdamptransport, aan de methode van de waterbalans voor de gehele polder. De Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek heeft moeten vaststellen, dat het tijdsbestek waarbinnen de verschillende methoden tot vergelijkbare uitkomsten zullen leiden, aanzienlijk langer zal moeten zijn, dan aanvankelijk werd aangenomen.

Nog steeds wordt gewerkt in een stadium waarin een verbetering in de toepassing der verschillende methoden door het scheppen van gunstigere voorwaarden, waaronder gewerkt kan worden, door het opvoeren van de nauwkeurigheid der waarnemingsresultaten en door het geven van noodzakelijk geachte uitbreiding aan de waarnemingen, wordt nagestreefd. De hierdoor optredende discontinuïteiten en onderbrekingen in bepaalde waarnemingsreeksen leiden telkens onvermijdelijk tot min of meer aanzienlijke verstoringen van een regelmatige gang van zaken bij het onderzoek.

In Hoofdstuk III werd reeds bij de bespreking van de bepaling van de grootte der wijziging per balansperiode van de hoeveelheden in de grond geborgen water opgemerkt, dat te dien aanzien resultaten met een aanvaardbare nauwkeurigheid slechts kunnen worden verkregen voor balansperioden voor de gehele polder van 3 maanden of langer. Tijdens het onderzoek werd bovendien de ervaring opgedaan, dat de stand van het gewas en de oogstdata een grote niet te elimineren invloed hebben op de verdampingscijfers.

In de polder worden nl. diverse gewassen verbouwd, welke op verschillende tijden worden geoogst en die verschillende groeisnelheden hebben, terwijl het perceel, waarboven de methode van het verticale waterdamptransport wordt toegepast, en het drainage-lysimeterveld beplant zijn elk met een afzonderlijk gewas, dat ook weer een eigen ontwikkelingsgang heeft. Het is hierom, dat de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek (waarin o.a. de samenstellers van dit artikel zitting hebben of

FIG. 9. Overzicht van de verkregen verdampingswaarden



— — — methode van het verticale waterdamptransport (zie Hoofdstuk II)
method of the vertical vapour transport (see Chapter II)
méthode du transport vertical de vapeur (voir Chapitre II)

———— methode van de waterbalans voor de gehele polder (zie Hoofdstuk III)
method of the water-balance for the entire polder (see ChapterIII)
méthode du bilan d'eau pour le polder entier (voir Chapitre III)

. . . . . waterbalans voor het drainage-lysimeterveld (zie Hoofdstuk IV)
water-balance for the drainage-lysimeterfield (see Chapter IV)
bilan d'eau pour le champ de drainage-lysimètre (voir Chapitre IV)

FIG. 9. *Survey of the evaporation values obtained*
FIG. 9. *Aperçu des valeurs d'évaporation obtenues*

zitting hebben gehad) zich momenteel bezig houdt met de voorbereiding ener verplaatsing van de psychrometerinstallatie van het K.N.M.I., welke ten behoeve van de toepassing van de methode van het verticale waterdamptransport wordt gebruikt, naar het drainage-lysimeterveld.

Op dit veld, beplant — zo mogelijk tezamen met de beide naastgelegen percelen — met één gewas zullen dan tegelijkertijd 2 onderzoekingsmethoden kunnen worden toegepast, zodat de verwachting gerechtvaardigd is, dat direct vergelijkbare reeksen verdampingscijfers verkregen zullen worden. Ten behoeve van de methode van het verticale waterdamptransport zal daarbij — met inachtneming van de in Hoofdstuk II beschreven ervaringen, welke aangaande deze methode tot heden werden verkregen — een verbeterd instrumentarium in gebruik worden genomen.

Het onderzoek heeft als bijkomstig voordeel nog opgeleverd, dat talrijke nauwkeurige gegevens van allerlei aard (neerslag, lozing, inlating, waterstanden, (grond)-temperaturen, enz.) ter beschikking zijn gekomen, welke ook voor andere dan verdampingsonderzoekingen van belang kunnen zijn en in verband hiermede desgewenst aan derden ter beschikking kunnen worden gesteld. In dit verband zij opgemerkt, dat het Secretariaat van de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek gevestigd is te 's-Gravenhage, p.a. Rijkswaterstaat, Directie Algemene Dienst, Koningskade 25.

LITERATUUR

1. COMMISSIE voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. *Verslagen Technische Bijeenkomsten 1–6.* 's-Gravenhage, 1952.
   (Eerste technische bijeenkomst, 15 Februari 1946.)

2. STAM, A. H. (Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek). Een verdampingsonderzoek in den Rottegatspolder in de gemeente Ten Boer van de Provincie Groningen, *De Ingenieur*, nr 45 (1946).

3. WERKCOMMISSIE voor Verdampingsonderzoek, Verslagen van de —.
   Eerste verslag, 12 October 1942–1 October 1947
   Tweede verslag, 1 October 1947–5 October 1948
   Derde verslag, 5 October 1948–4 October 1949
   Vierde verslag, 4 October 1949–2 October 1950
   Vijfde verslag, 2 October 1950–4 October 1951
   Zesde verslag, 4 October 1951–4 November 1952.

   Bovengenoemde zes verslagen zijn o.a. opgenomen in de:
   Bibliotheek, Directie van de Waterstaat, Van Hogenhoucklaan 60 te 's-Gravenhage;
   Bibliotheek van het Ministerie van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening, Bezuidenhoutseweg 30, 's-Gravenhage.

4. U. NOETZLIN. Beiträge zur Frage der Windmessung am Boden unter besonderer Berücksichtigung der Böenmessung. *Wiss. Abh. Reichsamt für Wetterdienst*, Band VIII, nr 5, 1941.

V. EVAPORATION RESEARCH IN THE ROTTEGATSPOLDER (1947—1952)

by L. J. L. DEIJ, S. B. HOOGHOUDT (†), J. H. M. LATOUR,
P. K. PEERLKAMP, A. H. STAM

During the first technical meeting of the Committee for Hydrological Research T.N.O. (T.N.O. = the Central Council for Applied Scientific Research in the Netherlands) on 15 February 1946, detailed informations were given about the intended research (s. *Verslagen Technische Bijeenkomsten nr* 1—6 van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. 's-Gravenhage, 1952; p. 11—30, with summaries in English and French resp. on p. p. 279—283 and 307—311). The technical provisions which had to be taken in behalf of the research have been for the greater part executed in 1946 and were finished in 1947, after which the study started.

Originally the apparatuses necessary for the determination of the evaporation according to the method of the vertical vapour transport were of a simple character, so that at first only three daily temperature and wind velocity observations were available. At the same time the theoretical base of this method was further entered into. In 1948 an improved and continuous-recording set of instruments was taken into use. It proved necessary to raise as much as possible an extreme sensibility of the instruments and the accuracy of the recording of the various data. More than once the apparatuses had to be reviewed and re-gauged.

Owing to this the evaporation-figures obtained are not in every respect satisfactory, but for the moment they give an acceptable approximation of the extent of evaporation from cultured fields.

The continuation of this research method is justified and desirable. Mindful of the experiences obtained measures have been taken f.i. for the fabrication and use of a totally renewed, extremely sensitive and very accurately recording psychrometer-anemometer installation.

For the calculation of the evaporation from the waterbalance of the polder terms of about 1 month were supposed to be sufficient. However it proved to be impossible to determine in a sufficiently accurate manner, changes in the water-storage of the soil during such a short period. The dispersion in the data collected for this purpose was always of such a character, that the accuracy with which the evaporation — being the closing item in the waterbalance — could be calculated, was unacceptable. Owing to this periods of about 3 months are taken for the polder since the spring of 1951. It also appeared necessary in the course of the investigation, to change the place of the fixed pluviometers, systematic differences being stated in the results of the observation.

For the 4 drainage-lysimetersections it proved possible to maintain periods of one month for the waterbalance, because the changes per period in the watercontents of the soil can here be determined more accurately, the object being of a limited extent (625 m^2 per section = 0,141 acres), than for the entire polder (86,6 ha = 196 acres).

Originally the 4 sections were only provided with a separate drainage. The horizontal permeability of the soil however proved to be so great that — dependent on the hydrological circumstances — water from the adjoining ground flowed towards the section or from the section to the adjoining terrain. By applying wooden bulkheads a practically complete separation was established between the sections and the adjoining terrain.

On the parcel with the 4 sections was always cultivated one crop. The accuracy with which the evaporation from the 4 sections can be determined is still insufficient to proceed to the cultivation of a different crop on each plot in order to determine eventual differences between the evaporation of the various crops, as was originally intended. Such a measure will increase in importance when the accuracy with which the evaporation with the aid of the method of the vertical vapour transport can be determined, rises.

The harmony between the evaporation data obtained by different procedures proved to be up till now insufficient to realise a complete test of the method of the vertical vapour transport. There exists a justified confidence however, that continuation of the investigations will lead to good results.

V. RECHERCHES SUR L'ÉVAPORATION DANS LE ROTTEGATSPOLDER (1947—1952)

par L. J. L. DEIJ, S. B. HOOGHOUDT (†), J. H. M. LATOUR, P. K. PEERLKAMP ET A. H. STAM

Pendant la première réunion technique de la Section T.N.O. des Recherches Hydrologiques (T.N.O. = l'Association Néerlandaise centrale pour la Recherche Scientifique Appliquée) du 15 février 1946, d'amples informations furent données sur l'investigation projectée (voir *Verslagen Technische Bijeenkomsten* nr 1—6 van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., 's-Gravenhage, 1952, p. 11—30, avec résumés en anglais et en français resp. aux p.p. 279—283 et 307—311).

Les provisions techniques à prendre pour les recherches furent pour la plus grande partie exécutées en 1946 et furent terminées en 1947, après quoi les recherches commencèrent.

Les appareils nécessaires pour la détermination de l'évaporation selon la méthode de transport vertical de vapeur, étaient d'abord de caractère simple, de sorte qu'au commencement on ne pouvait effectuer des observations de températures et des vitesses du vent que 3 fois chaque jour. En même temps la base théorique de cette méthode fut considerée plus profondément. En 1948 des instruments améliorés et enregistrant continuellement furent pris en usage. Il paraissait nécessaire de porter à son maximum le fonctionnement extrêmement sensible des instruments et l'ac-

curatesse des enregistrations des données différentes. Plus d'une fois une révision et une nouvelle vérification des appareils devaient s'effectuer.

Aussi les données de l'évaporation obtenues ne sont pas tout à fait satisfaisantes, mais pour le moment elles donnent une approximation acceptable de la valeur de l'évaporation des terrains cultivés.

Une continuation de cette méthode d'investigation est justifiée et désirable. En considérant les expériences obtenues des mesures ont été prises pour la fabrication et la mise en usage d'une installation de psychromètre-anémomètre toute revisée extrêmement sensible et enregistrant avec grande exactitude.

Pour le calcul de l'évaporation de bilan d'eau du polder des périodes d'un mois paraissaient suffisantes. Pourtant il n'était pas possible de déterminer pendant un terme si court des changements dans le dépot d'eau du sol d'une manière assez suffisante. La dispersion dans les données compilées pour ce but était toujours d'un tel caractère, que l'exactitude, avec laquelle l'évaporation — l'article final du bilan d'eau — peut être calculé, était inacceptable.

Par conséquence on prend pour le polder depuis le printemps de 1951 des périodes d'environ 3 mois. Aussi, au cours de l'investigation, il parut nécessaire de reviser la place orginale des pluviomètres fixes, des différences systématiques étant constatées dans les résultats des observations.

Il parut possible pour les 4 sections de drainage-lysimètre de prendre des périodes d'un mois pour le bilan d'eau, parce que les changements par période dans le continu d'eau du sol peut être déterminé plus exactement — à cause de l'extension limitée de l'objet (625 m^2 par section) — que pour le polder entier (86,6 ha).

D'abord les 4 sections ne furent pourvues que d'un seul drainage. La perméabilité horizontale du sol parut être si grande cependant, que — dépendant des circonstances hydrologiques — de l'eau du terrain contigu coulait vers la section ou de la section vers le terrain circonvoisin.

Une parafouille en bois se montrait une séparation presque complète entre les sections et le terrain circonvoisin. Sur le lot avec les 4 sections ne fut cultivé qu'une seule espèce de végétaux. L'exactitude avec laquelle l'évaporation des 4 sections peut être déterminée n'est pas encore suffisante pour procéder à la cultivation de différentes plantes sur chaque section afin de pouvoir déterminer les différences éventuelles entre l'évaporation des différents végétaux, comme on s'était proposé d'abord. Une telle mesure augmentera en signification pourtant quand l'exactitude de la détermination de l'évaporation selon la méthode du transport vertical de vapeur s'agrandira.

Entre les données d'évaporation, obtenues dans différentes manières il existe maintenant une analogie insuffisante pour réaliser une vérification complète de la méthode du transport vertical de vapeur. Cependant il existe une confiance justifiée, que la continuation des recherches amènera à de bons résultats.