

NN41545.0918

NOTA 918

juni 1976

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

INFILTRATIEPROEFVELD 'DE GROEVE' (II)

dr. R.A. Feddes, mevr. G. van den Berg,

J. Pankow en H. Siebering

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-  
middelen, dus geen officiële publikaties.  
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een  
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende  
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen  
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek  
nog niet is afgesloten.  
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut  
in aanmerking



JSN 172721-01

## I N H O U D

	Blz.
I. INLEIDING	1
II. RESULTATEN WATERBALANS 1972-1975	2
III. MODELBEREKENINGEN	18
1. Theorie	18
2. Test van het model	21
3. Grondwateronttrekking en verdamping	24
4. Begingrondwaterstand en drainageweerstand	31
IV. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	34
LITERATUUR	36

## I. INLEIDING

In een vorige nota (FEDDES en VAN STEENBERGEN, 1973) is een beschrijving gegeven van: het infiltratieproefveld 'De Groeve', het doel van het onderzoek, de theoretische achtergronden en de voorlopige resultaten verkregen op basis van de proefveldgegevens gedurende het jaar 1972.

Door de student Siebering werden de metingen over 1973 en 1974 bewerkt en tevens gebruikt als toetsing voor modelberekeningen. Hierna volgde extrapolatie voor een frequentiereeks van droge jaren. Een gedeelte van dit onderzoek is vastgelegd in een scriptie van de Afdelingen Agrohydrologie en Bodemnatuurkunde voor de Landbouwhogeschool (SIEBERING, 1974). Na het groeiseizoen 1974 werden de metingen drastisch beperkt, om vervolgens per 31-12-1975 geheel te worden gestopt.

De profielopbouw in het proefveld is zeer heterogeen van samenstelling met een sterke variatie in de verticale en horizontale doorlatendheden. Voor deze complexe situatie werd een twee-dimensionaal finite element model ontwikkeld met vijf anisotrope bodemlagen waarbij zowel met de verdamping van grond en gewas, alsook met indringing van water vanuit de sloten en wegzijging naar de onderliggende watervoerende laag (van waaruit wordt gepompt) rekening werd gehouden. Voor een beschrijving van enige berekeningsresultaten wordt verwezen naar FEDDES et al. (1975).

De huidige nota beoogt een globale samenvatting te geven van de voornaamste onderzoeksresultaten welke verzameld zijn over de jaren 1972-1975.

## II. RESULTATEN WATERBALANS 1972-1975

In nota 735 is een uitgebreide theoretische beschrijving van de verschillende componenten van de waterbalans gegeven. De belangrijkste zijn samengevat:

$$q_o = \frac{h_o - h_m}{T} \quad (1)$$

waarin:  $q_o$  = infiltratie per eenheid van oppervlak ( $\text{mm.dag}^{-1}$ )

$h_o$  = peil van het open water (mm)

$h_m$  = stijghoogte van het freatisch oppervlak in het midden van het perceel (mm)

$T$  = drainageweerstand (dagen)

Voor de flux door het freatisch oppervlak ( $q_{fr}$ ) geldt:

$$q_{fr} = E - N - \frac{dM}{dt} \quad (2)$$

waarin:  $E$  = verdampingsflux door het maaiveld ( $\text{mm.dag}^{-1}$ )

$N$  = flux van de neerslag door het maaiveld ( $\text{mm.dag}^{-1}$ )

$M$  = hoeveelheid water onttrokken per eenheid van horizontaal oppervlak aan de grond boven het freatisch oppervlak (mm)

Voor de wegzijgingsflux naar de ondergrond ( $q_2$ ) geldt:

$$q_2 = \frac{h_p - \phi_2}{c} \quad (3)$$

waarin:  $h_p$  = gemiddelde stijghoogte van het freatisch oppervlak over het gehele perceel (mm)

$\phi_2$  = stijghoogte van het diepe grondwater (mm)

$c$  = verticale weerstand van de slecht doorlatende laag (dagen)

Bij constant peil in de sloten geldt nog dat:

$$q_o = q_{fr} + q_2 \quad (4)$$

De gemiddelde grondwaterstand over het perceel ( $h_p$ ) kan worden berekend uit:

$$h_p = h_o + \alpha_{fr}(h_m - h_o) \quad (5)$$

waarin:  $\alpha_{fr}$  = reductiecoëfficiënt die afhankelijk is van de vorm van de grondwaterspiegel (-)

Grondwaterstandsmetingen en vochtmetingen zijn verricht in twee raaien A en B. Raai A ligt in een moerpodzolgrond en raai B in een koopveengrond. De raai B mag representatief geacht worden voor een groot gedeelte van het waterwingebied. Voor een verdeling van de infiltratie  $q_o$  over de raaien A ( $q_{OA}$ ) en B ( $q_{OB}$ ) is in nota 735 de volgende uitdrukking afgeleid:

$$q_{OA} = \frac{(h_o - h_m)_A}{T_A} \cdot \frac{T_B}{(h_o - h_m)_B} \cdot q_{OB} \quad (6)$$

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de voornaamste over de wekelijkse balansperioden gemeten basisgegevens en de daaruit afgeleide grootheden.

De periode 7 tot en met 157 van tabel 1 is gebruikt om door middel van regressie van  $(h_o - h_m)$  op  $q_o$  volgens (1) de drainageweerstand te bepalen. Dit leverde voor raai A en B respectievelijk:

$$T_A = 313 \text{ dagen} \quad T_B = 340 \text{ dagen}$$

De vormfactor van de grondwaterspiegel bleek slechts weinig te variëren gedurende de diverse jaren. Daarom werden de in 1972 gevonden waarden aangehouden, zijnde:

$$\alpha_{gr}^A = 0,64 \quad \alpha_{gr}^B = 0,79$$

Er bestaat dus een duidelijk verschil in drainageweerstand en vormfactor bij de raaien A en B. De grondwaterspiegel in raai B is meer uitgezakt en heeft een symmetrischer verloop dan die in raai A.

Tabel 1. Overzicht van de voornaamste gemeten basisgegevens en daaruit afgeleide grootheden van het infiltratieproefveld 'De Groeve' gedurende de periode 1972-1975 (hoogte maaiveld raai A: 0,90 m + NAP, raai B: 0,60 m + NAP)

Periode nr	Begin-datum	Neerslag mm.week <sup>-1</sup> N	Gemiddeld niveau binnenwater		Gemiddelde grondwaterstand midden perceel		Gemiddelde grondwaterstand diepe buis		Infiltratie		Gemiddelde grondwaterstand		Wegzijing naar de ondergrond	
			m-NAP	m-NAP	m-NAP	m-NAP	mm.week <sup>-1</sup>	mm.week <sup>-1</sup>	mm.week <sup>-1</sup>	mm.week <sup>-1</sup>	mm.week <sup>-1</sup>	mm.week <sup>-1</sup>	mm.week <sup>-1</sup>	mm.week <sup>-1</sup>
			h <sub>o</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MB</sub>	φ <sub>2</sub>	q <sub>OB</sub> (=q <sub>o</sub> )	q <sub>OA</sub> (=0,43 q <sub>o</sub> )	h <sub>MA</sub> (bij α = 0,64)	h <sub>PB</sub> (bij α = 0,79)	q <sub>2A</sub> (bij c <sub>A</sub> = 731 dagen)	q <sub>2B</sub> (bij c <sub>B</sub> = 189 dagen)		
7	8-2-72	4,0	-0,13	-0,17	-0,54	-0,66	7,4	3,2	-0,16	-0,46	4,8	7,6		
8	15-2-72	4,7	-0,13	-0,21	-0,41	-0,46	6,4	2,8	-0,18	-0,35	2,7	4,0		
9	22-2-72	0	-0,14	-0,23	-0,42	-0,62	5,8	2,5	-0,20	-0,36	4,0	9,6		
10	29-2-72	7,1	-0,14	-0,30	-0,58	-0,88	11,4	4,9	-0,24	-0,49	6,1	14,5		
11	7-3-72	16,0	-0,14	-0,33	-0,66	-0,90	10,4	4,5	-0,26	-0,55	6,1	12,9		
12	14-3-72	0	-0,14	-0,35	-0,64	-0,81	13,2	5,7	-0,27	-0,54	5,1	10,2		
13	21-3-72	7,8	-0,14	-0,36	-0,58	-0,80	8,6	3,7	-0,28	-0,49	5,0	11,6		
14	28-3-72	42,6	-0,10	-0,12	-0,31	-0,55	2,8	1,2	-0,11	-0,27	4,2	10,2		
15	4-4-72	28,1	-0,12	0,06	-0,15	-0,40	2,3	1,0	0	-0,15	3,8	9,3		
16	11-4-72	12,0	-0,11	-0,04	-0,26	-0,54	6,5	2,8	-0,07	-0,23	4,5	11,3		
17	18-4-72	5,6	-0,14	-0,18	-0,36	-0,60	7,1	3,1	-0,17	-0,31	4,2	10,6		
18	25-4-72	9,7	-0,15	-0,32	-0,48	-0,75	10,4	4,5	-0,26	-0,41	4,7	12,6		
19	2-5-72	13,5	-0,15	-0,41	-0,61	-0,82	12,8	5,5	-0,32	-0,51	4,8	11,4		
20	9-5-72	8,2	-0,14	-0,35	-0,48	-0,80	6,8	2,9	-0,27	-0,41	5,0	14,5		
21	16-5-72	21,1	-0,14	-0,24	-0,32	-0,74	6,2	2,7	-0,20	-0,28	5,1	17,0		
22	23-5-72	40,6	-0,14	-0,19	-0,34	-0,70	8,6	3,7	-0,17	-0,30	5,1	15,0		
23	30-5-72	15,6	-0,14	-0,21	-0,38	-0,68	9,2	4,0	-0,18	-0,33	4,7	13,0		
24	6-6-72	9,6	-0,14	-0,32	-0,48	-0,78	11,0	4,7	-0,26	-0,41	5,0	13,8		
25	13-6-72	7,9	-0,15	-0,44	-0,65	-0,90	13,4	5,8	-0,34	-0,54	5,4	13,2		
26	20-6-72	17,9	-0,15	-0,50	-0,77	-0,93	13,6	5,8	-0,37	-0,64	5,3	10,8		
27	27-6-72	50,7	-0,13	-0,25	-0,58	-0,84	7,4	3,2	-0,21	-0,49	6,1	13,1		
28	4-7-72	14,5	-0,13	-0,02	-0,45	-0,74	4,0	1,7	-0,06	-0,38	6,5	13,2		
29	11-7-72	2,4	-0,12	-0,17	-0,58	-0,81	9,8	4,2	-0,15	-0,49	6,3	11,9		
30	18-7-72	16,3	-0,12	-0,33	-0,68	-0,90	12,1	5,2	-0,25	-0,57	6,2	12,3		

Vervolg tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de voornaamste gemeten basisgegevens en daaruit afgeleide grootheden van het infiltratieproefveld 'De Groeve' gedurende de periode 1972-1975 (hoogte maasveld raai A: 0,90 m + NAP, raai B: 0,60 m + NAP)

Periode nr	Begin-datum	Neerslag mm. week <sup>-1</sup> N	Gemiddeld niveau binnen-water m-NAP h <sub>0</sub>	Gemiddelde grondwaterstand midden perceel		Gemiddelde grondw. st. diepe buis		Infiltratie		Gemiddelde grondwaterstand		Wegzijing naar de ondergrond	
				raai A m-NAP h <sub>mA</sub>	raai B m-NAP h <sub>mB</sub>	m-NAP φ <sub>2</sub>	m-NAP φ <sub>1</sub>	raai B mm. week <sup>-1</sup> q <sub>0B</sub> (= -q <sub>0</sub> )	raai A mm. week <sup>-1</sup> q <sub>0A</sub> (= 0,43 q <sub>0</sub> )	raai A m-NAP h <sub>pA</sub> (bij α = 0,64)	raai B m-NAP h <sub>pB</sub> (bij α = 0,79)	raai A mm. week <sup>-1</sup> q <sub>2A</sub> (bij α = 731 dagen)	raai B mm. week <sup>-1</sup> q <sub>2B</sub> (bij α = 189 dagen)
31	25-7-72	15,6	-0,13	-0,39	-0,74	-0,88	-0,88	12,1	5,2	-0,30	-0,61	5,6	9,9
32	1-8-72	18,8	-0,17	-0,36	-0,70	-0,76	-0,76	10,8	4,6	-0,29	-0,58	4,5	6,6
33	8-8-72	13,4	-0,18	-0,34	-0,70	-0,76	-0,76	11,5	4,9	-0,28	-0,58	4,6	6,6
34	15-8-72	22,3	-0,18	-0,41	-0,76	-0,90	-0,90	11,0	4,7	-0,33	-0,63	5,5	10,0
35	22-8-72	2,7	-0,15	-0,45	-0,74	-0,84	-0,84	11,9	5,1	-0,34	-0,61	4,8	8,4
36	29-8-72	0,5	-0,15	-0,48	-0,74	-0,81	-0,81	13,0	5,6	-0,36	-0,61	4,3	7,3
37	5-9-72	22,5	-0,14	-0,51	-0,81	-0,90	-0,90	12,6	5,4	-0,38	-0,67	5,0	8,5
38	12-9-72	21,2	-0,15	-0,48	-0,84	-0,98	-0,98	13,2	5,7	-0,36	-0,69	5,9	10,6
39	19-9-72	0,9	-0,14	-0,48	-0,82	-1,02	-1,02	13,7	5,9	-0,36	-0,68	6,3	12,7
40	26-9-72	3,6	-0,14	-0,52	-0,78	-0,99	-0,99	14,2	6,1	-0,38	-0,65	5,8	12,8
41	3-10-72	0,5	-0,14	-0,52	-0,78	-0,99	-0,99	12,7	5,5	-0,38	-0,65	5,8	12,8
42	10-10-72	0,8	-0,14	-0,54	-0,78	-0,99	-0,99	13,0	5,6	-0,40	-0,65	5,7	12,8
43	17-10-72	21,7	-0,15	-0,54	-0,78	-0,96	-0,96	11,2	4,8	-0,40	-0,65	5,4	11,6
44	24-10-72	1,9	-0,14	-0,52	-0,78	-0,97	-0,97	12,1	5,2	-0,38	-0,65	5,6	12,0
45	31-10-72	10,9	-0,13	-0,50	-0,76	-1,01	-1,01	12,7	5,5	-0,37	-0,63	6,2	14,1
46	7-11-72	53,0	-0,13	-0,11	-0,38	-0,78	-0,78	5,6	2,4	-0,12	-0,33	6,3	16,7
47	14-11-72	29,8	-0,13	+0,34	0	-0,50	-0,50	-2,9	-1,2	0,17	-0,03	6,4	17,4
48	21-11-72	10,1	-0,14	+0,24	-0,06	-0,46	-0,46	-1,6*	-0,7	0,10	-0,08	5,4	14,2
49	28-11-72	8,0	-0,15	-0,04	-0,14	-0,50	-0,50	0	0	-0,08	-0,14	4,0	13,3
50	5-12-72	14,7	-0,16	+0,02	-0,22	-0,60	-0,60	2,4	1,0	-0,04	-0,20	5,3	14,7
51	12-12-72	2,1	-0,15	-0,04	-0,34	-0,74	-0,74	6,5	2,8	-0,08	-0,30	6,3	16,4
52	19-12-72	2,1*	-0,14	-0,27	-0,53*	-0,76	-0,76	8,0	3,4	-0,22	-0,45	5,1	11,5
53	26-12-72	0	-0,13	-0,35	-0,61*	-0,83	-0,83	9,6	4,1	-0,27	-0,51	5,4	11,9
54	2-1-73	3,0	-0,14	-0,38	-0,72	-0,95	-0,95	8,5	3,7	-0,29	-0,60	6,3	13,0
55	9-1-73	0,5	-0,14	-0,42	-0,81	-0,99	-0,99	10,5	4,5	-0,32	-0,67	6,4	11,9
56	16-1-73	11,3	-0,14	-0,42	-0,83	-1,02	-1,02	11,1	4,8	-0,32	-0,69	6,7	12,4

Vervolg tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de voornaamste gemeten basisgegevens en daaruit afgeleide grootheden van het infiltratieproefveld 'De Groeve' gedurende de periode 1972-1975 (hoogte maaiveld raai A: 0,90 m + NAP, raai B: 0,60 m + NAP)

Periode nr	Begin- datum	Neerslag mm. week <sup>-1</sup> N	Gemiddeld niveau binnen- water		Gemiddelde grondwaterstand midden perceel		Gemiddelde grondwaterstand		Infiltratie		Gemiddelde grondwaterstand		Wegzijing naar de ondergrond	
			m-NAP h <sub>o</sub>	m-NAP h <sub>MA</sub>	m-NAP h <sub>MB</sub>	m-NAP φ <sub>2</sub>	mm. week <sup>-1</sup> q <sub>OB</sub> (-q <sub>o</sub> )	mm. week <sup>-1</sup> q <sub>OA</sub> (-0,43 q <sub>o</sub> )	m-NAP h <sub>PA</sub> (bij α = 0,64)	m-NAP h <sub>PB</sub> (bij α = 0,79)	mm. week <sup>-1</sup> q <sub>2A</sub>	mm. week <sup>-1</sup> q <sub>2B</sub>	mm. week <sup>-1</sup> q <sub>α</sub> (bij α = 731 dagen)	mm. week <sup>-1</sup> q <sub>α</sub> (bij α = 189 dagen)
				raai A	raai B		raai B	raai A	raai A	raai B	raai A	raai B	raai A	raai B
57	23-1-73	11,3	-0,14	-0,33	-0,78	-0,98	6,2	2,7	-0,26	-0,65	6,9	12,4		
58	30-1-73	3,3	-0,14	-0,16 <sup>o</sup>	-0,43*	-0,66 <sup>o</sup>	5,9	2,5	-0,15	-0,37	4,9	10,7		
59	6-2-73	50,3	-0,13	-0,09 <sup>o</sup>	-0,36*	-0,60 <sup>o</sup>	4,5	1,9	-0,10	-0,31	4,7	10,7		
60	13-2-73	20,9	-0,14	+0,28	+0,04	-0,48	-5,2	-2,2	0,13	0	5,8	17,9		
61	20-2-73	20,4	-0,13	+0,14	-0,10	-0,64	-0,5	-0,2	0,04	-0,11	6,5	19,7		
62	27-2-73	8,7	-0,14	+0,02	-0,24	-0,66	2,9	1,2	-0,04	-0,22	6,0	16,3		
63	6-3-73	7,9	-0,14	-0,14	-0,30	-0,64	3,9	1,7	-0,14	-0,27	4,8	13,8		
64	13-3-73	3,1	-0,14	-0,26	-0,38	-0,66	5,8	2,5	-0,22	-0,33	4,2	12,2		
65	20-3-73	0,5	-0,14	-0,34	-0,56	-0,84	9,3	4,0	-0,27	-0,47	5,5	13,6		
66	27-3-73	32,7	-0,14	-0,26	-0,55 <sup>o</sup>	-0,72	9,6	4,1	-0,22	-0,46	4,8	9,5		
67	3-4-73	18,1	-0,14	-0,16	-0,43 <sup>o</sup>	-0,64	3,2	1,4	-0,15	-0,37	4,7	10,0		
68	10-4-73	17,3	-0,15	-0,20	-0,42 <sup>o</sup>	-0,76	7,1	3,1	-0,18	-0,36	5,5	14,8		
69	17-4-73	8,4	-0,15	-0,29	-0,55	-0,77	10,4	4,5	-0,24	-0,46	5,1	11,3		
70	24-4-73	9,5	-0,15	-0,36	-0,74	-0,92	9,4	4,0	-0,28	-0,61	6,1	11,3		
71	1-5-73	19,8	-0,14	-0,52	-0,68	-0,99	11,1*	4,8	-0,38	-0,57	5,8	15,7		
72	8-5-73	7,4	-0,15	-0,61	-0,60	-0,80	13,4	5,8	-0,44	-0,50	3,4	11,0		
73	15-5-73	13,3	-0,14	-0,66	-0,66	-0,96	11,5	4,9	-0,47	-0,55	4,7	15,2		
74	22-5-73	3,7	-0,15	-0,66	-0,79	-1,12	15,2	6,5	-0,48	-0,65	6,2	17,3		
75	29-5-73	18,3	-0,15	-0,56	-0,92	-1,12	14,4	6,2	-0,41	-0,76	6,8	13,5		
76	5-6-73	0,3	-0,15	-0,58	-0,89	-1,13	17,0	7,3	-0,43	-0,73	6,7	14,7		
77	12-6-73	0	-0,15	-0,62	-0,90	-1,12	16,4	7,1	-0,45	-0,74	6,4	14,1		
78	19-6-73	0	-0,15	-0,67	-0,99	-1,23	18,5	8,0	-0,48	-0,81	7,2	15,5		
79	26-6-73	17,3*	-0,15	-0,70	-1,06	-1,28	20,5	8,8	-0,50	-0,87	7,5	15,3		
80	3-7-73	1,0	-0,15	-0,74	-1,12	-1,30	18,9	8,1	-0,53	-0,91	7,4	14,3		
81	10-7-73	54,6*	-0,14	-0,66	-1,04	-1,28	13,1	5,6	-0,47	-0,85	7,7	15,9		



Vervolg tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de voornaamste gemeten basisgegevens en daaruit afgeleide grootheden van het infiltratieproefveld 'de Groeve' gedurende de periode 1972-1975 (hoogte maaltveld raai A: 0,90 m + NAP, raai B: 0,60 m + NAP)

Periode nr	Begin- datum	Neerslag N mm.week <sup>-1</sup>	Gemiddeld niveau binnen- water		Gemiddelde grondwaterstand midden perceel		Gemiddelde grondwaterstand diepe buis		Infiltratie		Gemiddelde grondwaterstand		Wegzijing naar de ondergrond			
			m-NAP	h <sub>o</sub>	m-NAP	h <sub>MA</sub>	m-NAP	h <sub>MB</sub>	m-NAP	φ <sub>2</sub>	mm.week <sup>-1</sup>	raai A	raai B	mm.week <sup>-1</sup>	raai A	raai B
			h <sub>o</sub>	h <sub>o</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MB</sub>	m-NAP	φ <sub>2</sub>	m-NAP	φ <sub>2</sub>	mm.week <sup>-1</sup>	raai A	raai B	mm.week <sup>-1</sup>	q <sub>2A</sub>	q <sub>2B</sub>
82	17-7-73	16,2*	-0,14	-0,58	-0,98	-1,10	16,5	7,1	-0,42	-0,80	6,5	11,0				
83	24-7-73	8,4	-0,14	-0,58	-0,98	-1,04	17,6	7,6	-0,42	-0,80	5,9	8,8				
84	31-7-73	4,2	-0,14	-0,58	-1,02	-1,20	17,2	7,4	-0,42	-0,84	7,5	13,5				
85	7-8-73	4,0	-0,14	-0,62	-1,12	-1,36	18,9	8,1	-0,45	-0,91	8,7	16,5				
86	14-8-73	1,1	-0,14	-0,66	-1,22	-1,46	20,7	8,9	-0,47	-0,99	9,5	17,3				
87	21-8-73	0	-0,14	-0,72	-1,27	-1,44	20,2	8,7	-0,51	-1,03	8,9	15,1				
88	28-8-73	26,4	-0,13	-0,74	-1,28	-1,42	19,9	8,6	-0,52	-1,04	8,6	14,1				
89	4-9-73	0,2	-0,13	-0,74	-1,26	-1,39	20,3	8,7	-0,52	-1,02	8,3	13,5				
90	11-9-73	4,4	-0,12	-0,76	-1,28	-1,41	21,3	9,2	-0,53	-1,04	8,4	13,7				
91	18-9-73	14,6	-0,12	-0,76	-1,16 <sup>o</sup>	-1,35	20,4	8,8	-0,53	-0,95	7,9	15,0				
92	25-9-73	23,7	-0,12	-0,71	-1,04 <sup>o</sup>	-1,24	16,9	7,3	-0,50	-0,85	7,1	14,4				
93	2-10-73	1,3	-0,14	-0,64	-1,02	-1,22	16,9	7,3	-0,46	-0,84	7,3	14,3				
94	9-10-73	11,6	-0,14	-0,51	-0,87	-0,92	11,0	4,7	-0,38	-0,72	5,2	7,5				
95	16-10-73	23,9	-0,14	+0,01	-0,52	-0,64	1,7	0,7	-0,04	-0,44	5,7	7,4				
96	23-10-73	2,8	-0,14	+0,14	-0,34	-0,70	1,7	0,7	0,04	-0,30	7,1	14,9				
97	30-10-73	9,6	-0,14	-0,21	-0,40	-0,67	6,3	2,7	-0,18	-0,35	4,6	12,0				
98	6-11-73	34,0	-0,12	+0,06	-0,32	-0,64	5,5	2,4	0	-0,28	6,1	13,3				
99	13-11-73	20,1	-0,11	+0,18	-0,20	-0,38	-0,5	-0,2	0,08	-0,19	4,4	7,1				
100	20-11-73	20,4	-0,13	+0,15	-0,15	-0,31	-1,3	-0,6	0,05	-0,15	3,4	6,0				
101	27-11-73	9,8	-0,13	+0,36	-0,06	-0,54	-1,7	-0,7	0,18	-0,08	6,9	17,2				
102	4-12-73	28,2	-0,11	+0,36	-0,01	-0,12	-6,5	-2,8	0,19	-0,04	3,0	3,1				
103	11-12-73	34,4	-0,14	+0,43	+0,07	+0,01	-10,2	-4,4	0,22	0,03	2,1	0,6				
104	18-12-73	7,3	-0,11	+0,29 <sup>o</sup>	+0,02 <sup>o</sup>	-0,25 <sup>o</sup>	-3,3	-1,4	0,15	-0,01	3,8	8,9				
105	25-12-73	2,5	-0,14	-0,27 <sup>o</sup>	-0,53 <sup>o</sup>	-0,76 <sup>o</sup>	8,0	3,4	-0,22	-0,45	5,1	11,5				
106	1-1-74	14,2	-0,14	+0,03	-0,14	-0,57	3,4	1,5	-0,03	-0,14	5,2	15,9				
107	8-1-74	20,6	-0,14	+0,18	-0,10	-0,49	-0,8*	-0,3	0,06	-0,11	5,3	14,1				

Vervolg tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de voornaamste gemeten basisgegevens en daaruit afgeleide grootheden van het infiltratieproefveld 'De Groeve' gedurende de periode 1972-1975 (hoogte maaierveld raai A: 0,90 m + NAP, raai B: 0,60 m + NAP)

Periode nr	Begin-datum	Neerslag mm. week <sup>-1</sup> N	Gemiddeld niveau binnen-water		Gemiddelde grondwaterstand midden perceel		Gemiddelde grondwaterstand		Infiltratie		Gemiddelde grondwaterstand		Wegzijing naar de ondergrond			
			m-NAP	h <sub>o</sub>	m-NAP	h <sub>mB</sub>	m-NAP	h <sub>pA</sub>	m-NAP	h <sub>pB</sub>	raai B	raai A	m-NAP	h <sub>pA</sub>	raai B	raai A
			mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>	mm. week <sup>-1</sup>
108	15-1-74	21,8	-0,14	+0,06	-0,08	-0,49	-1,2*	-0,5	-0,01	-0,09	4,6	14,7				
109	22-1-74	9,6	-0,14	-0,10	-0,15	-0,55	-0,2*	-0,1	-0,11	-0,15	4,2	14,9				
110	29-1-74	4,8	-0,14	-0,16	-0,22	-0,51	1,6*	0,7	-0,15	-0,20	3,4	11,4				
111	5-2-74	20,4	-0,14	-0,02	-0,18	-0,38	0,8*	0,3	-0,06	-0,17	3,0	7,7				
112	12-2-74	1,9	-0,14	-0,03	-0,18	-0,42	0,8*	0,3	-0,07	-0,17	3,4	9,2				
113	19-2-74	7,1	-0,14	-0,26	-0,34	-0,65	4,1*	1,8	-0,22	-0,30	4,1	13,0				
114	26-2-74	6,6	-0,14	-0,34	-0,46	-0,75	6,6*	2,8	-0,27	-0,39	4,6	13,2				
115	5-3-74	0	-0,14	-0,38	-0,52	-0,63	7,8*	3,4	-0,29	-0,44	3,2	7,0				
116	12-3-74	31,5	-0,14													
117	19-3-74	8,3	-0,14													
118	26-3-74	0	-0,14	-0,32	-0,46	-0,74	6,6*	2,8	-0,26	-0,39	4,6	12,9				
119	2-4-74	0	-0,14	-0,40	-0,56	-0,90	11,0	4,7	-0,31	-0,47	5,7	15,9				
120	9-4-74	0	-0,14	-0,48	-0,66	-0,96	10,7*	4,6	-0,36	-0,55	5,8	15,2				
121	16-4-74	0,2	-0,12	-0,55	-0,76	-1,01	13,1	5,6	-0,40	-0,63	5,9	14,1				
122	23-4-74	3,9	-0,12	-0,56	-0,74	-1,00	12,6	5,4	-0,40	-0,61	5,7	14,3				
123	30-4-74	20,5	-0,15	-0,56	-0,72	-0,92	11,9*	5,1	-0,41	-0,60	4,9	11,9				
124	7-5-74	14,0	-0,14	-0,56	-0,72	-0,92	11,1	4,8	-0,41	-0,60	4,9	11,9				
125	14-5-74	2,0	-0,12	-0,58	-0,72	-0,90	11,9	5,1	-0,41	-0,60	4,7	11,2				
126	21-5-74	6,1	-0,09	-0,59	-0,76	-0,90	11,8	5,1	-0,41	-0,63	4,7	10,0				
127	28-5-74	10,7	-0,14	-0,57	-0,76	-0,88	14,0	6,0	-0,42	-0,63	4,5	9,3				
128	4-6-74	21,8	-0,09	-0,62	-0,92	-1,10	17,3	7,4	-0,43	-0,76	6,4	12,7				
129	11-6-74	12,7	-0,14	-0,62	-0,92	-1,35	16,8	7,2	-0,45	-0,76	8,6	22,0				
130	18-6-74	0,1	-0,14	-0,58	-0,80	-0,58	11,8	5,1	-0,42	-0,66	1,5	3,0				
131	25-6-74	29,3	-0,14	-0,58	-0,83	-0,70	11,2	4,8	-0,42	-0,69	2,7	0,6				
132	2-7-74	29,8	-0,14	-0,59	-0,96	-0,94	12,9	5,5	-0,43	-0,79	4,9	5,6				

Vervolg tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de voornaamste gemeten basisgegevens en daaruit afgeleide grootheden van het infiltratieproefveld 'De Groeve' gedurende de periode 1972-1975 (hoogte maaiveld raai A: 0,90 m + NAP, raai B: 0,60 m + NAP)

Periode nr	Begin-datum	Neerslag mm. week <sup>-1</sup> N	Gemiddeld niveau binnen- water		Gemiddelde grondwaterstand midden- perceel		Gemiddelde grondw. st. diepe buis		Infiltratie		Gemiddelde grondwaterstand		Wegzijing naar de ondergrond			
			m-NAP	h <sub>o</sub>	m-NAP	h <sub>MA</sub>	m-NAP	φ <sub>2</sub>	mm. week <sup>-1</sup>	raai B	raai A	m-NAP	h <sub>PA</sub>	mm. week <sup>-1</sup>	raai A	raai B
			h <sub>o</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MB</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>
133	9-7-74	17,5	-0,14	-0,63	-1,10	-1,26	20,0	8,6	-0,45	-0,90	7,7	13,4				
134	16-7-74	10,6	-0,15	-0,64	-1,01	-1,09	18,4	7,9	-0,46	-0,83	6,0	9,7				
135	23-7-74	9,5	-0,17	-0,68	-0,85	-0,90	13,7	5,9	-0,50	-0,70	3,9	7,4				
136	30-7-74	27,2	-0,17	-0,72	-0,78	-0,83	13,4	5,8	-0,52	-0,65	2,9	6,8				
137	6-8-74	20,2	-0,16	-0,66	-0,72	-0,66	11,4	4,9	-0,48	-0,60	1,7	2,3				
138	13-8-74	6,3	-0,16	-0,54	-0,68	-0,64	13,0	5,6	-0,40	-0,57	2,3	2,7				
139	20-8-74	4,5	-0,16	-0,49	-0,71	-0,75	13,9	6,0	-0,37	-0,59	3,6	5,9				
140	27-8-74	12,1	-0,16	-0,54	-0,74	-0,80	13,5	5,8	-0,40	-0,61	3,8	6,9				
141	3-9-74	29,9	-0,15	-0,50	-0,71	-0,82	11,8	5,1	-0,37	-0,59	4,3	8,5				
142	10-9-74	4,5	-0,14	-0,44	-0,66	-0,80	10,8	4,6	-0,33	-0,55	4,5	9,2				
143	17-9-74	12,1	-0,14	-0,43	-0,64	-0,80	11,0	4,7	-0,33	-0,54	4,5	9,8				
144	24-9-74	47,0	-0,15	-0,20	-0,46	-0,58	5,1	2,2	-0,18	-0,39	3,8	6,9				
145	1-10-74	22,0	-0,15	+0,42°	+0,15°	-0,12	-1,3	-0,6	0,21	+0,09	3,2	7,7				
146	8-10-74	23,7	-0,14	+0,50°	+0,23°	-0,04	-3,8	-1,6	0,27	+0,15	3,0	7,1				
147	15-10-74	11,8	-0,14	+0,25°	-0,02°	-0,28	-2,5*	-1,1	0,11	-0,05	3,7	8,7				
148	22-10-74	32,6	-0,14	+0,34°	+0,07°	-0,19	-4,3*	-1,8	0,17	0,03	3,4	8,0				
149	29-10-74	7,1	-0,14	+0,38	+0,16	-0,08	-6,2*	-2,7	0,19	0,10	2,6	6,6				
150	5-11-74	7,8	-0,14	+0,18	+0,08	-0,18	-4,5*	-1,9	0,06	0,03	2,3	7,9				
151	12-11-74	30,0	-0,14	+0,19	+0,04	-0,32	-3,7*	-1,6	0,07	0	3,7	11,9				
152	19-11-74	35,8	-0,14	+0,38	+0,06	-0,36	-4,1*	-1,8	0,19	0,02	5,3	14,0				
153	26-11-74	29,8	-0,14	+0,46	+0,10	-0,42	-4,9	-2,1	0,24	0,05	6,4	17,4				
154	3-12-74	19,6	-0,14	+0,30	+0,09	-0,38	-4,7	-2,0	0,14	0,04	5,0	15,6				
155	10-12-74	22,4	-0,14	+0,31	+0,10	-0,38	-4,9	-2,1	0,15	0,05	5,1	15,9				
156	17-12-74	11,9	-0,14	+0,41	+0,14°	-0,24	-5,8	-2,5	0,21	0,08	4,3	11,9				
157	24-12-74	13,0	-0,14	+0,34	+0,06°	-0,30	-4,1	-1,8	0,17	0,02	4,5	11,9				
158	31-12-74	16,5	-0,14	+0,26	-0,02°	-0,29	0	0	0,12	-0,05	3,9	8,9				

Vervolg tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de voornaamste gemeten basisgegevens en daaruit afgeleide grootheden van het infiltratieproefveld 'De Groeve' gedurende de periode 1972-1975 (hoogte maaiveld raai A: 0,90 m + NAP, raai B: 0,60 m + NAP)

Periode nr	Begin-datum	Neerslag mm.week <sup>-1</sup> N	Gemiddeld niveau binnenwater		Gemiddelde grondwaterstand midden perceel		Gemiddelde grondwaterstand diepe buis		Infiltratie		Gemiddelde grondwaterstand		Wegwijzing naar de ondergrond		
			m-NAP		m-NAP		m-NAP		raai B	raai A	raai B	raai A	raai B	raai A	raai B
			h <sub>o</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MB</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MB</sub>	φ <sub>2</sub>	Q <sub>OB</sub> (=q <sub>o</sub> )	Q <sub>OA</sub> (=0,43 q <sub>o</sub> )	h <sub>pA</sub> (bij α = 0,64)	h <sub>pB</sub> (bij α = 0,79)	Q <sub>2B</sub>	Q <sub>2A</sub> (bij α = 731 dagen)	Q <sub>2B</sub>
159	7- 1-75	3,8	-0,14	+0,09	-0,04°	-0,73	0,8	0,3	0,01	-0,06	7,1	24,8			
160	14- 1-75	12,2	-0,14	-0,04	-0,08	-0,32	1,7	0,7	-0,08	-0,09	2,3	8,5			
161	21- 1-75	34,2	-0,14	+0,30	+0,06	-0,20	0	0	0,14	0,02	3,3	8,1			
162	28- 1-75	19,4	-0,14	+0,36	+0,12	-0,24	0	0	0,18	0,07	4,0	11,5			
163	4- 2-75	0,6	-0,14	-0,01	-0,04	-0,46	1,6	0,7	-0,06	-0,06	3,9	14,8			
164	11- 2-75	22,6	-0,14				0,9	0,4							
165	18- 2-75	0,6	-0,14				3,0	1,3							
166	25- 2-75	5,8	-0,14	-0,13	-0,11	-1,14	6,2	2,7	-0,13	-0,12	9,6	37,8			
167	4- 3-75	22,5	-0,14	-0,12	-0,12	-0,93	4,3	1,8	-0,13	-0,12	7,7	30,0			
168	11- 3-75	4,0	-0,14				6,4	2,8							
169	18- 3-75	4,4	-0,14				7,7	3,3							
170	25- 3-75	16,3	-0,14	-0,28	-0,56	-0,92	6,8	2,9	-0,23	-0,47	6,6	16,7			
171	1- 4-75	29,1	-0,14	-0,16	-0,42	-0,76	6,5	2,8	-0,15	-0,36	5,8	14,8			
172	8- 4-75	23,2	-0,14	+0,02	-0,28	-0,54	2,7	1,2	-0,04	-0,25	4,8	10,7			
173	15- 4-75	10,2*	-0,14				2,4	1,0							
174	22- 4-75	0,5*	-0,14				7,6	3,3							
175	29- 4-75	6,8	-0,14				6,8	2,9							
176	6- 5-75	27,7	-0,14	-0,28	-0,48	-0,93	5,4	2,3	-0,23	-0,41	6,7	19,3			
177	13- 5-75	9,6	-0,14	-0,72°	-0,98	-0,72	6,9	3,0	-0,51	-0,80	2,0	-3,0			
178	20- 5-75	0,3	-0,14				8,5	3,7							
179	27- 5-75	6,7*	-0,14												
180	3- 6-75	16,5	-0,14												
181	10- 6-75	9,8	-0,14	-0,48	-0,67	-0,88	12,4	5,3	-0,36	-0,56	5,0	11,9			
182	17- 6-75	15,6	-0,14	-0,52	-0,73	-1,16	12,4	5,3	-0,38	-0,61	7,4	20,4			
183	24- 6-75	0	-0,14	-0,58	-0,82	-1,28	15,8	6,8	-0,42	-0,68	8,2	22,2			

Vervolg tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de voornaamste gemeten basisgegevens en daaruit afgeleide grootheden van het infiltratieproefveld 'De Groeve' gedurende de periode 1972-1975 (hoogte maaiveld raai A: 0,90 m + NAP, raai B: 0,60 m + NAP)

Periode nr	Begin-datum	Neerslag mm.week <sup>-1</sup> N	Gemiddeld niveau binnenwater		Gemiddelde grondwaterstand midden perceel		Gemiddelde grondw.st. diepe buis		Infiltratie		Gemiddelde grondwaterstand		Wegzijing naar de ondergrond					
			m-NAP	h <sub>o</sub>	m-NAP	h <sub>MA</sub>	m-NAP	φ <sub>2</sub>	mm.week <sup>-1</sup>	raai A	raai B	m-NAP	h <sub>MA</sub>	m-NAP	h <sub>MB</sub>	mm.week <sup>-1</sup>	raai A	raai B
			h <sub>o</sub>	h <sub>o</sub>	h <sub>MA</sub>	h <sub>MA</sub>	φ <sub>2</sub>	φ <sub>2</sub>	Q <sub>OB</sub> (=q <sub>o</sub> )	Q <sub>OA</sub> (=0,43 q <sub>o</sub> )	h <sub>MA</sub> (bij α = 0,64)	h <sub>MB</sub> (bij α = 0,79)	h <sub>MA</sub> (bij α = 0,64)	h <sub>MB</sub> (bij α = 0,79)	Q <sub>2A</sub> (bij c <sub>A</sub> = 731 dagen)	Q <sub>2B</sub> (bij c <sub>B</sub> = 189 dagen)		
184	1-7-75	0	-0,14	-0,14	-0,64	-0,86	-1,08	17,7	7,6	-0,46	-0,71	5,9	13,7					
185	8-7-75	18,7	-0,14	-0,14	-0,64	-0,80	-0,94	15,2	6,5	-0,46	-0,66	4,6	10,4					
186	15-7-75	21,2	-0,14	-0,14	-0,59	-0,76	-0,86	12,4	5,3	-0,43	-0,63	4,1	8,5					
187	22-7-75	8,4	-0,14	-0,14	-0,56	-0,77	-0,92	13,9	6,0	-0,41	-0,64	4,9	10,4					
188	29-7-75	0	-0,14	-0,14	-0,63	-0,90	-1,13	16,2	7,0	-0,45	-0,74	6,5	14,4					
189	5-8-75	0	-0,14	-0,14	-0,72	-1,12	-1,37	22,7	9,8	-0,51	-0,91	8,2	17,0					
190	12-8-75	12,5	-0,14	-0,14	-0,74	-1,14	-1,34	21,5	9,2	-0,52	-0,93	7,8	15,2					
191	19-8-75	9,2	-0,14	-0,14	-0,74	-1,04	-1,26	1,1	0,5	-0,52	-0,85	7,0	15,2					
192	26-8-75	2,7	-0,14	-0,14	-0,76 <sup>o</sup>	-1,02	-1,22	20,4	8,8	-0,54	-0,84	6,5	14,1					
193	2-9-75	0	-0,14	-0,14	-0,90 <sup>o</sup>	-1,16	-1,42	21,1	9,1	-0,63	-0,95	7,6	17,4					
194	9-9-75	19,6	-0,14	-0,14	-0,81	-1,27	-1,57	24,6	10,6	-0,57	-1,03	9,6	20,0					
195	16-9-75	0	-0,14	-0,14	-0,84	-1,10	-1,27	19,2	8,3	-0,59	-0,90	6,5	13,7					
196	23-9-75	48,5	-0,14	-0,14	-0,71	-0,84	-0,96	12,6	5,4	-0,50	-0,69	4,4	10,0					
197	30-9-75	24,4	-0,14	-0,14	-0,58	-0,78	-0,87	10,0	4,3	-0,42	-0,65	4,3	8,1					

1) lekke duiker, uitlaatpomp heeft gedraaid

In die gevallen waarin metingen ontbreken zijn waarden geschat:

• is neerslag Eelde

o uit h<sub>MB</sub> = ah<sub>MA</sub> + b

□ uit h<sub>MB</sub> = pφ<sub>2</sub> + q

\* uit q<sub>o</sub> =  $\frac{h_o - h_m}{T}$

Volgens (3) kan de verticale weerstand van de slecht doorlatende laag worden verkregen door regressie van  $(h_p - \phi_2)$  op  $q_2$ . De waarden van  $q_2$  werden indirect berekend uit (4) waarbij  $q_{fr}$  volgens (2) werd gevonden als sluitpost van de waterbalans van de onverzadigde zone. Regressieberekeningen over de jaren 1972 en 1973 leverden respectievelijk voor raai A een  $C_A$  van 731 en 730, voor raai B een  $C_B$  van 189 en 217 dagen. Aangezien deze waarden niet significant van elkaar verschilden, werd aangehouden dat:

$$C_A = 731 \text{ dagen} \quad C_B = 189 \text{ dagen}$$

Uit deze waarden blijkt de sterk heterogene samenstelling van de ondergrond.

Voor een schatting van de verdeling van de infiltratie  $q_o$  over de raaien A en B werden de regressielijnen van  $(h_o - h_m)$  op  $q_o$  over de periode 7 tot en met 157 gebruikt. Deze lijn blijkt bij raai B door het nulpunt te gaan, bij raai A echter niet. Bij raai B is dus bij  $q_o = 0$ ,  $(h_o - h_m)_B = 0$ , maar bij raai A is dan  $(h_o - h_m)_A = -0,24 \text{ m}$ . Dit wil zeggen dat bij een inlaat aan het begin van het proefveld van  $q_o = 0$  er bij raai B ook geen infiltratie noch drukverschil optreedt, maar dat er bij raai A dan sprake is van drainage. Substitutie van de gemiddelde drukhoogteverschillen over genoemde periode en de drainageweerstanden van beide raaien in (6) levert:

$$q_{oA} = \frac{0,207}{313} \cdot \frac{340}{0,524} \cdot q_{oB} = 0,43 q_{oB}$$

Samenvattend kunnen we dus zeggen dat:

$$q_{oA} = 0,43 q_o \quad \text{en} \quad q_{oB} = q_o$$

In fig. 1 zijn de infiltratie- en wegzijgingsnelheden weergegeven voor raai B gedurende de jaren 1972/1975. Het blijkt dat een infiltratie tot  $\pm 3 \text{ mm.dag}^{-1}$  vanuit de sloten mogelijk is in zeer droge perioden en bij grote hoeveelheden gewonnen drinkwater. Het deel van het infiltratiewater dat wegzijgt naar de ondergrond komt ten goede aan

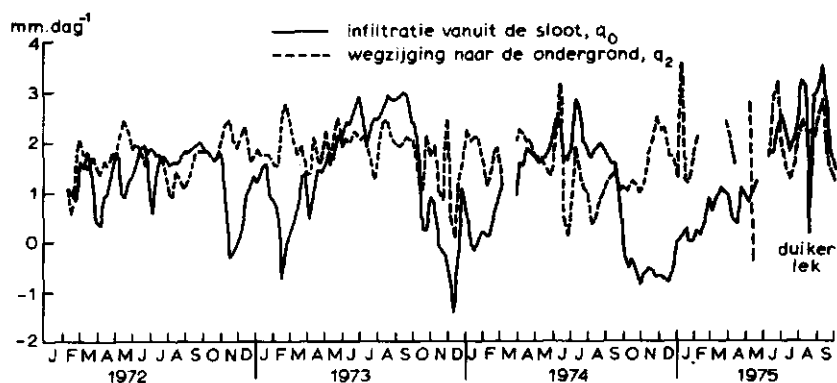


Fig. 1. Het verloop van de infiltratie vanuit de sloten en de wegzijging naar de ondergrond gedurende de meetperiode 1972-1975 op raai B van het infiltratieproefveld 'De Groeve'

de waterwinning ( $q_2$ ), het andere deel aan de plant ( $= q_0 - q_2$ ). Zowel hoeveelheden als onderlinge verdelingen hangen af van de verdampingsintensiteit, de grootte van de waterwinning en de heersende grondwaterstanden (voor details, zie tabel 1). Uit fig. 1 wordt duidelijk dat tijdens de winterperioden gedurende slechts relatief korte tijdsduren afvoer naar de sloten plaats vindt. Het grootste gedeelte van het neerslagoverschot blijkt dan naar de ondergrond te verdwijnen.

Hetgeen voor raai B is opgemerkt geldt in grote trekken ook voor raai A, alleen zijn de infiltratiehoeveelheden daar lager evenals de wegzijgingsverliezen.

In tabel 2 is nog eens een overzicht gegeven van de voornaamste grootheden, nu gemiddeld over de verschillende winter- en zomerseizoenen. Uit deze tabel blijkt duidelijk dat infiltratie vooral effect heeft als aanvulling van de ondergrondse watervoorraad, maar dat de effecten op de capillaire opstijging naar de plant slechts relatief gering zijn. In raai B bedraagt deze gedurende de zomerseizoenen van 1973 en 1974 respectievelijk gemiddeld 0,3 en 0,5 mm.dag<sup>-1</sup>. De flux naar de ondergrond is dan respectievelijk 7 en 3 keer zo groot. Bij deze beschouwing moet wel in gedachten worden gehouden dat de totale bijdrage van de capillaire opstijging aan de verdamping over het groeiseizoen wel belangrijk is:  $180 \times 0,5 = 90$  mm, dat wil zeggen bij

Tabel 2. Overzicht van de voornaamste grootheden in de raaien A en B gemiddeld over de winter- en zomerseizoenen van de diverse jaren  
(hoogte massiveld raai A: 0,90 m + NAP, raai B: 0,60 m + NAP)

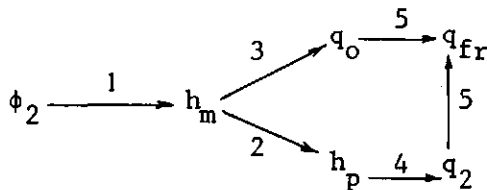
	R A A I A						R A A I B					
	$\bar{h}_o$ m-NAP	$\bar{\phi}_2$ m-NAP	$\bar{h}_m$ m-NAP	$\bar{h}_p$ m-NAP	$\bar{q}_o$ mm.dag <sup>-1</sup>	$\bar{q}_2$ mm.dag <sup>-1</sup>	$\bar{q}_{fr}$ mm.dag <sup>-1</sup>	$\bar{h}_m$ m-NAP	$\bar{h}_p$ m-NAP	$\bar{q}_o$ mm.dag <sup>-1</sup>	$\bar{q}_2$ mm.dag <sup>-1</sup>	$\bar{q}_{fr}$ mm.dag <sup>-1</sup>
april '72-sept. '72	-0,14	-0,80	-0,32	-0,26	0,63	0,74	-0,12	-0,58	-0,49	1,46	1,63	-0,17
okt. '72-maart '73	-0,14	-0,77	-0,20	-0,18	0,38	0,80	-0,42	-0,47	-0,40	0,89	1,94	-1,05
april '73-sept. '73	-0,14	-1,15	-0,59	-0,43	0,97	0,98	-0,01	-0,94	-0,77	2,25	1,99	0,26
okt. '73-maart '74	-0,14	-0,56	-0,04	-0,07	0,15	0,66	-0,51	-0,30	-0,27	0,34	1,53	-1,19
april '74-sept. '74	-0,14	-0,88	-0,55	-0,40	0,79	0,66	-0,13	-0,76	-0,63	1,84	1,36	0,48
okt. '74-maart '75	-0,14	-0,39	0,22	0,09	-0,09	0,66	-0,75	0,02	-0,01	-0,22	1,99	-2,20
april '75-sept. '75	-0,14	-1,07	-0,60	-0,43	0,85	0,87	-0,02	-0,85	-0,70	1,98	1,93	0,04



een verdamping van 450 mm toch nog 20 %.

Het is opvallend dat bij raai A de gemiddelde capillaire opstijging vrijwel altijd negatief is (alleen in het zomerseizoen '74 is er een positieve gemiddelde opstijging van  $0,1 \text{ mm.dag}^{-1}$ ). Dit is te wijten aan de andere profielopbouw en hydrologische gesteldheid van de ondergrond.

Teneinde de invloed van de grondwateronttrekking op de diverse hydrologische grootheden af te kunnen leiden, zijn hieronder enige lineaire betrekkingen gegeven waarin  $\phi_2$ , de stijghoogte van het diepe grondwater, gegeven is als de onafhankelijke variabele. In schema gezet, kan de invloed van  $\phi_2$  op respectievelijk  $h_m$ ,  $h_p$ ,  $q_o$ ,  $q_2$  en  $q_{fr}$  via de aangegeven pijlen worden weergegeven als:



Voor de perioden 7 tot en met 157 is afgeleid, dat bij een constant slootpeil ( $h_o = -0,14 \text{ m-NAP}$ ) geldt:

	R A A I A		R A A I B		
1. $h_m = a\phi_2 + b$	$h_m = 0,918$	$\phi_2 + 0,428$	$h_m = 1,091$	$\phi_2 + 0,295$	(m-NAP)
2. $h_p = h_o + \alpha_{fr}(h_m - h_o)$	$h_p = 0,588$	$\phi_2 + 0,224$	$h_p = 0,862$	$\phi_2 + 0,204$	(m-NAP)
3. $q_o = \frac{h_o - h_m}{T}$	$q_o = -0,002933$	$\phi_2 - 0,001815$	$q_o = -0,003208$	$\phi_2 - 0,001280$	(m.dag <sup>-1</sup> )
4. $q_2 = \frac{h_p - \phi_2}{c}$	$q_2 = -0,0005643$	$\phi_2 + 0,0003058$	$q_2 = -0,0007314$	$\phi_2 + 0,001079$	(m.dag <sup>-1</sup> )
5. $q_{fr} = q_o - q_2$	$q_{fr} = -0,002369$	$\phi_2 - 0,002121$	$q_{fr} = -0,002477$	$\phi_2 - 0,002359$	(m.dag <sup>-1</sup> )

De waterwinning in het proefgebied kan worden gezien als een onttrekking uit het onderste van twee boven elkaar gelegen pakketten met semi-spanningswater waarboven een freatisch pakket. Oplossingen hiervoor zijn vermeld in bijlage 2 van VAN RIJSBERGEN (1972), waarbij een lineair verband tussen de onttrekking ( $Q$ ) en het stijghoogteverschil freatisch-diepe water ( $h_p - \phi_2$ ) geldt.

Voor de jaren 1972-1974 werden de gemiddelde wekelijkse stijghoogteverschillen tussen het freatische en diepe water van raai B uitgezet tegen de wekelijkse gepompte hoeveelheden water door het pompstation (fig. 2). Daarbij zijn helaas geen metingen bekend waarbij een hele week lang niet of slechts een constante kleine hoeveelheid is gepompt, zodat de grootte van het intercept van een te berekenen regressielijn enigszins onzeker is. Teneinde hier toch een schatting voor te kunnen doen is nagegaan wat in de situatie vóór het pompen het drukhoogteverschil tussen het freatisch water en het diepe pakket op  $\pm 100$  m ( $h_p - \phi_{100}$ ) was. Dit bedroeg ongeveer 0,80 m. Nemen we een  $c$ -waarde van het totale pakket aan van 600 dagen dan moet de kwel vóór het pompen  $0,80/600 = 1,33 \times 10^{-3}$  m.dag $^{-1}$  hebben bedragen. Dit wil zeggen dat dan  $h_p - \phi_2 = c \cdot q_2 = 189(-1,33 \times 10^{-3}) = -0,25$  m moet hebben bedragen. De algemene vergelijking luidt dan:

$$Q = a \{ (h_p - \phi_2) + 0,25 \} \quad (10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{week}^{-1}) \quad (8)$$

waarin:  $a = 274 (10^3 \text{ m}^2 \cdot \text{week}^{-1})$ .

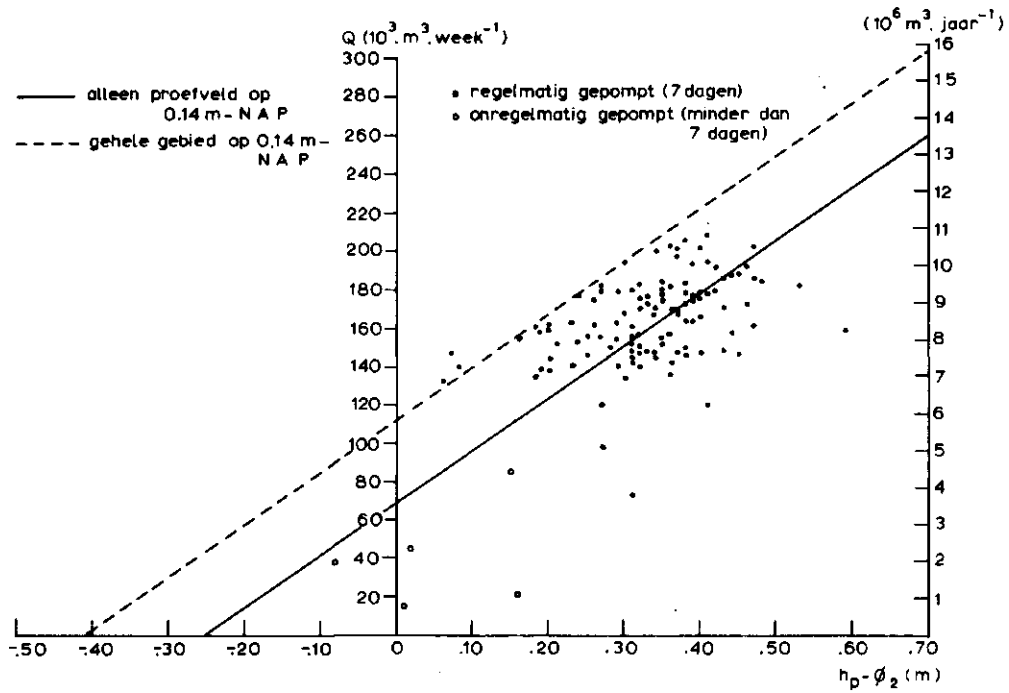


Fig. 2. Het verband tussen de hoeveelheid opgepompt ruw water door het pompstation ( $Q$ ) en het stijghoogteverschil tussen het freatische en diepe water ( $h_p - \phi_2$ ) in raai B van het infiltratieproefveld. De gestippelde lijn geeft de relatie weer indien het gehele waterwingebied op hetzelfde slootpeil van 74-m.v. wordt gebracht als in het infiltratieproefveld

### III. MODELBEREKENINGEN

#### 1. Theorie

Ter berekening van de invloed van de waterhuishouding op de verdamping en opbrengst van landbouwgewassen bij diverse ingrepen in de waterhuishoudkundige situatie, is uitgegaan van het pseudo-stationaire rekenschema zoals beschreven door RIJTEMA (1971), RIJTEMA en BON (1974) hetwelk verwerkt is tot een computerprogramma door DE LAAT (1976).

Het profiel wordt voor de berekening geschematiseerd tot een wortelzone met de bijbehorende ondergrond welke beide verschillende bodemfysische eigenschappen kunnen hebben. Voor het onverzadigde profiel kan worden uitgegaan van de waterbalansvergelijking:

$$E = N + q_{fr} - \frac{\Delta M}{\Delta t} \quad (\text{mm.dag}^{-1}) \quad (9)$$

waarin: E = verdamping

N = neerslag

$q_{fr}$  = opstijging uit het grondwater

$\frac{\Delta M}{\Delta t}$  = verandering in vochtvoorraad

Indien  $q_{fr}$  nu als functie van de grondwaterstand kan worden geschreven, kan het verband tussen E en  $\Delta M/\Delta t$  worden berekend, waarbij we uitgaan van een pseudo-stationaire beschouwing voor de beschrijving van de vochtstroming in het profiel.

Voor de flux door het freatisch oppervlak geldt verg. (4)

$$q_{fr} = q_0 - q_2 \quad (4a)$$

Substitutie van verg. (1) en (3) levert:

$$q_{fr} = \frac{h_o - h_m}{T} - \frac{h_p - \phi_2}{c} \quad (10)$$

Uit verg. (5) is af te leiden dat:

$$h_m - h_o = \frac{h_p - h_o}{\alpha} \quad (11)$$

Substitutie van (11) in (10) geeft dan:

$$q_{fr} = \frac{h_o - h_p}{\alpha T} - \frac{h_p - \phi_2}{c} \quad (12)$$

zodat  $q_{fr}$  bepaald is als functie van de gemiddelde grondwaterstand in de raai en de stijghoogte van het diepe water.

In het computerprogramma wordt (12) in enigszins andere vorm geschreven als

$$h_p = \frac{-\alpha T q_{fr} + \frac{\alpha T}{c} \phi_2 + h_o}{1 + \frac{\alpha T}{c}} \quad (12a)$$

of meer algemeen als

$$h_p = CO_1 q_{fr} + CO_2 \phi_2 + CO_3 \quad (12b)$$

waarin  $CO_1$ ,  $CO_2$  en  $CO_3$  berekende constanten zijn die afhangen van  $T$ ,  $c$ ,  $\alpha$  en  $h_o$ . Bij iedere in te voeren waarde van  $\phi_2$  is nu het verband tussen  $h_p$  en  $q_{fr}$  te berekenen.

Ter beschrijving van de term  $\Delta M/\Delta t$  in (9) wordt het profiel onderverdeeld in een wortelzone en een ondergrond. Er wordt aangenomen dat geen verticale vochtspanningsgradiënten in de wortelzone optreden, zodat een splitsing van de vochtvoorraadverandering tussen de wortelzone en de ondergrond mogelijk is, volgens

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{(\theta_{t_2}^* - \theta_{t_1}^*) d^*}{\Delta t} + \frac{1}{\Delta t} \int_0^z \theta_{t_2} dz - \int_0^z \theta_{t_1} dz \quad (13)$$

waarin:  $\theta$  = volumetrisch vochtgehalte ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )  
 $(\theta_{t_2}^* - \theta_{t_1}^*) d^*$  = vochtinhouddverandering wortelzone (mm)  
 $d^*$  = dikte wortelzone (dm)  
 $\int_0^z \theta_{t_2} dz, \int_0^z \theta_{t_1} dz$  = vochtinhoud ondergrond (mm) op respectievelijk tijdstip  $t_2$  en  $t_1$

De waarde van de functie  $\int_0^z \theta_t dz$  kan voor pseudo-stationaire omstandigheden vanaf het tijdstip  $t = 0$  numeriek worden berekend door uit te gaan van de 1-dimensionale stromingsvergelijking voor het verticale vochttransport:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial q_c}{\partial z} \quad (14)$$

waarin:  $q_c$  = volume flux per eenheid van tijd door een eenheid van horizontaal oppervlak ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} = \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Voor stationaire omstandigheden is  $\partial \theta / \partial t = 0$ , zodat  $q_c$  is constant. Volgens Darcy kan voor  $q_c$  worden geschreven:

$$q_c = - K(\psi) \frac{d\phi}{dz}$$

$$\text{of } q_c = K(\psi) \left( \frac{d\psi}{dz} - 1 \right) \quad (\text{mm.dag}^{-1}) \quad (15)$$

waarin:  $\phi$  = hydraulische drukhoogte ( $\phi = -\psi + z$ ; cm)

$\psi$  = vochtspanning (cm)

$z$  = hoogte boven de grondwaterspiegel (cm)

$K(\psi)$  = onverzadigde doorlatendheid, ook wel capillair geleidingsvermogen genoemd ( $\text{mm.dag}^{-1}$ )

Verg. (15) is te schrijven als:

$$dz = \frac{K(\psi)}{K(\psi) + q_c} d\psi \quad (15a)$$

Indien  $K$  bekend is als functie van  $\psi$  dan is (15a) te integreren, zodat voor elke waarde van  $q_c$  de vochtspanningsverdeling boven de grondwaterspiegel bekend is. Met behulp van de vochtspanningscurven die het verband tussen  $\psi$  en  $\theta$  geven, kunnen de vochtspanningsprofielen worden omgezet in vochtgehalteprofielen. Uit de voorwaarde dat de zuigspanning op het grensvlak wortelzone-ondergrond gelijk moet zijn aan die in de wortelzone, kan voor iedere grens van een balansperiode worden uitgerekend welk dynamisch evenwicht er bestaat tussen de

vochtonttrekking uit de wortelzone en het vochtverlies uit de ondergrond.

Er wordt aangenomen dat de verdamping porentieel is indien de  $pF (= \log \Psi)$ -waarde in de wortelzone kleiner is dan 4.2 (verwelkingspunt). Een bepaald (stationair) vochtspanningsprofiel kan blijven bestaan totdat de grondwaterstand zover is gedaald dat in de wortelzone  $pF$  4.2 is bereikt. Daarna kan geen water meer uit de wortelzone worden onttrokken en treedt een reductie in verdamping op. De capillaire opstijging zal dan moeten afnemen en de werkelijke verdamping wordt dan bepaald door de grootst mogelijke capillaire opstijging.

Door nu voor verschillende waarden van de capillaire opstijging ( $q_c$ ) de vochtleveranties van het profiel te bepalen, kan bij een omschreven verdampingsbehoefte van het gewas volgens (9) worden berekend met welke capillaire stijgsnelheid de vochtleverantie zal plaatsvinden en waar de nieuwe grondwaterstand zich zal bevinden.

Als begintoestand in het voorjaar wordt aangenomen dat het vochtspanningsprofiel boven de grondwaterstand in evenwicht is: de zuigspanning is gelijk aan de hoogte boven de grondwaterspiegel.

De invoer van het computermodel bevat onder andere: de dikte van de wortelzone, de vochtspanningscurven van de wortelzone en de ondergrond, de onverzadigde doorlatendheid van de ondergrond, de begingrondwaterstand en per tijdstap de diepe grondwaterstand ( $\phi_2$ ) en het verdampingsoverschot ( $E - N$ ).

De uitvoer van het model omvat onder andere: de grondwaterstand, de vochtvoorraad in de wortelzone en in het totale profiel, de capillaire opstijging ( $q_{fr}$ ), de wegzijging ( $q_2$ ), de infiltratie ( $q_0$ ), de actuele verdamping en de  $pF$  in de wortelzone.

## 2. Test van het model

Het model is getest aan de gegevens verkregen met raai B, aangezien deze raai het meest representatief is voor het waterwingebied.

In fig. 3 zijn voor raai B de vochtspanningscurven voor de wortelzone en de ondergrond, en in fig. 4 de onverzadigde doorlatendheid in afhankelijkheid van de vochtspanning weergegeven.

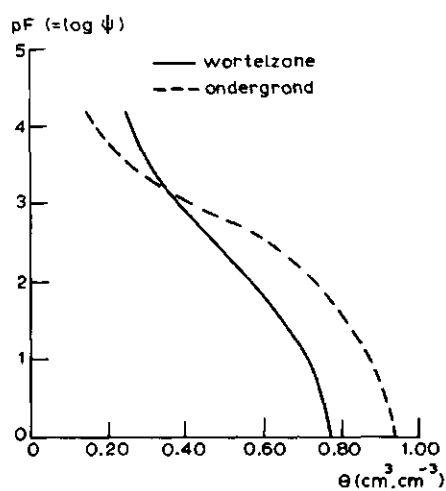


Fig. 3. De vocht karakteristieken van de wortelzone en de ondergrond voor raai B van het infiltratieproefveld

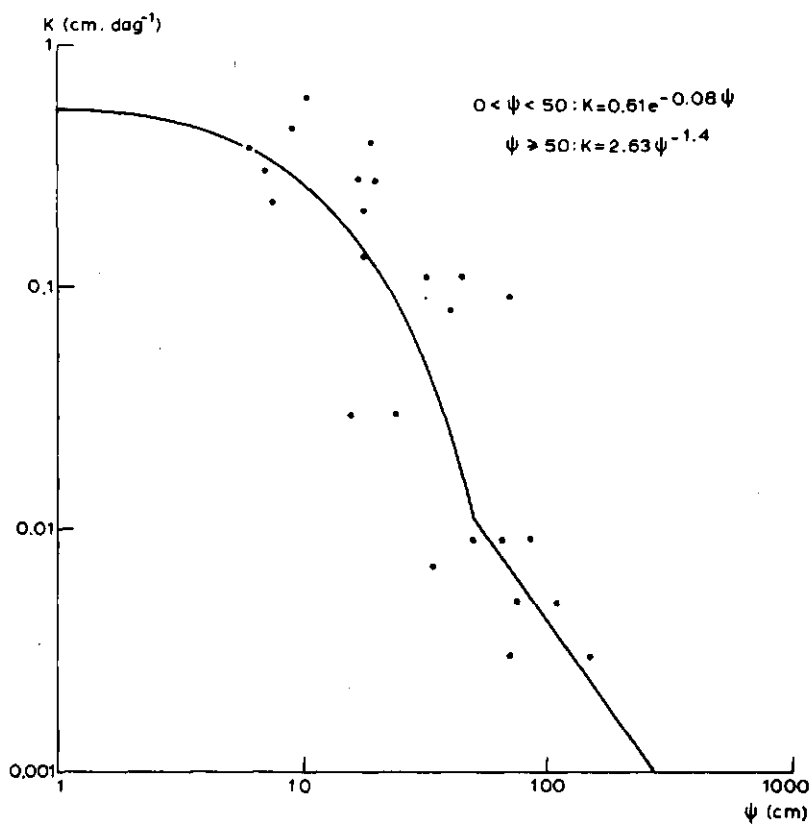


Fig. 4. De onverzadigde doorlatendheid (K) als functie van de vochtspanning ( $\psi$ ) voor raai B van het infiltratieproefveld



Toetsing van het model kon geschieden aan de hand van de volgende gemeten grootheden: de grondwaterstand, de infiltratie, de vochtspanning in de wortelzone en (als afgeleide grootheid) de wegzijging naar de ondergrond.

Voor het 'natte' jaar 1972 waren de met het model berekende resultaten niet goed in overeenstemming te brengen met die verkregen volgens de waterbalans. In dit jaar traden er regelmatig perioden met afwisselend (sterke) neerslag en verdamping op hetgeen onvoldoende door het stationaire model werd opgevangen.

Voor 1973 was er een redelijk goede overeenkomst tussen berekening en veldmeting. De beste aanpassing werd verkregen door de drainageweerstand met 15 % te verhogen en de verticale weerstand op zijn oorspronkelijke waarde te laten. De belangrijkste resultaten zijn weergegeven in fig. 5. Het blijkt dat het verloop van de berekende grondwaterstand wat regelmatig is dan dat van de gemeten, echter het absolute niveau bevindt zich op de goede diepte (fig. 5a).

De infiltratie ( $q_0$ ), berekend als de som van wegzijging ( $q_2$ ) en flux door het grondwateroppervlak ( $q_{fr}$ ) komt zeer goed overeen met de metingen volgens de waterbalans (fig. 5b). Echter de verdeling van  $q_0$  over  $q_2$  en  $q_{fr}$  bleek niet zo goed te zijn: de berekende  $q_2$  was 365 mm tegen een indirect 'gemeten' waarde van 295 mm. Daarbij moet worden bedacht dat de werkelijke  $q_{fr}$  en  $q_2$  niet direct zijn gemeten, maar afgeleid zijn uit respectievelijk verg. (2) en (3). Fouten die bijvoorbeeld gemaakt zijn in de bepaling van E en  $dM/dt$  zullen via (2) uiteindelijk tot uiting komen in  $q_{fr}$ . Dit geldt in enigszins andere mate wat betreft  $q_2$  voor  $h_p$  en  $\phi_2$ .

De simulatie van de vochtspanning in de wortelzone blijkt gedurende de eerste 12 weken van de meetperiode goed de werkelijkheid te benaderen (fig. 5c). Voor de laatste 8 weken blijkt de berekende pF wat te hoog te zijn. Een van de oorzaken van deze discrepantie kan zijn dat bij de berekening ervan wordt uitgegaan de de verdamping en neerslag regelmatig verdeeld zijn over een balansperiode, terwijl bij de vochtmeting eventuele neerslag, bijvoorbeeld vlak voor een meting, direct aanleiding geeft tot lagere vochtspanningen. Een andere oorzaak kan zijn, gezien de grote spreiding van de meetpunten in fig. 4, dat de werkelijke capillaire eigenschappen van de grond wat afwijken van

de in deze figuur weergegeven benaderende relaties.

De simulatie van bovengenoemde grootheden over het groeiseizoen 1974 gaf soortgelijke tendensen als voor 1973 te zien.

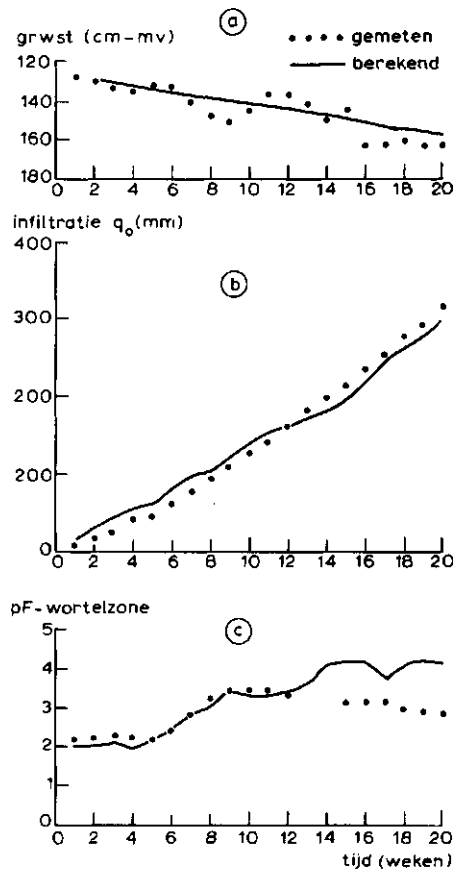


Fig. 5. Vergelijking tussen de met het model berekende grondwaterstand, infiltratie vanuit de sloot en de pF in de wortelzone met de in het veld gemeten waarden voor raai B van het infiltratieproefveld gedurende het groeiseizoen 1973

### 3. Grondwateronttrekking en verdamping

Via fig. 2 is de relatie tussen de opbrengst van het pompstation ( $Q$ ) en het stijghoogteverschil freatisch - diep water ( $h_p - \phi_2$ ) bekend. Daar  $q_2 = (h_p - \phi_2)/c$ , wil dit zeggen dat ook het verband ( $Q \rightarrow q_2$ ) bekend is.

Met het computerprogramma is het mogelijk om voor verschillende

wegzijingssnelheden ( $q_2$ ) de relatieve verdamping ( $E_{re}/E_{pot}$ ) te berekenen over het groeiseizoen (15 april-15 september). Door RIJTEMA (1971) is voor een aantal landbouwgewassen aangegeven het niveau van de droge stofopbrengst in afhankelijkheid van de relatieve verdamping. De relatie voor gras op veen bij een bemestingsniveau van  $300 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  is:

$$Y = 13,5 \left( \frac{E_{re}}{E_{pot}} \right)^2 \quad (\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (16)$$

Onder omstandigheden waarin  $E_{re} = E_{pot}$ , dus geen reductie in potentiële verdamping, is de maximale opbrengst  $Y = 13,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Samengevat, kan de invloed van de grondwateronttrekking ( $Q$ ) op het opbrengstniveau van gewassen ( $Y$ ) worden verkregen volgens de keten:

$$Q \rightarrow h_p - \phi_2 \rightarrow q_2 \rightarrow E_{act}/E_{pot} \rightarrow Y$$

Indien gedurende een groeiseizoen een constante onttrekking ( $Q$ ) wordt gehandhaafd, zal ook het potentiaalverschil ( $h_p - \phi_2$ ) en daarmee de wegzijging ( $q_2$ ) constant moeten zijn. Voeren we nu verschillende constante waarden voor ( $h_p - \phi_2$ ) in het programma in en bij diverse klimatologische jaren, dan kunnen we uiteindelijk een gemiddelde invloed van de onttrekking op de relatieve verdamping vaststellen. Om daarbij nog de invloed van de infiltratie vanuit de sloten te evalueren kunnen we de berekening uitvoeren voor een aantal verschillende slootpeilen.

In het programma is in verband met de invoer per tijdstip van het constante stijghoogteverschil ( $h_p - \phi_2$ ) in plaats van de stijghoogte  $\phi_2$  (zoals gedaan bij het testen aan de veldgegevens) een aanpassing van de betrekking tussen  $q_{fr}$  en  $h_p$  gebruikt. Stellen we in verg.(12)  $h_p - \phi_2 = Z$ , dan valt af te leiden dat:

$$h_p = -\alpha T q_{fr} - \frac{\alpha T}{c} Z + h_o \quad (12c)$$

$$\text{of } h_p = CO'_1 q_{fr} + CO'_2 Z + CO'_3 \quad (12d)$$

waarin  $CO'_1$ ,  $CO'_2$  en  $CO'_3$  bekende constanten zijn die afhangen van  $\alpha$ ,  $T$ ,  $c$  en  $h_o$ . Bij iedere (constante) waarde  $Z$  is het verband tussen  $h_p$  en  $q_{fr}$  te berekenen.

De grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen (15 april) wordt weer verkregen door een evenwichts-situatie te veronderstellen, dat wil zeggen  $q_{fr} = 0$ . Substitutie in (12d) levert:

$$h_p^{\text{begin}} = CO'_2 Z + CO'_3 \quad (12e)$$

Bij het in het model in te voeren verdampingsoverschot ( $E_{\text{pot}} - P$ ), wordt gewerkt met de kans op het optreden van een bepaald verdampingsoverschot in een zeker jaar. Deze kans is te berekenen door een statistische bewerking van neerslag- en verdampingsgegevens. Zo kunnen worden onderscheiden een 1 %, 10 %, 20 %, 50 % en 90 % droog jaar. In deze terminologie is een 1 % droog jaar dermate droog dat de neerslag slechts één keer in de 100 jaar wordt onderschreden. De grootte van de verdampingsoverschotten voor de verschillende droogtegevoelige jaren zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Verdampingsoverschotten vanaf 15 april over 10 aaneensluitende 15-daagse tijdvaklengten voor diverse droogtegevoelige jaren (afgeleid van RIJTEMA, 1971). De cijfers zijn ontleend aan het KNMI station te Winterswijk

Onderschrijdings- kans $n \times 100$ jaar	Tijdvak (lengte 15 dagen)										Totaal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
90	3	3	3	4	4	3	4	4	-4	-3	21
50	14	16	11	12	15	17	10	10	3	4	112
20	27	28	23	23	16	17	18	18	12	8	190
10	32	32	24	25	25	25	19	20	15	16	233
1	40	40	36	35	40	40	28	29	19	19	326

Het s l o o t p e i l ( $h_0$ ) in het waterbalansgebied wordt gehandhaafd op 74 cm-m.v. Om de invloed van variaties in het slootpeil op de reële verdamping na te kunnen gaan, zijn situaties doorgerekend met slootpeilen van 94, 74 en 34 cm-m.v.

De o n t t r e k k i n g s n i v e a u s ( $Q$ ) van het pompstation zijn gekozen overeenkomstig de in het model ingevoerde constante stijghoogteverschillen ( $h_p - \phi_2$ ): 0, 10, 30, 50 en 60 cm voor de slootpeilen 34 en 74 cm-m.v. en 0, 20, 40 en 60 cm voor het slootpeil 94 cm-m.v. Dit komt overeen met een variatie in  $Q$  van  $3,56 - 11,84 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$ . (Aangezien het gehele jaar door vrij gelijkmatig wordt gepompt, zijn de resultaten omgerekend op onttrekkingen op jaarbasis).

In fig. 6 is een overzicht gegeven van de relatieve verdamping in afhankelijkheid van de onttrekkingscapaciteit voor een aantal droogtegevoelige jaren bij 3 verschillende constante slootpeilen. (Hierbij moet inacht worden genomen dat de frequentieverdeling van de verdampingsoverschotten van de Groeve mogelijk iets anders zal kunnen liggen dan die van Winterswijk).

Het blijkt dat hoe hoger het slootpeil, des te gunstiger is de watervoorziening voor het gewas. Een slootpeil van 34 cm-m.v. is wanneer er niet zou worden gepompt, normalerwijze voor de praktijk niet haalbaar, aangezien de draagkracht van de graszode dan te klein wordt. Deze draagkracht is in het voorjaar bepalend voor het tijdstip van N-bemesting en het uitrijden van organische mest. Waar dit niet tijdig kan gebeuren treedt een verlating van de hergroei van het gras en van het begin van het weideseizoen op. Hierbij komt nog dat op natte gronden de grasgroei in het voorjaar trager zal zijn. In de zomer is de draagkracht van betekenis voor eventuele verliezen bij beweiding (vertrapping tijdens weideperiode) en ruwvoederwinning. In het najaar bepaalt de draagkracht tevens de lengte van het weideseizoen. Uit onderzoeken van VAN WIJK en FEDDES (1975) aan veengronden te Bleskensgraaf is gebleken dat voor een goede opbrengst van de 1e en 2e snede de gemiddelde grondwaterstand in winter en voorjaar zich tenminste tussen 50-60 cm-m.v. moet bevinden. Teneinde beweidings-

en ruwvoederwinningsverliezen te voorkomen zou de grondwaterstand in het voorjaar zich op ongeveer 80 cm-m.v. moeten bevinden.

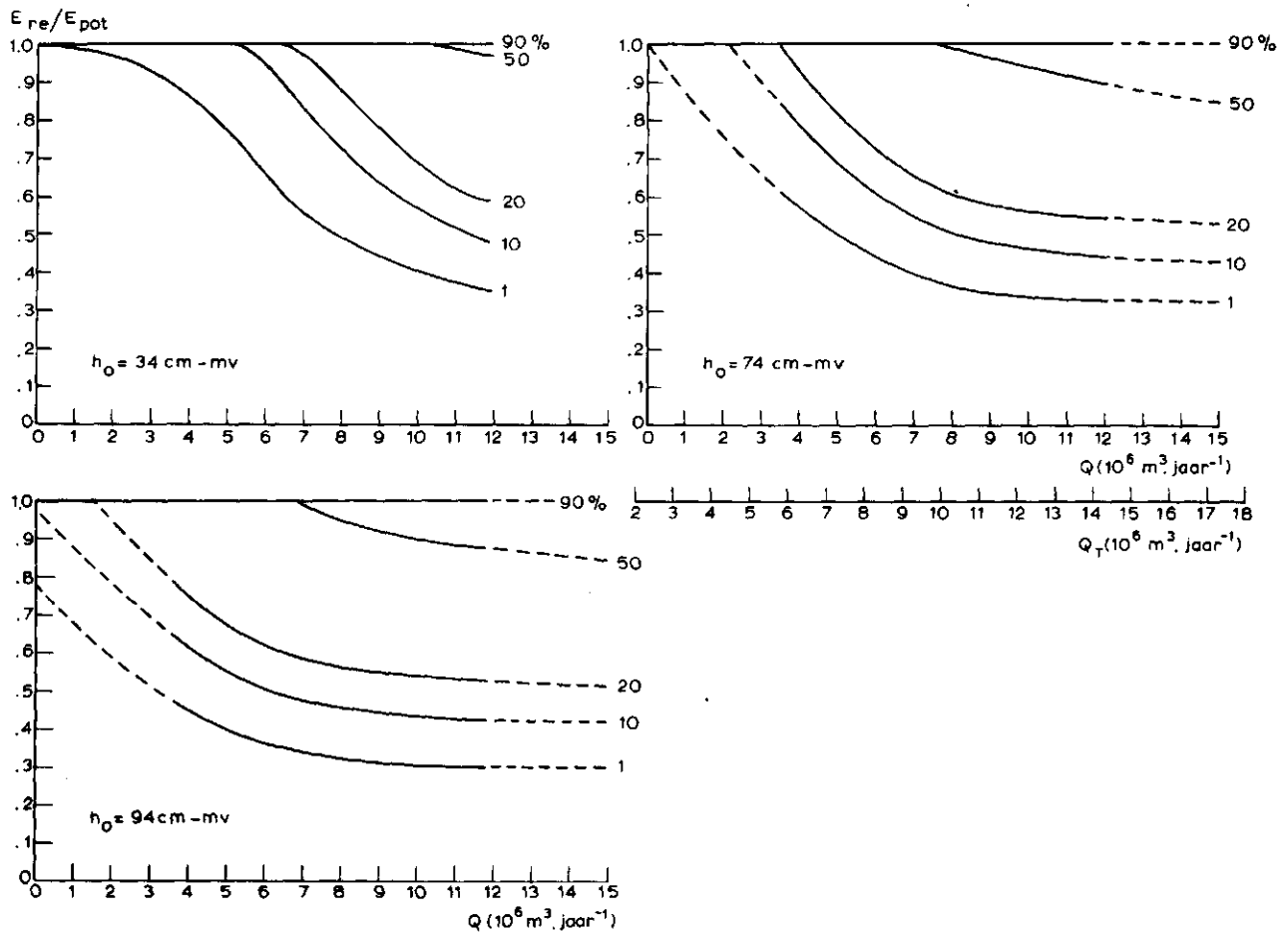


Fig. 6. Berekening van de relatieve verdamping ( $E_{re}/E_{pot}$ ) van grasland in raai B van het infiltratieproefveld voor een aantal droogtegevoelige jaren als functie van de grondwaterwinning ( $Q$ ) door het pompstation 'De Groeve' bij een 3-tal constante slootpeilen ( $h_0$ ). Voor het slootpeil  $h_0 = 74 \text{ cm-m.v.}$  is ook nog aangegeven wat het verband is wanneer het gehele waterwingebied dit slootpeil zou hebben ( $E_{re}/E_{pot} \rightarrow Q_T$ )

Indien we aannemen dat we dezelfde vormfactor van de grondwater-spiegel mogen gebruiken bij  $h_0 = 34 \text{ cm-m.v.}$  als bij  $h_0 = 74 \text{ cm-m.v.}$ , dan zien we dat  $h_p = 34 + 0,79(80-34) = 70 \text{ cm-m.v.}$  Dit wil zeggen

dat bij de huidige onttrekkingscapaciteit (en hoger) de voorjaarsgrondwaterstand al op de vereiste diepte wordt gebracht, wanneer het slootpeil op ca. 34-45 cm-m.v. worden gehandhaafd. Uit fig. 6 wordt verder duidelijk dat bij  $h_0 = 74$  cm-m.v. bij  $Q = 0$ , in alle droogtegevoelige jaren de potentiële verdamping kan worden gehaald. Bij  $h_0 = 94$  cm-m.v. is dit alleen het geval vanaf het 20 % droge jaar en natter (50 %, 90 %). Voor  $h_0 = 74$  cm en  $h_0 = 94$  cm maakt het voor de 1 %, 10 % en 20 % droge jaren weinig meer uit of er nu 10 of 15 miljoen  $m^3$  per jaar wordt gepompt. Het freatisch vlak zit dan al zo diep dat er praktisch geen bijdrage van de capillaire opstijging vanuit het grondwater te verwachten is. De infiltratie vanuit de sloot komt dan geheel ten goede aan de wegzijging naar de ondergrond.

Voor een globaler inzicht in de resultaten is, ten behoeve van de praktische toepasbaarheid, van elke pompcapaciteit een gemiddelde relatieve verdamping over alle frequentiejaren berekend. Dit gemiddelde wordt verkregen door per onttrekking de relatieve verdamping als functie van de droogtefrequentie uit te zetten. Een voorbeeld hiervan is gegeven in fig. 7. Met behulp van de trapeziumregel wordt nu het oppervlak van de curven in fig. 7 bepaald door de oppervlakten van de trapezia tussen de verschillende opeenvolgende frequentiejaren te sommeren. De gemiddelde hoogte is dan de relatieve verdamping gemiddeld over de frequentiejaren.

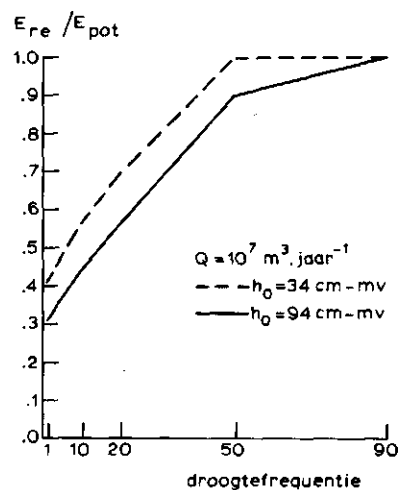


Fig. 7. Voorbeeld van de relatie tussen relatieve verdamping ( $E_{re}/E_{pot}$ ) en de droogtefrequentie voor grasland op raai B van het infiltratieproefveld bij een grondwaterwinning  $Q$  van  $10^7 \times 10^6 m^3$  .jaar<sup>-1</sup> voor een 2-tal constante slootpeilen ( $h_0$ )

Voorbeeld (fig. 7): relatieve verdamping bij een onttrekking van  $10^7 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$  en een slootpeil van 94 cm-m.v.:

$$\frac{1}{89} \left( 9 \frac{0,31+0,44}{2} + 10 \frac{0,44+0,55}{2} + 30 \frac{0,55+0,90}{2} + 40 \frac{0,90+1,00}{2} \right) = 0,76$$

Hieruit blijkt dat het gemiddelde over de frequentiejaren (0,76) lager ligt dan het resultaat voor het 50 % jaar (0,90), dat wil zeggende situatie die gemiddeld 1 maal per 2 jaar voorkomt.

De resultaten van deze bewerking zijn weergegeven in fig. 8. Deze figuur laat nu voor een gemiddeld frequentiejaar zien dat bij toenemende onttrekkingsintensiteit de relatieve verdamping eerst sterk, daarna nog maar langzaam afneemt. Over het traject  $Q = 10 - 15 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$  bedraagt deze afname ongeveer  $\left\{ \frac{0,78-0,73}{0,78} \right\} \times 100 = 6,5 \%$ , tegen 22 % over het traject  $Q = 0 - 10 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$ .

De resultaten zoals die zijn afgebeeld in de fig. 6 en 8 gelden strikt genomen voor raai B, waarbij in het wingebied alleen op het proefveld wordt geïnfiltreerd.

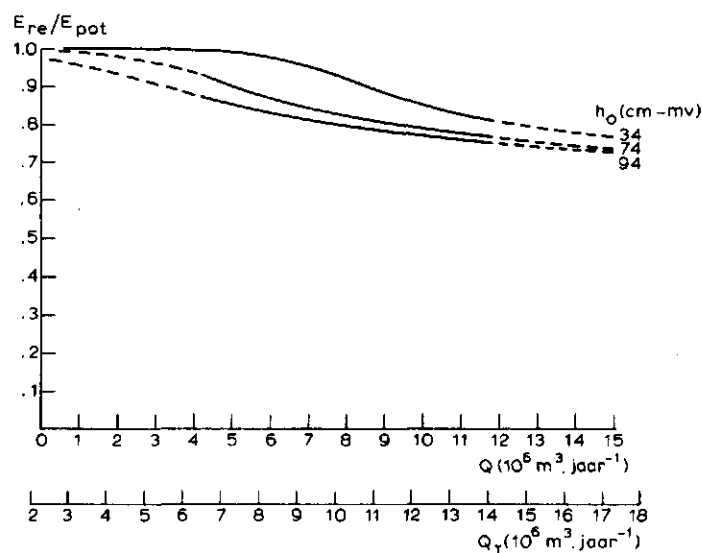


Fig. 8. Als fig. 6, maar nu gemiddeld over de verschillende frequentiejaren



Het ligt in de bedoeling om in de toekomst op grotere schaal te gaan infiltreren en een peilbeheersingsplan voor het gehele gebied op te stellen. In dat geval zal er een gunstiger  $Q - (h_p - \phi_2)$  relatie ontstaan zodat de reducties in  $E_{re}/E_{pot}$  dan geringer zullen zijn. Buiten het proefveld is door het waterschap een zomerpeil van 0,30 m-NAP aangehouden. Wordt in het gehele gebied nu een peil gelijk aan dat in het proefveld van 0,14 m-NAP aangebracht, dan wil dit zeggen dat het intercept van de  $Q \rightarrow (h_p - \phi_2)$  lijn met de horizontale as in fig. 8, met  $0,36 - 0,14 = 0,16$  m naar links moet verschuiven. De vergelijking voor de lijn wordt dan:

$$Q_T = 274 \{ (h_p - \phi_2) + 0,41 \} \quad (10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{week}^{-1}) \quad (8a)$$

Substitutie van (8) in (8a) levert, omgerekend op jaarbasis:

$$Q_T = Q + 2,3 \quad (10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}) \quad (17)$$

Dit wil zeggen dat de bedragen langs de horizontale as van fig. 8 met 2,3 miljoen  $\text{m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$  mogen worden verhoogd om de toekomstige situatie weer te geven (zie fig. 8, onderste as).

#### 4. B e g i n g r o n d w a t e r s t a n d e n d r a i n a g e - w e e r s t a n d

Voor de vochtleverantie aan het gewas door capillaire opstijging vanuit het grondwater is de hoogte van de voorjaarsgrondwaterstand van groot belang. Volgens (12c-e) hangt deze af van de vormfactor van de grondwaterspiegel ( $\alpha$ ), de drainageweerstand ( $T$ ), de verticale weerstand ( $c$ ), het stijghoogteverschil ( $h_p - \phi_2$ ) en de slotwaterstand ( $h_o$ ):

$$h_p^{\text{begin}} = \frac{-\alpha T}{c} (h_p - \phi_2) + h_o \quad (\text{cm} - \text{m.v.}) \quad (12e)$$

Wordt een slotwaterstand van 74 cm-m.v. in het gebied gerealiseerd, dan kan voor verschillende waarden van  $(h_p - \phi_2)$ , en dus van  $Q$ , bij verschillende  $T$  met behulp van verg. (12e) de begingrondwaterstand

$h_p^{\text{begin}}$  worden berekend. Het resultaat van deze berekening is weergegeven in fig. 9. Het blijkt dat bij toenemende grondwateronttrekking

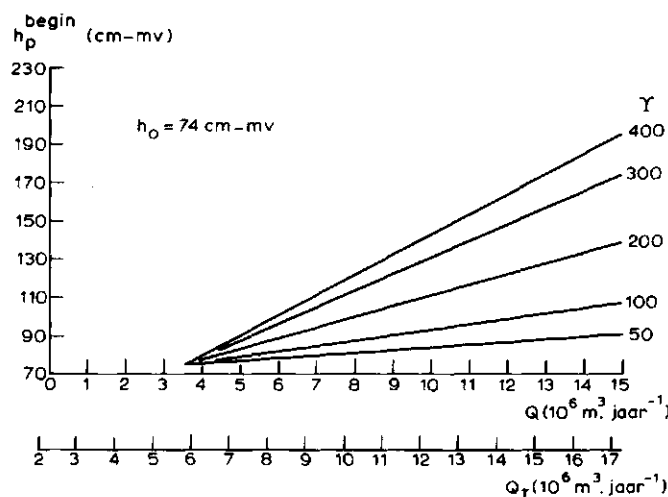


Fig. 9. Het verband tussen de grondwaterstand in het voorjaar ( $h_p^{\text{begin}}$ ) en de grondwaterwinning ( $Q$ ) bij een slootpeil ( $h_0$ ) van 74 cm-m.v. voor een aantal waarden van de drainageweerstand ( $T$ ) van de sloten. De tweede horizontale as ( $Q_T$ ) geeft de winning aan wanneer het slootpeil in het gehele waterwingebied op 74 cm-m.v. wordt gebracht

de voorjaarsgrondwaterstand bij een lage drainageweerstand langzaam afneemt, bij een hoge weerstand snel afneemt. Dit wil zeggen dat bij het toekomstige geplande slootpeil van 74 cm-m.v. en bij een drainageweerstand van 340 dagen onvoldoende water via capillaire opstijging aan de plant ter beschikking komt. Dit is nog eens geadstrueerd aan een voorbeeld (fig. 10) door met het computermodel voor een 50 % droogtegevoelig jaar bij een onttrekkingscapaciteit  $Q = 17 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$  de relatieve verdamping in afhankelijkheid van de drainageweerstand uit te rekenen. Uit fig. 10 volgt dat bij  $T$  is 100 à 150 dagen de verdamping begint te reduceren. Dus om watertekorten te voorkomen zou bijvoorbeeld de drainageweerstand van 340 tot ca. 150 dagen teruggebracht moeten worden. Daar

$$T = Lw + \frac{L^2}{8kD} \quad (\text{dagen}) \quad (18)$$

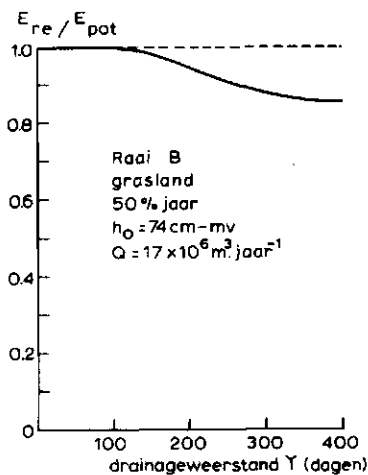


Fig. 10. Berekening van de relatieve verdamping ( $E_{re}/E_{pot}$ ) van grasland op raai B van het infiltratieproefveld voor een 50 % droog jaar bij een constant slootpeil van 74 cm-m.v. en een grondwaterwinning van  $17 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$  in afhankelijkheid van verschillende waarden van de drainageweerstand (T) van de sloten

waarin:  $w$  = radiale weerstand ( $\text{dag} \cdot \text{m}^{-1}$ )

$k$  = horizontale doorlatendheid van het verzadigde pakket ( $\text{m} \cdot \text{dag}^{-1}$ )

$D$  = gemiddelde dikte van de watervoerende laag (m)

$L$  = afstand tussen de infiltratiemiddelen (m)

kan in principe worden uitgerekend hoever de factor  $L$  teruggebracht moet worden. In de praktijk kan dit worden gedaan door buizendrainage tussen de sloten aan te leggen. Aannemende dat een dergelijk systeem een radiale weerstand van  $5 \text{ dagen} \cdot \text{m}^{-1}$  heeft (VAN SOMEREN, pers. meded.) dan volgt uit substitutie in (18) van  $kD = 5,6$  (zie nota 735) en  $T = 150$ , dat  $L \approx 27 \text{ m}$ .

Zoals eerder al is aangetoond kan men het probleem ook oplossen door de waterpeilen in de sloten verder te verhogen dan tot 74 cm-m.v. Het bleek dat bij de huidige onttrekking of meer de slootwaterstand zelfs tot ca. 35-45 cm-m.v. kan worden verhoogd zonder dat schade door wateroverlast optreedt. Overigens voorziet het peilbeheersingsplan er in dat boven de ontwerppeilen een verhoging van 0,20 m

door middel van een stuw mogelijk moet zijn. Dit zou bij een ontwerppeil van 74 cm-m.v. al een hoogste peil van 0,54 cm-m.v. betekenen.

#### IV. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In deze nota worden de resultaten van het waterbalansonderzoek van het 16 ha grote infiltratieproefveld 'De Groeve' over het tijdvak 1972-1975 besproken. De waterbalansen van twee raaien A en B verschaften een inzicht in de hydrologische constanten en de verdeling van de infiltratie over de wegzijging naar de ondergrond en de capillaire opstijging naar de plant.

Voor een overzicht van de voornaamste gemeten basisgegevens en de daaruit afgeleide grootheden zie tabel 1 en fig. 1. In tabel 2 is een overzicht gegeven van de voornaamste grootheden gemiddeld over de verschillende winter- en zomerseizoenen. Het blijkt dat in droge perioden en bij aanzienlijke grondwaterwinning een infiltratie tot  $+ 3 \text{ mm.dag}^{-1}$  mogelijk is. Verreweg het grootste gedeelte van het geïnfiltrerde water komt ten goeden aan de drinkwaterwinning, een relatief klein gedeelte aan de plant. Voor raai B varieerde deze laatste in de zomers van 1973 en 1974 van 0,3-0,5  $\text{mm.dag}^{-1}$ , hetgeen toch altijd nog een bijdrage in de verdamping levert van ca. 20 %. In de winterperioden zijn slechts gedurende relatief korte perioden afvoeren naar de sloten gemeten. Het grootste gedeelte van het neerslagoverschot blijkt naar de ondergrond te verdwijnen.

In fig. 2 is het verband aangegeven tussen de onttrekking van het pompstation en het stijghoogteverschil tussen het freatische en het diepe water. Daarbij is rekening gehouden met de kwel die in het waterwingebied optreedt.

Aan de hand van een rekenschema van Rijtema - de Laat is uitgerekend wat de consequenties zijn van diverse ingrepen in de waterhuishouding op de relatieve verdamping.

Daarbij is uitgegaan van de bodemfysische eigenschappen van raai B aangezien deze raai het meest representatief voor het waterwingebied mag worden geacht. De in het model gebruikte pF-curven staan afge-

beeld in fig. 3, de onverzadigde doorlatendheid in fig. 4. Het model is getest aan onder andere de gegevens verkregen in het groeiseizoen van 1973. Daarbij bleek de grondwaterstand, de pF in de wortelzone en de infiltratie redelijk te kunnen worden gesimuleerd. De berekening van de verdeling van de infiltratie over de wegzijging en de capillaire opstijging bleek echter minder goed te zijn. Aan de hand van statistisch bewerkte neerslag- en verdampingsgegevens werd de relatieve verdamping van grasland berekend bij verschillende niveaus van onttrekking bij een 3-tal constante slootpeilen voor een 1 %, 10 %, 20 %, 50 % en 90 % droog jaar (fig. 6). Een gemiddelde over alle frequentiejaren is weergegeven in fig. 8. De resultaten toonden aan dat tengevolge van de grondwaterwinning reducties in verdamping kunnen optreden. De omvang van deze reducties hangt af van het onttrekkingsniveau en de droogtegraad van het jaar. Hierbij moet worden bedacht dat bij een mogelijk gunstiger neerslagpatroon voor de Groeve dan voor de gebruikte gegevens van Winterswijk de resultaten lichtelijk gunstiger kunnen zijn. Indien behalve in het proefveld ook in het overige gebied het slootpeil tot 74 cm-m.v. wordt opgezet, dan wordt een gunstiger beeld verkregen. Bij hetzelfde drukhoogteverschil tussen freatisch en diep water mogen de bedragen voor de onttrekking dan met ca.  $2,3 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$  worden verhoogd (zie fig. 2, 6 en 8).

Hoe hoger de begingrondwaterstand is in het voorjaar, des te meer mag worden verwacht van de bijdrage aan de capillaire opstijging naar de plant. Door de hoge drainageweerstanden die de sloten in dit gebied bezitten kan dit worden bewerkstelligd door of de drainageweerstanden te verkleinen of de slootpeilen nog verder te verhogen. In het eerste geval kan dit gescheiden door tussen de sloten buizen-drainage aan te leggen op onderlinge afstanden van 25 à 30 m. In het tweede geval kan theoretisch worden gegaan tot slootpeilen van ca. 40 cm-m.v. zonder dat bij de huidige onttrekkingscapaciteit (of hoger) schade door een vermindering van de draagkracht van het grasland plaats vindt.

In de toekomst wanneer het peilbeheersingsplan is gerealiseerd zou het infiltratieproefveld als een referentie-object voor het gehele waterwingebied kunnen worden gebruikt en zouden de in deze nota beschreven uitkomsten nader kunnen worden getoetst.

## LITERATUUR

- FEDDES, R.A. en M.G. VAN STEENBERGEN, 1973. Infiltratieproefveld 'De Groeve'. Nota ICW 735.
- , S.P. NEUMAN and E. BRESLER, 1975. Finite element analysis of two-dimensional flow in soils considering water uptake by roots: II. Field applications. Soil Science Society of Am. Proc. 39, 2: 231-237.
- LAAT, P.J.M. DE, 1976. A pseudo steady-state solution of water movement in the unsaturated zone of the soil. J. of Hydrology 30: 19-27.
- RIJTEMA, P.E., 1971. Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade tengevolge van grondwateronttrekking. Nota ICW 587.
- en J. BON, 1974. Bepaling van de landbouwkundige gevolgen van grondwaterwinning met behulp van bodemkundige gegevens, toegepast op de waterwinning Losser. Reg. Studies ICW 7.
- RIJSBERGEN, D. VAN, 1972. Methoden ter berekening van de verlagingen van het freatisch vlak tengevolge van waterwinning. Med. RID 72-2.