

Massop

ALTERRA  
Wageningen Universiteit & Research centre  
Omgevingswetenschappen  
Centrum Water & Klimaat  
Team Integraal Waterbeheer

Nota 738

april 1973

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

Tielenwaard 1973

DE RESULTATEN VAN HET WATERBALANSONDERZOEK  
TE HOENKOOP

J. Pankow

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemid-  
delen, 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 zul-  
len de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onder-  
zoek nog niet is afgesloten.  
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut  
in aanmerking.

## INHOUD

	blz.
INLEIDING	1
BESCHIKBARE GEGEVENS	1
BEWERKING VAN DE MEETGEGEVENS	9
Berekening van de werkelijke verdamping	9
Bepaling vochtinhoud van het profiel en grondwaterstand	11
Berekening van afvoer en kwel	11
SAMENVATTING EN CONCLUSIES	16
LITERATUUR	18

## INLEIDING

Een volledige beschrijving van het ontwateringsobject te Hoenkoop is door SCHOTHORST (1969) gegeven. Het object werd in de eerste plaats opgezet in verband met het onderzoek naar de verbetering van de draagkracht van dit klei-op-veenpakket. Hoewel in eerste instantie werd verwacht, dat de diepere ontwatering van de percelen de vochtvoorziening van het gewas nadelig kunnen beïnvloeden, bleek uit het waterbalansonderzoek van twee objecten (PANKOW en RIJTEMA, 1970), dat tengevolge van kwel een behoorlijke aanvullende watervoorziening optrad. Bovendien was tengevolge van de natte omstandigheden in de zomer van 1968 geen sterke uitdroging van het profiel opgetreden.

Het meetprogramma werd in de jaren 1969 en 1970 op alle proefobjecten voortgezet. In beide jaren kwamen perioden voor waarin reducties in verdamping voorkwamen. Het onderzoek kon zich daarom in beide jaren richten op de invloed van de ontwateringsdiepte op de vochtvoorziening van het gewas. Tevens werden de gegevens gebruikt voor een verdere analyse van de hydrologische omstandigheden in het proefgebied.

## BESCHIKBARE GEGEVENS

Bij de analyse van de gegevens van 1968 bleek de wenselijkheid om zoveel mogelijk gegevens en metingen op het proefobject zelf te bepalen en te meten. Daarom werden er in 1969 en 1970 meer metingen ter plaatse verricht dan in 1968. De volgende metingen zijn voor dit onderzoek ter plaatse verricht, buiten de metingen van andere onderzoekers die op hetzelfde object onderzoek hebben verricht.

1. Grondwaterstanden en slootpeilen;
2. Neerslag;
3. Gewashoogten;
4. Vochtgehaltebepalingen met behulp van de Gamma transmissiemethode.

De gemeten gegevens zullen in de volgende punten achtereenvolgens worden besproken.

#### 1. Grondwaterstanden en slootpeilen

Deze metingen werden op elk object na de vochtmetingen ter plaatse verricht. De grondwaterstandbuizen stonden bij de gamma meetopstellingen, terwijl tevens in de directe omgeving een zelf-registrerende grondwaterstandmeter (Hydrograaf) was opgesteld. Deze hydrograaf werd wekelijks twee maal geijkt voor het bepalen van de absolute diepte van de grondwaterstand onder maaiveld. Het bijstellen van de schrijver gebeurde bij het opzetten van een nieuwe strook en tevens op de meetdag.

De slootpeilen werden afgelezen van N. A. P. schalen die in de sloten stonden opgesteld. Het verloop van de slootpeilen tegen de tijd is weergegeven in figuur 1. Hoewel met uitzondering van de objecten C en D werd gestreefd naar een constant slootpeil, blijkt toch nog enige variatie in het slootpeil op te treden. De objecten C en D hadden een diep winterpeil en een hoog zomerpeil.

Voor de bepaling van de gemiddelde grondwaterstand gedurende de balansperiode werden de gemeten grondwaterstanden van de hydrograaf gebruikt. Om een indruk te verkrijgen van de nauwkeurigheid van de hydrograaf werden in figuur 2 verbanden gezocht tussen de hydrograaf en een grondwaterstandbuis in de nabijheid.

Op een enkele uitschieter na mogen we wel concluderen dat de metingen van de hydrograaf te gebruiken zijn.

Op de verticale as is de standbuis aangegeven welke 10 meter uit de sloot staat, terwijl de hydrograaf ongeveer 15 meter uit de sloot is gelegen. Correcties op de grondwaterstanden zijn dan ook niet uitgevoerd.

## 2. Neerslaggegevens

Aangezien in 1968 geen neerslag ter plaatse werd gemeten, waardoor bij de analyse van de gegevens moeilijkheden ontstonden, werd er in 1969 besloten deze gegevens op het proefobject zelf te meten. Er werd een zelfregistrerende regenmeter (Pluviograaf) geplaatst om tevens de intensiteit van de neerslag na te gaan en een normale regenmeter die eenmaal aan het einde van de balansperiode werd opgenomen.

De sommatie van de zelfregistrerende regenmeter gaf ten opzichte van de normale regenmeter geen grote verschillen.

Met de gemeten neerslagen van het proefobject te Hoenkoop konden nu ook de correlatiecoëfficiënten worden berekend tussen Hoenkoop en de gebruikte neerslag van het neerslagstation te Benschop.

Tabel 1a en 1b geven de neerslagen per balansperiode van de omliggende meetstations ten opzichte van Hoenkoop.

Tabel 1a. De hoeveelheid neerslag in mm per balansperiode op een aantal waarnemingsstations, in de omgeving van het proefobject te Hoenkoop in 1969

Balansperiode	Benschop	Zegveld	Boskoop	Vleuten	Gouda	Groot Ammers	Hoenkoop
1/5- 7/5	38,9	33,2	28,0	26,8	16,5	24,1	20,3
7/5-14/5	10,6	11,5	11,9	10,7	11,3	9,8	7,2
14/5-23/5	41,6	39,0	38,7	39,6	36,8	45,3	39,2
23/5-29/5	6,2	5,7	5,4	5,8	6,3	8,9	7,5
29/5- 2/6	6,0	1,8	3,6	5,6	2,6	0,7	1,5
2/6-11/6	35,1	42,4	31,4	44,8	48,7	51,5	34,0
11/6-18/6	1,4	1,7	1,0	2,2	1,9	1,6	2,3
18/6-25/6	5,9	2,2	5,3	4,4	4,4	5,5	2,1
25/6- 2/7	1,8	2,7	3,2	3,3	2,2	3,1	1,5
2/7- 9/7	22,1	33,9	21,3	39,5	28,8	20,1	48,7
9/7-16/7	11,5	13,4	8,8	12,6	9,2	13,5	7,4
16/7-23/7	0	0,3	0	0,4	0	0	0,1
23/7-30/7	1,9	1,4	0,8	0	1,2	5,5	0,1
30/7-13/8	26,4	21,0	16,1	18,5	37,5	18,3	20,9
13/8-20/8	27,7	39,3	21,2	27,2	38,3	24,5	12,1
20/8-27/8	85,5	66,6	65,1	78,4	70,6	80,4	81,0
27/8- 4/9	19,0	14,3	29,4	20,1	31,3	23,1	14,5
4/9-10/9	0,1	0,3	0	0,3	0	0	0,3
10/9-17/9	0,2	0,4	0,8	0,3	0,9	0,9	0
17/9-24/9	9,2	27,1	9,1	19,0	8,7	7,1	20,3
24/9- 1/10	8,1	8,7	7,4	5,8	9,5	4,4	7,5
1/10- 8/10	3,8	3,8	3,9	3,6	4,3	1,2	2,4
8/10-15/10	0,4	1,4	0,7	0,7	0,4	0	0,6
15/10-22/10	1,4	3,7	4,1	2,5	3,4	0,5	3,8
22/10-29/10	5,5	8,9	8,9	7,8	6,8	3,7	6,6
29/10- 4/11	1,5	1,3	2,8	2,0	2,1	3,1	3,0
4/11-12/11	54,6	56,6	53,6	48,7	50,0	44,6	49,5
12/11-19/11	17,4	40,1	40,9	25,4	24,3	15,0	17,0
19/11-25/11	7,7	8,9	9,5	8,4	9,6	5,9	6,0
25/11- 2/12	14,4	17,3	20,4	13,1	21,5	23,6	17,5
2/12- 9/12	4,8	8,7	9,7	9,3	6,8	8,6	2,7

Tabel 1b. De hoeveelheid neerslag in mm per balansperiode op een aantal waarnemingsstations in de omgeving van het proef-object te Hoenkoop in 1970

Balansperiode	Benschop	Zegveld	Boskoop	Vleuten	Gouda	Groot Ammers	Hoenkoop
12/5 -19/5	13,0	5,6	11,6	4,8	11,4	6,8	12,0
19/5 -26/5	4,4	4,6	7,0	4,5	5,1	2,4	4,5
26/5 - 2/6	5,4	1,2	0,3	7,1	1,3	1,4	0,5
2/6 - 9/6	0	0	0	0	0	0	0
9/6 -16/6	0	3,4	0,3	0	1,4	0	0
16/6 -23/6	2,1	0	0	0,1	0	0	0
23/6 -30/6	40,5	30,4	22,8	40,1	23,7	31,2	38,0
30/6 - 7/7	42,3	18,0	28,1	23,0	25,6	29,9	23,1
7/7 -14/7	9,3	16,0	21,7	11,2	15,8	13,8	14,5
14/7 -21/7	44,1	44,5	51,6	46,7	51,6	42,9	38,0
21/8 -28/7	16,1	19,8	17,4	15,1	16,5	19,7	15,3
28/7 - 4/8	10,9	9,8	18,2	14,1	16,7	2,4	7,0
4/8 -11/8	11,6	35,3	19,2	25,2	17,3	17,5	14,2
11/8 -18/8	2,5	2,8	2,0	2,1	4,0	0,9	1,9
18/8 -25/8	5,8	7,0	6,1	1,8	5,6	18,3	1,8
25/8 - 1/9	0	0,6	0,1	0,2	0,4	0,3	0
1/9 - 8/9	4,2	1,0	2,0	1,9	3,4	2,6	14,6
8/9 -15/9	38,3	23,2	33,8	36,8	28,1	29,2	25,0
15/9 -22/9	33,2	47,6	46,7	49,7	27,8	32,8	35,5
22/9 -29/9	0	0,1	0	0	0	0	0
29/9 - 6/10	35,7	50,2	47,5	52,0	51,3	45,0	36,7
6/10-13/10	2,7	2,7	1,2	1,7	0,9	4,0	1,5
13/10-20/10	17,8	17,1	20,9	16,0	19,9	17,6	22,0
20/10-27/10	29,8	32,3	42,2	30,0	30,6	28,9	18,5
27/10- 3/11	55,6	61,8	57,9	54,4	49,5	53,4	51,3
3/11-17/11	26,5	45,3	51,1	39,7	43,9	31,6	28,5
17/11-24/11	20,3	25,1	21,3	23,2	22,2	15,0	18,5
24/11- 8/12	46,2	51,3	48,6	47,6	48,6	42,5	37,3
8/12-15/12	0,4	0,7	0,6	0,5	0,5	0	0,7
15/12-22/12	3,5	5,1	4,0	4,0	1,6	2,5	4,6

De correlatiecoëfficiënt tussen Hoenkoop en het in 1968 gebruikte station Benschop bedroeg in 1969 0,927 en in 1970 0,948. Hoewel de correlatiecoëfficiënten hoog zijn blijkt uit de gegevens van de afzonderlijke balansperioden, dat de afwijkingen tussen de gegevens van de beide neerslagstations groot kunnen zijn. Dit wijst er op, dat hoewel de neerslag te Hoenkoop werd gemeten, er een zekere variatie in neerslaghoeveelheid voor de verschillende proef-objekten mogelijk aanwezig is.

### 3. Vochtgehaltemetingen met behulp van de gamma transmissie methode

De dichtheidsmetingen en vochtmetingen werden uitgevoerd volgens de gamma transmissie methode. Een uitvoerige beschrijving

van de apparatuur en meettechniek wordt gegeven door RIJHINER en PANKOW (1969). De gemeten waarden van het nat volumegewicht werden gecorrigeerd op niet evenwijdigheid van de meetbuizen volgens de door PANKOW (1973) beschreven methode. De vochtmetingen werden zoveel mogelijk eenmaal per week uitgevoerd tot een diepte van 130 cm onder maaiveld met meetintervallen van 10 cm.

Aangezien het grondwater niet beneden 100 cm - mv is gedaald werden de metingen beneden deze diepte gebruikt als standaardmetingen. Door deze standaardmetingen konden de dagelijkse systematische meetfouten tengevolge van spanningsverschillen in de apparatuur per meetserie worden gecorrigeerd. Bij deze correctiemetingen is er van uitgegaan dat het volumegewicht van de grond onder de grondwaterspiegel constant was met de tijd.

#### 4. Potentiële verdamping

De waarden van de potentiële verdamping voor de verschillende proefobjecten werden berekend volgens de gecombineerde energie-balans-damptransportmethode, zoals deze door RIJTEMA (1965) is gegeven. Bij de berekeningen is uitgegaan van de formule

$$E_{\text{pot}} = \frac{\Delta H_{\text{nt}}/L + \gamma \left[ f(z_o, d)_u^{0,75} \left\{ (e_a - e_a) + R_c^1 E_I \right\} \right]}{\Delta + \gamma \left\{ 1 + f(z_o, d)_u^{0,75} R_c^1 \right\}} \quad (1)$$

Hierin is:

- $E_{\text{pot}}$  = de potentiële gewasverdamping in mm/dag
- $H_{\text{nt}}/L$  = de netto straling in mm/dag
- $\Delta$  = de helling van de temperatuur-dampspanningscurve in mm Hg/°C
- $\gamma$  = de psychrometerconstante in mm Hg/°C
- $f(z_o, d)_u^{0,75}$  = damptransportcoëfficiënt in mm/(dag mm Hg)
- $e_a - e_a$  = dampspanningsdeficiet in mm/Hg
- $E_I$  = verdamping interceptie regenwater in mm/dag
- $R_c^1$  = stralingsintensiteitsafhankelijke oppervlakteweerstand in mm Hg dag/mm

De voor de berekeningen benodigde meteorologische basisgegevens werden ontleend aan de maandoverzichten van het KNMI voor

het station De Bilt. De op 6 m hoogte gemeten waarden van de windsnelheid werden met behulp van eenreductieformule uitgerekend voor 2 m standaardhoogte.

Voor de bepaling van de waarde  $f(z_0, d)$  werd een keer per week op alle objecten de gewashoogte gemeten. De metingen werden zowel binnen als buiten de graskooien verricht. De gemiddelde gewashoogte per balansperiode werd bepaald met behulp van uit de meetgegevens afgeleide groeicurven met de tijd.

De gemiddelde waarden van de meteorologische gegevens per balansperiode zijn vermeld in tabel 2a en 2b.

Tabel 2a. Waarden basis meteorologische gegevens gedurende de balansperiode 1969

Balansperiode	Relatieve zonnenschijnduur n/N	Temperatuur $t^{\circ}\text{C}$	Relatieve vochtigheid R. V.	Windsnelheid op 2 m U 200 m/sec.
25/4 - 7/5	0,43	11,1	0,79	2,6
1/5 - 7/5	0,30	12,7	0,81	2,5
7/5 - 14/5	0,36	15,0	0,79	2,5
14/5 - 23/5	0,31	9,9	0,78	3,2
23/5 - 29/5	0,42	14,9	0,70	2,6
29/5 - 2/6	0,26	12,1	0,80	2,1
2/6 - 11/6	0,60	13,8	0,70	4,1
11/6 - 18/6	0,49	18,2	0,73	2,3
18/6 - 25/6	0,29	15,2	0,77	2,5
25/6 - 2/7	0,42	15,8	0,73	2,0
2/7 - 9/7	0,27	14,8	0,81	2,2
9/7 - 16/7	0,41	17,3	0,78	2,1
16/7 - 23/7	0,45	19,1	0,77	2,3
23/7 - 30/7	0,35	21,3	0,76	2,7
30/7 - 13/8	0,59	20,7	0,68	2,3
13/8 - 20/8	0,20	17,6	0,84	2,1
20/8 - 27/8	0,22	13,3	0,86	2,9
27/8 - 4/9	0,32	14,9	0,81	2,2
4/9 - 10/9	0,52	15,5	0,83	2,3
10/9 - 17/9	0,39	18,3	0,82	1,7
17/9 - 24/9	0,60	13,2	0,77	2,7
24/9 - 1/10	0,47	11,4	0,74	2,5
1/10 - 8/10	0,32	14,4	0,86	1,9
8/10 - 15/10	0,47	12,5	0,89	1,7
15/10 - 22/10	0,51	12,3	0,88	1,1
22/10 - 29/10	0,22	12,5	0,86	2,5
29/10 - 4/11	0,05	11,6	0,80	4,9
4/11 - 12/11	0,18	7,3	0,83	4,8
12/11 - 19/11	0,08	6,5	0,83	4,6
19/11 - 25/11	0,18	5,8	0,88	2,6



Tabel 2b. Waarden basis meteorologische gegevens gedurende de balansperiode 1970

Balans- periode	Relatieve zonneshijn- duur n/N	Tempe- ratuur T ° C	Relatieve vochtigheid R. V.	Windsnel- heid op 2 m U 200 m/sec
12/5 - 19/5	0,37	13,3	0,80	2,5
19/5 - 26/5	0,40	11,6	0,73	2,7
26/5 - 2/6	0,44	12,5	0,75	2,3
2/6 - 9/6	0,70	19,2	0,59	3,2
9/6 - 16/6	0,61	16,3	0,69	2,3
16/6 - 23/6	0,54	19,7	0,61	2,6
23/6 - 30/6	0,29	16,5	0,78	2,6
30/6 - 7/7	0,25	16,0	0,80	3,0
7/7 - 14/7	0,47	17,1	0,79	2,8
14/7 - 21/7	0,17	13,3	0,83	2,8
21/7 - 28/7	0,25	15,9	0,79	3,2
28/7 - 4/8	0,64	19,2	0,77	1,9
4/8 - 11/8	0,28	17,6	0,85	2,2
11/8 - 18/8	0,49	15,4	0,77	2,5
18/8 - 25/8	0,38	16,0	0,81	2,2
25/8 - 1/9	0,73	16,4	0,74	2,1
1/9 - 8/9	0,30	15,2	0,78	3,1
8/9 - 15/9	0,17	14,2	0,83	4,1
15/9 - 22/9	0,53	14,0	0,84	2,0
22/9 - 29/9	0,56	14,1	0,79	1,5
29/9 - 6/10	0,13	12,4	0,85	3,9
6/10 - 13/10	0,34	12,0	0,90	1,7
13/10 - 20/10	0,39	8,6	0,85	2,5
20/10 - 27/10	0,24	9,4	0,84	3,1

De verdampingsberekeningen werden zowel voor de gewasontwikkeling binnen als buiten de graskooien uitgevoerd, om eventuele systematische invloed van verschillen in gewasontwikkeling te kunnen aantonen. Bij deze berekeningen konden geen systematische verschillen in verdamping binnen en buiten de kooien voor de verschillende objecten worden aangetoond. De tabellen 3a en 3b geven de waarden van de potentiële verdamping voor de verschillende objecten. Tevens is in deze tabellen de berekende verdamping van een vrij wateroppervlakte ( $E_0$ ) volgens Penman opgenomen.

Tabel 3a. De berekende verdamping van het gewas 1969  
 $E_{pot}$  volgens Rijtema en de berekende open waterverdamping  $E_o$  volgens Penman

Balansperiode	$E_o$	A $E_{pot}$	B $E_{pot}$	C $E_{pot}$	D $E_{pot}$	E $E_{pot}$
1/5 - 7/5	18,4	18,0	15,0	18,0	18,0	18,2
7/5 - 14/5	22,2	28,6	25,0	30,0	27,6	30,2
14/5 - 23/5	25,4	25,7	21,8	23,7	24,5	24,5
23/5 - 29/5	22,9	29,6	25,6	28,7	30,7	31,5
29/5 - 2/6	11,5	10,4	9,1	10,5	10,6	10,2
2/6 - 11/6	42,3	59,0	65,5	62,3	58,6	58,1
11/6 - 18/6	31,5	32,2	36,8	36,8	36,1	34,6
18/6 - 25/6	24,2	22,9	22,2	25,1	25,3	24,8
25/6 - 2/7	27,3	31,1	33,3	33,5	34,2	32,1
2/7 - 9/7	22,2	22,1	20,7	23,2	23,1	22,3
9/7 - 16/7	26,4	28,7	28,1	31,2	31,2	28,8
16/7 - 23/7	28,4	28,5	28,8	29,4	29,3	27,3
23/7 - 30/7	27,7	30,2	31,7	33,3	32,2	30,9
30/7 - 13/8	61,6	76,4	82,6	86,0	77,4	81,9
13/8 - 20/8	17,2	14,7	14,8	14,9	14,4	14,6
20/8 - 27/8	14,6	14,8	14,8	14,8	14,2	14,6
27/8 - 4/9	17,9	15,7	15,6	16,6	15,4	16,6
4/9 - 10/9	13,7	14,7	15,5	16,0	13,8	15,5
10/9 - 17/9	14,5	13,1	12,5	13,8	13,2	14,1
17/9 - 24/9	13,4	19,5	17,8	21,6	19,1	22,6
24/9 - 1/10	10,7	13,3	12,0	13,7	12,5	14,2
1/10 - 8/10	7,9	5,7	5,6	5,8	5,5	5,9
8/10 - 15/10	5,6	3,8	3,7	3,9	3,4	3,9
15/10 - 22/10	3,5	2,9	3,1	3,2	2,7	3,1
22/10 - 29/10	4,5	4,7	4,6	4,8	4,5	4,7
29/10 - 4/11	7,0	4,6	3,8	4,0	3,9	3,5
4/11 - 12/11	5,5	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
12/11 - 19/11	4,6	6,2	6,1	6,1	6,0	6,2

Tabel 3b. Idem voor 1970

Balansperiode	E <sub>o</sub>	A E <sub>pot</sub>	B E <sub>pot</sub>	C E <sub>pot</sub>	D E <sub>pot</sub>	E E <sub>pot</sub>
12/5 - 19/5	24,5	25,1	25,5	26,1	22,0	21,7
19/5 - 26/5	23,5	28,5	27,9	30,3	29,1	29,1
26/5 - 2/6	24,1	28,6	27,8	30,4	28,9	28,9
2/6 - 9/6	41,2	60,8	60,8	64,7	50,9	63,2
9/6 - 16/6	32,4	32,0	33,0	33,3	33,2	33,2
16/6 - 23/6	36,4	42,8	44,0	44,2	42,8	45,4
23/6 - 30/6	24,9	24,4	25,5	25,2	24,6	23,5
30/6 - 7/7	23,4	21,4	23,1	22,5	21,8	20,0
7/7 - 21/7	47,0	43,3	44,2	44,4	43,1	44,2
21/7 - 28/7	22,1	19,7	20,3	20,2	19,7	19,7
28/7 - 4/8	30,0	32,8	32,8	32,1	32,1	32,8
4/8 - 11/8	19,7	15,7	15,9	15,7	15,3	15,6
11/8 - 18/8	22,2	25,3	25,2	22,9	24,4	25,8
18/8 - 25/8	18,6	18,0	18,2	18,2	18,1	18,5
25/8 - 1/9	22,5	26,7	28,4	28,4	27,2	27,6
1/9 - 8/9	16,4	14,3	14,2	13,9	13,4	13,9
8/9 - 15/9	13,7	12,0	11,9	11,8	11,3	11,8
15/9 - 22/9	12,0	11,8	11,8	11,5	10,9	11,7
22/9 - 29/9	10,4	11,1	11,0	10,5	10,2	11,0
29/9 - 6/10	9,1	10,2	10,1	9,9	9,8	10,1
6/10 - 13/10	5,4	3,8	3,5	3,6	3,6	3,7
13/10 - 27/10	9,4	11,6	11,5	11,2	10,6	11,5

## BEWERKING VAN DE MEETGEGEVENS

### Berekening van de werkelijke verdamping

Voor de bepaling van de werkelijke verdamping van het gewas werd gebruik gemaakt van de diffusieweerstand van het gewas. Hierbij werd de diffusieweerstand berekend volgens de door RIJTEMA (1965) gegeven vergelijking

$$R_c^{\psi} = f ( E_T^{\text{pot}} ( R_{pl} + b/k ) + \psi ) \quad (2)$$

Bij de berekeningen werd gebruik gemaakt van de door RIJTEMA bepaalde waarden van  $R_{pl}$  en  $b$ , respectievelijk  $1042 \text{ cm dag mm}^{-1}$  en  $0,47 \text{ cm}$ . Tevens werd aangenomen dat het door Rijtema voor gras gevonden verband tussen  $R_c^{\psi}$  en de functiewaarde kon worden gebruikt.

Voor het capillair geleidingsvermogen  $k$  werd tevens gebruik gemaakt van het door Rijtema gevonden verband tussen  $k$  en  $\psi$ . De waarde van de vochtspanning  $\psi$  in de balansperioden werd bepaald met behulp van de vocht karakteristiek en de resultaten van de gammametingen in de wortelzone van het gewas. Slechts gedurende enkele balansperioden kon een reductie in de verdamping worden aangetoond. In tabel 4 is een overzicht gegeven van de potentiële verdamping, de totale reductie in verdamping en de werkelijke verdamping gedurende het groeiseizoen.

Tabel 4. Potentiële verdamping, verdampingstekort en werkelijke verdamping gedurende het groeiseizoen

Jaar	Periode lengte (dagen)	Object	Potentiële verdamping (mm)	Verdampings- tekort (mm)	Werkelijke verdamping (mm)
1969	201	A	569	14	555
		B	562	20	452
		C	602	17	585
		D	579	30	549
		E	587	45	542
1970	169	A	520	32	488
		B	525	52	472
		C	530	34	496
		D	503	69	434
		E	524	37	487

Het is opvallend dat het D-object in 1970 een sterke mate van droogteschade vertoont. Dit komt zowel tot uiting in de lage waarde van de berekende potentiële verdamping, tengevolge van de vertraagde groei van het gras als in het berekende verdampingstekort.

De overige objecten vertonen onderling weinig verschillen. Het B-object geeft in 1970 een iets hoger verdampingstekort. De resultaten wijzen er op, dat onder droge omstandigheden, de diepste ontwatering een wat grotere droogtegevoeligheid geeft.

## Bepaling vochtinhoud van het profiel en grondwaterstand

Voor een nadere controle van de meetgegevens zijn in fig. 3 de berekende waarden van N-E tegen de tijd uitgezet. In dezelfde figuur is ook de gesommeerde vochtonttrekking uit het profiel en de grondwaterstand op de meetdagen van de gammametingen weergegeven. In het algemeen blijkt tussen de drie grootheden een overeenkomstig verloop te zijn. In fig. 4 is de totale vochtonttrekking uit het profiel op de meetdagen weergegeven ten opzichte van de grondwaterstand. De getrokken lijnen geven het verband weer tussen de grondwaterstand en het vochtverlies uit het profiel voor perioden met weinig of geen neerslag en een uitdrogend profiel. Vooral in perioden met neerslag en een droogprofiel treedt een sterke spreiding in de gegevens op. De reden moet vooral worden gezocht in de langzame herbevochtiging van het kleidek, zoals dit bleek op grond van de gammametingen. Door scheurvorming na uitdroging van het kleidek, vindt er een snelle aanvoer van overtollige neerslag naar het veenpakket plaats, waardoor de relatie tussen vochtonttrekking en grondwaterstand wordt doorbroken.

Aan de andere kant heeft ook de onttrekkingssnelheid een invloed op de gevonden relatie. Bij lage onttrekkingssnelheden zal bij eenzelfde grondwaterstand minder water aan het profiel zijn onttrokken dan bij hoge onttrekkingssnelheden. Vooral de gegevens van september-oktober 1969 in fig. 3 geven een aanwijzing in deze richting. Gedurende deze periode is het verdampingsoverschot betrekkelijk gering, terwijl het grondwater bij een betrekkelijk gering vochtverlies ten opzichte van de voorafgaande natte periode, toch een relatief diepe stand heeft.

De in fig. 4 aangetoonde spreiding tengevolge van de langzame herbevochtiging heeft als consequentie, dat bij een regenrijke periode na uitdroging van het profiel een deel van de neerslag tot afvoer komt, voordat het profiel weer in evenwicht is met de grondwaterstand volgens de gegeven uitdrogingscurven.

## Berekening van afvoer en kwel

Voor de berekening van de afvoer en de kwel werd gebruik gemaakt van de verdampingsvergelijking:

$$A - K = N - E - \Delta V \quad (3)$$

Hierin is:

- A = de afvoer in mm per balansperiode
- K = de kwel in mm per balansperiode
- N = de neerslag gemeten op het proefobject in mm per balansperiode
- E = de verdampings van het gewas in mm per balansperiode, berekend uit meteorologische gegevens van De Bilt en gemeten gegevens van gewasontwikkeling en vochtspanning in de wortelzone
- $\Delta V$  = de verandering in de vochtinhoud van het profiel in mm per balansperiode berekent uit de gamma dichtheidsmetingen

In de waterbalansvergelijking zijn de twee termen A en K in het linkerlid van de vergelijking onbekend. De termen N, E en  $\Delta V$  in het rechterlid van de vergelijking zijn door meting en berekening bekend, zodat de som van A-K bekend is.

De beide termen kunnen worden gesplitst door voor de gemiddelde waarde van de som van beide termen per balansperiode uitgedrukt in meters per dag uit te gaan van de afvoervergelijking.

Bij de analyse werd gebruik gemaakt van de afvoervergelijking voor percelen met kwel (PANKOW en RIJHINER, 1970), waarbij de kwelverdeling in het perceel afhankelijk is van de verdeling van de grondwaterstand ten opzichte van de afstand tot de sloot.

Bij de analyse werd gebruik gemaakt van de grondwaterstandmetingen die dicht bij de plaats van de gamma meetopstelling werden opgenomen. Voor de afvoer A in m/dag geldt de volgende vergelijking:

$$A = \left\{ q_0 + \frac{1}{c} (hd - hx) \right\} = \quad (4)$$

$$= (hx - hsl) \frac{\cosh \frac{x}{\sqrt{KDC}}}{\omega_2 \sqrt{KDC} \sinh \frac{1}{2\sqrt{KDC}} + c \left( \cosh \frac{1}{2\sqrt{KDC}} - \cosh \frac{x}{\sqrt{KDC}} \right)}$$

- $q_0$  = de afvoersnelheid naar + of de capillaire opstijging (-) vanuit het grondwater in m.dag<sup>-1</sup>  
 $c$  = de verticale weerstand van het afdekkende pakket in dagen  
 $hd$  = de stijghoogte diepe grondwater in m  
 $hx$  = de stijghoogte ondiepe grondwater in m op afstand  $x$  uit het midden perceel  
 $hsl$  = het slootpeil in m  
 $l$  = breedte van het perceel in m  
 $x$  = afstand uit het midden van het perceel in m  
 $K$  = horizontale doorlatendheid van het bovenste pakket in m.dag<sup>-1</sup>  
 $D$  = dikte van het bovenste pakket in m  
= slootweerstand in dag.m<sup>-1</sup>

Uit vergelijking 4 blijkt dat er een lineair verband bestaat tussen A-K en de grondwaterstand. Bij de berekening van de kwel werd uitgegaan van fig. 5. Voor de objecten C en D zijn twee lijnen aangegeven, namelijk voor de periode met hoog en met laag slootpeil.

De spreiding in het waarnemingsmateriaal wordt naast waarnemingsfouten vooral in perioden met zware buien vermoedelijk in belangrijke mate veroorzaakt door oppervlakte-afvoer tengevolge van de lage infiltratiesnelheid in het kleidek. De sterk afwijkende punten zijn typische balansperioden met grote neerslaghoeveelheden. Bij het optreden van oppervlakte-afvoer is er geen verband tussen A-K en de grondwaterstand. Tevens blijkt uit figuur 5 voor de objecten C en D het effect van de peilverlaging onder gelijke afvoeromstandigheden op de grondwaterstand. De grondwaterstandsverlaging is ongeveer de helft van de toegepaste slootpeilverlaging.

Als de grondwaterstand gelijk is aan de slootwaterstand, dan is de afvoer uit het perceel naar de sloot precies gelijk aan nul. De waarde van A-K is voor dit punt dus precies gelijk aan de kwel, die bij deze grondwaterstand optreedt. Bij een aangenomen stijghoogte van 1,70 m - NAP van het diepe grondwater is onder deze omstandigheden de c-waarde te berekenen volgens de vergelijking:

$$K = \frac{1}{c} (hd - hx) \quad (5)$$

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5. Waarden voor hd, hx in m -NAP, de kwel (K) in m.dag<sup>-1</sup> en de berekende c-waarden in dagen

Object	hd m	hx m	K m.dag <sup>-1</sup>	$\Delta h$ m	c dagen
A	- 1,70	- 2,20	0,00220	0,50	227
B	- 1,70	- 2,55	0,00360	0,85	236
C <sub>1</sub>	- 1,70	- 1,95	0,00075	0,25	333
C <sub>2</sub>	- 1,70	- 2,20	0,00140	0,50	357
D <sub>1</sub>	- 1,70	- 1,95	0,00085	0,25	294
D <sub>2</sub>	- 1,70	- 2,55	0,00310	0,85	274
E	- 1,70	- 1,95	0,00110	0,25	227

Vergelijking 4 kan op vereenvoudigde wijze worden weergegeven als

$$A-K = \left(\alpha + \frac{1}{c}\right) hx - \alpha hsl - \frac{1}{c} hd \quad (6)$$

Uit de hellingen van de figuren in fig. 5 kunnen nu ook de  $\alpha$ -waarden voor de verschillende objecten worden berekend. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 6.

Tabel 6. Berekende waarden van  $\alpha$  in dagen<sup>-1</sup>

Object	$\alpha + \frac{1}{c}$	$\frac{1}{c}$	$\alpha$	$1/\alpha$
A	0,00986	0,00441	0,00545	183
B	0,01019	0,00424	0,00595	168
C <sub>1</sub>	0,00989	0,00300	0,00689	145
C <sub>2</sub>	0,00928	0,00280	0,00648	154
D <sub>1</sub>	0,00761	0,00340	0,00421	238
D <sub>2</sub>	0,00783	0,00365	0,00418	239
E	0,00680	0,00441	0,00238	418

De gevonden  $\alpha$ -waarden stemmen vrij behoorlijk overeen met de door WESSELING (1969) gegeven waarden en de waarden die reeds eerder zijn gevonden (PANKOW en RIJTEMA, 1970).

Voor de berekening van de kD-waarden en waarden van de slootweerstand  $\omega$  is aangenomen, dat de slootweerstand de stroming op



3 m afstand uit de sloot niet meer beïnvloedt. Voor de horizontale stroming tussen twee punten in het perceel geldt de volgende stromingsvergelijking (PANKOW en RIJTEMA, 1970):

$$A = \frac{(h_1 - h_2) \cosh \frac{x_1}{\sqrt{KDC}}}{c \left( \cosh \frac{x_2}{\sqrt{KDC}} - \cosh \frac{x_1}{\sqrt{KDC}} \right)} \quad (7)$$

hierin is:

- $x_1$  = de afstand van het meetpunt bij de gammabuizen ten opzichte van het midden van het perceel
- $x_2$  =  $\frac{1}{2} l - 3,0$
- $h_1$  = grondwaterstand bij de meetopstelling
- $h_2$  = grondwaterstand 3 meter uit de sloot

Voor de berekeningen was de gemiddelde waarde van  $h_1$  bij de meetopstelling op eenvoudige wijze uit de registratiestroken van de hydrograaf te bepalen. Moeilijker lag dit ten aanzien van  $h_2$ , aangezien deze grondwaterstand slechts een keer per week werd waargenomen. Om deze reden werd tussen beide gegevens een correlatief verband aangenomen, gebaseerd op de overeenkomstige grondwaterstanden op de meetdagen. De relatie tussen beide grondwaterstanden is weergegeven in fig. 6. De spreiding tussen beide gegevens is vrij groot. Voor de objecten C en D blijkt de relatie duidelijk te worden beïnvloed door de verhoging van het slootpeil gedurende een deel van het groeiseizoen.

Voor de objecten A, B en E werd uit de gemiddelde grondwaterstanden de invloedssfeer van de drains geschat. De werking van de drains was bijzonder slecht en verminderde nog gedurende de twee waarnemingsjaren. De werkelijke perceelsbreedten werden bij de berekeningen verminderd met de geschatte invloedssfeer van de drains in deze objecten. Een en ander heeft echter tot gevolg dat de berekende waarden van  $kD$  en  $\omega$  voor deze objecten een grote mate van onbetrouwbaarheid hebben.

Aangezien de kD-waarden in vergelijking (7) bij gegeven waarden van A,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  en c niet direct oplosbaar zijn, zijn voor een aantal kD-waarden, met gegeven waarden van  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  en c afvoeren berekend. Door grafische interpolatie van de bekende afvoer kan op eenvoudige wijze de juiste kD-waarde worden bepaald.

Als de kD-waarden bekend zijn kan met de uit de nota van PAN-KOW en RIJTEMA, 1970, afgeleide slootweerstandformule de slootweerstand worden berekend. De slootweerstandformule is:

$$\omega = \frac{(hx-hd) \cosh \frac{x_1}{\sqrt{KDC}} - A_c \left( \cosh \frac{1}{2\sqrt{KDC}} - \cosh \frac{x_1}{\sqrt{KDC}} \right)}{A \left( 2\sqrt{KDC} \sinh \frac{1}{2\sqrt{KDC}} \right)}$$

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7. Gemiddelden van de c-waarden, kD-waarden en de slootweerstand in de verschillende objecten

Object	c-waarde dagen	kD-waarde m <sup>2</sup> .dag <sup>-1</sup>	Slootweerstand dag.m <sup>-1</sup>
A	227	2,3	0,8
B	236	2,3	1,5
C	345	3,4	1,8
D	284	3,6	2,0
E	227	5,1	1,4

## SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In verband met een studie naar de gevolgen van peilverlaging in de Lopikerwaard werd een waterbalansonderzoek uitgevoerd, om de gevolgen van de peilverlaging op de landbouwwaterhuishouding na te gaan. Dit onderzoek werd uitgevoerd op een aantal proefobjecten waarbij met een slootpeil op - 2,20 m NAP, -2,55 m NAP, - 1,95 m NAP en twee objecten met een variabel slootpeil

Zowel in 1969 als in 1970 kwamen op alle objecten reducties in verdamping voor, waarbij de indruk bestaat, dat de diepst ontwaterde objecten, vooral object D in iets sterkere mate last van droogte hadden, dan de overige objecten.

Bij perioden met neerslagoverschotten, bij een droog profiel, treedt slechts een langzame bevochtiging van het kleidek op. Dit heeft tot gevolg dat de relatie tussen gesommeerde vochtonttrekking en grondwaterstand die op basis van uitdroging is gevonden, onder deze omstandigheden niet geldig is. Het gevolg is, dat hoewel nog grote vochttekorten in het kleidek aanwezig zijn er grote stijgingen van de grondwaterstand kunnen optreden, waardoor een deel van de neerslag onder deze omstandigheden reeds wordt afgevoerd. Bij de analyse van het verband tussen neerslag en afvoer moet worden geconcludeerd, dat waarschijnlijk tengevolge van de lage infiltratiesnelheid in perioden met zware buien oppervlakte-afvoer optreedt.

Uit de analyse van de gegevens voor de objecten met een variabel slootpeil blijkt, dat onder gelijke weersomstandigheden een verlaging van het slootpeil van - 1,95 m NAP tot - 2,20 m NAP een grondwaterstandsverlaging van ongeveer 17 cm tot gevolg heeft. Bij een verlaging van het slootpeil van - 1,95 m NAP tot - 2,55 m NAP is de overeenkomstige verlaging van de grondwaterstand 31 cm. De berekening van de hydrologische factoren werd bemoeilijkt door de aanwezige drainage van de objecten A, B en C. De invloedssfeer van de drains was echter tengevolge van de geringe afvoerende werking slechts klein. Bovendien nam de invloed van de drains gedurende de onderzoeksperiode af.

Uit de gegevens blijkt, dat voor de proefobjecten ook bij verlaagd slootpeil niet aan het drainegecriterium wordt voldaan.

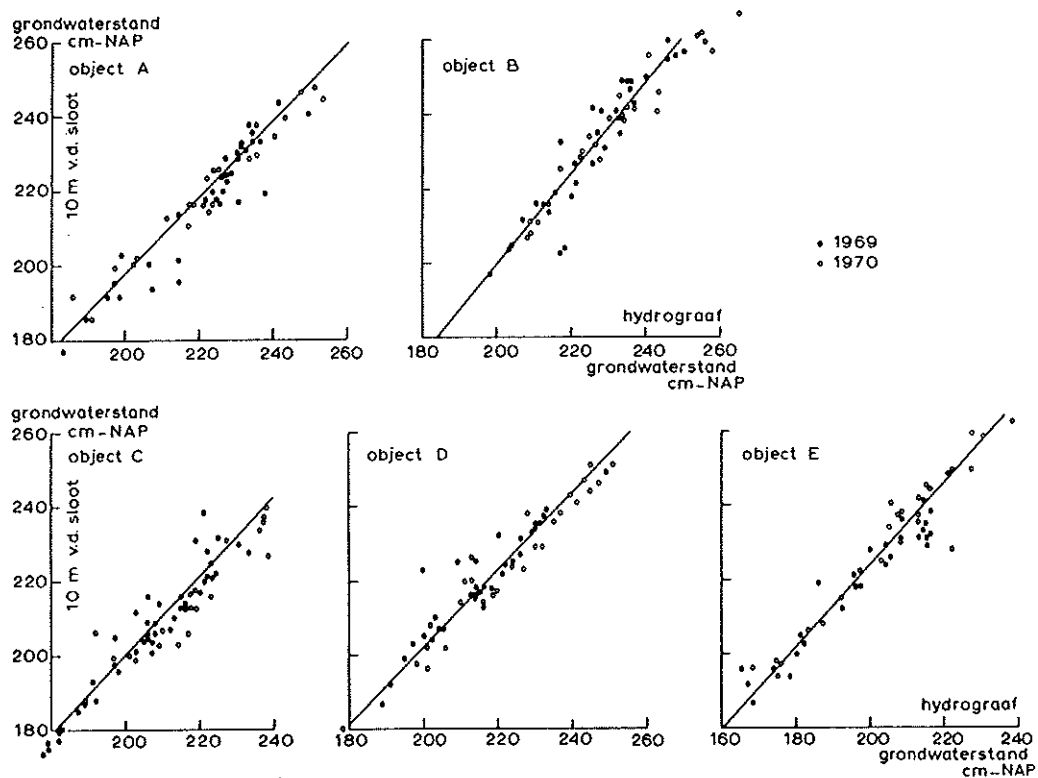


Fig. 2. Het verband tussen de grondwaterstand bij de hydrograaf (15 m) en op 10 m afstand uit de sloot

● 1969      ○ 1970

a object A, b object B, c object C, d object D,  
e object E

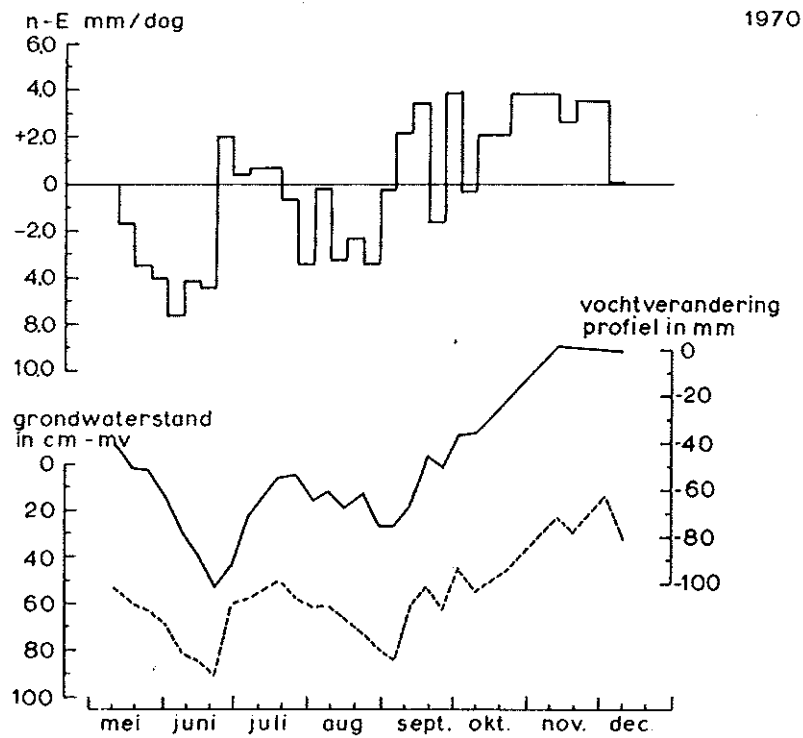
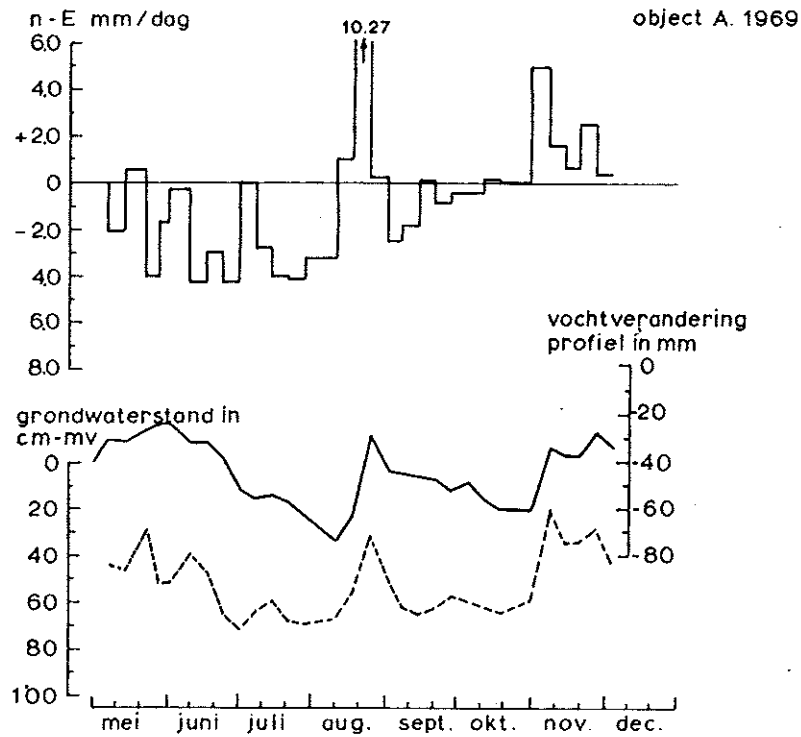


Fig. 3 a.

Het verloop van het berekende verdampingsoverschot, de vochtonttrekking aan het profiel en de grondwaterstand

object A 1969

object A 1970

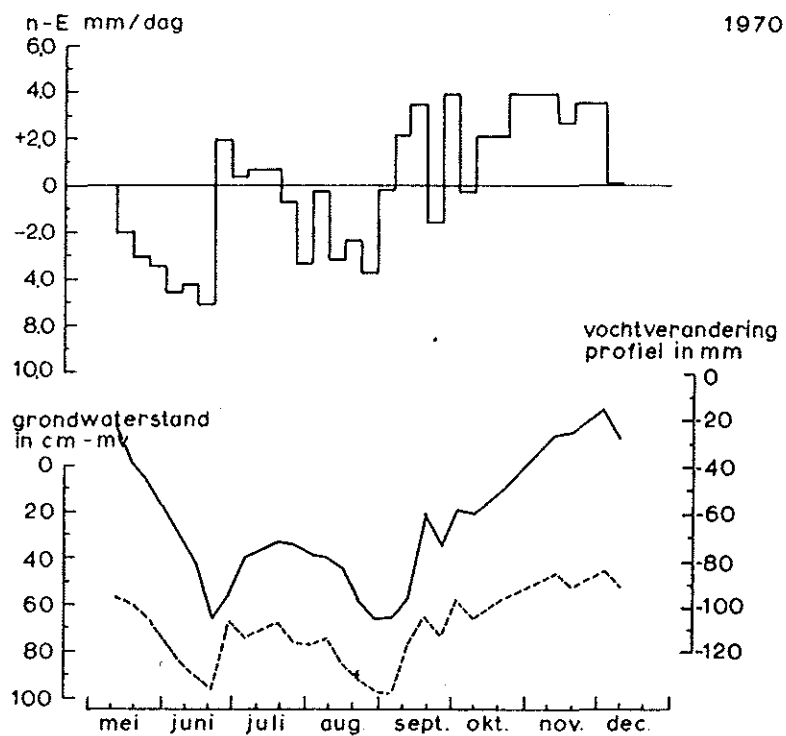
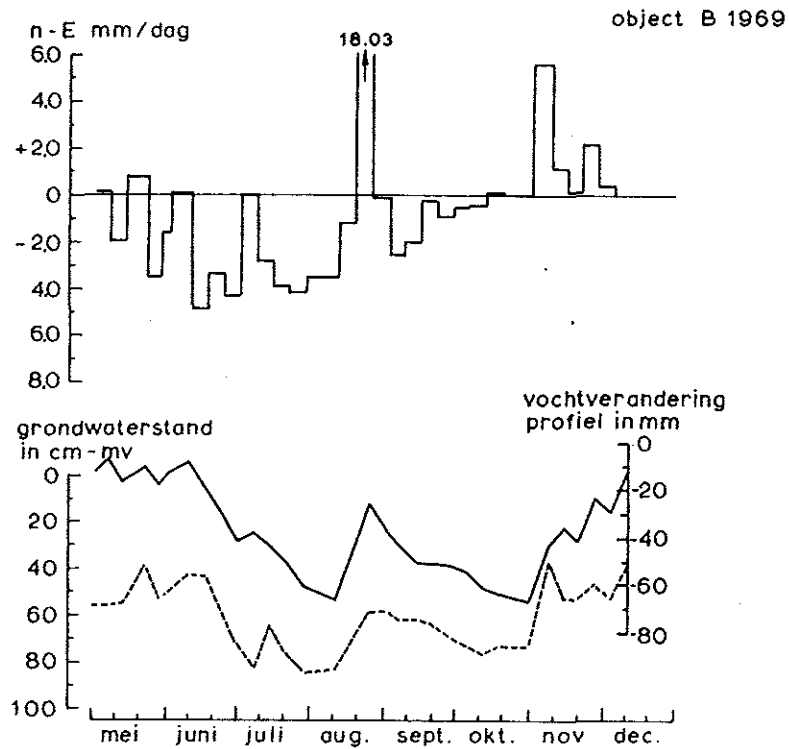


Fig. 3 b.

Het verloop van het berekende verdampingsoverschot, de vochtonttrekking aan het profiel en de grondwaterstand  
 object B 1969                      object B 1970

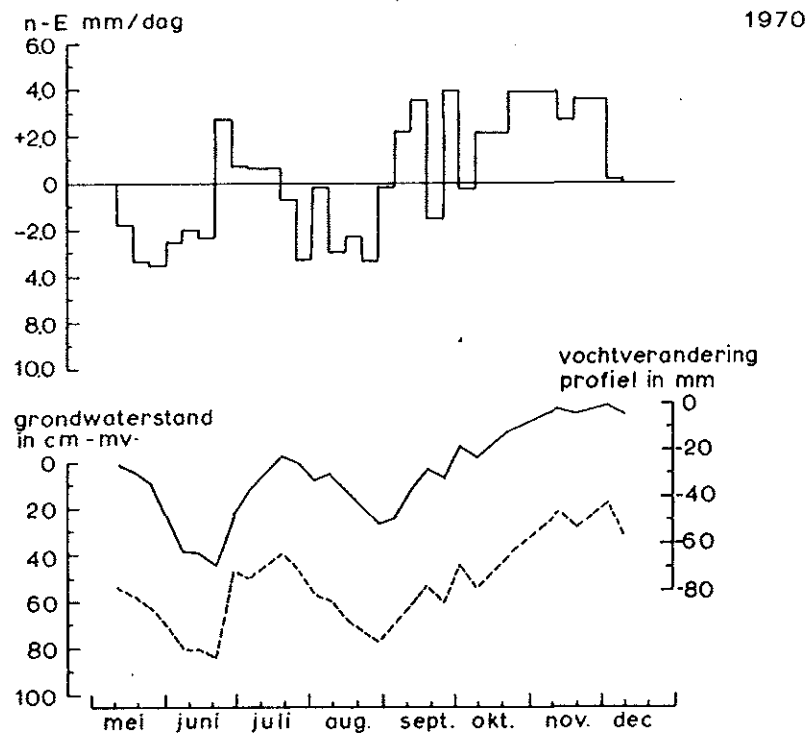
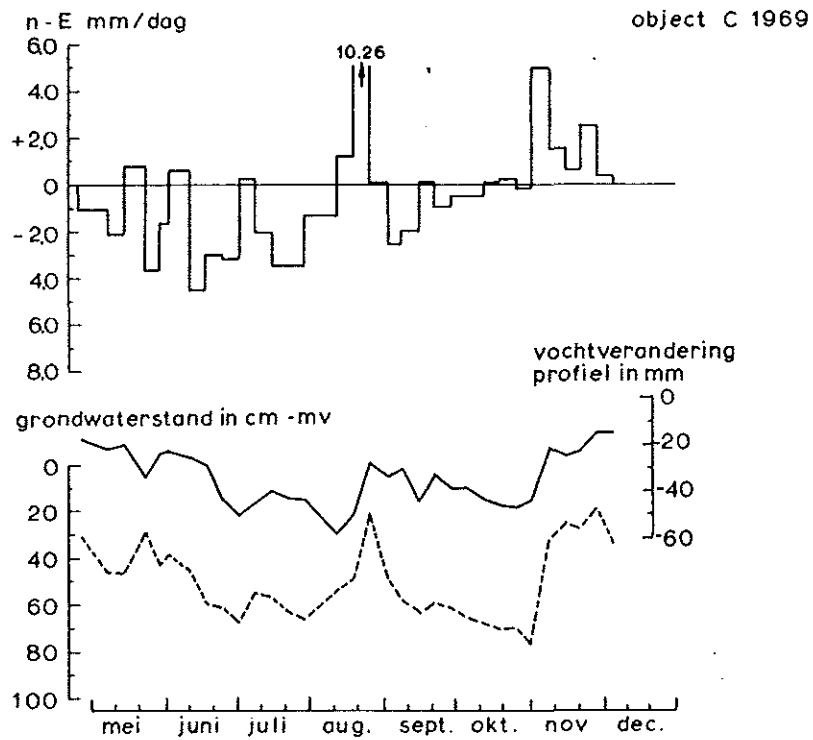


Fig. 3 c.

Het verloop van het berekende verdampingsoverschot, de  
vochtonttrekking aan het profiel en de grondwaterstand  
object C 1969 object C 1970

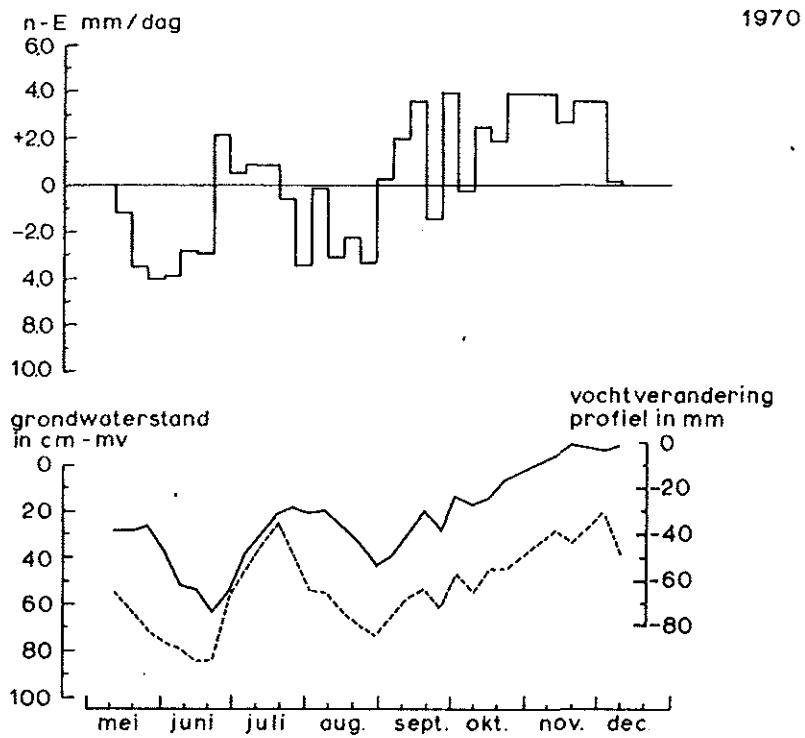
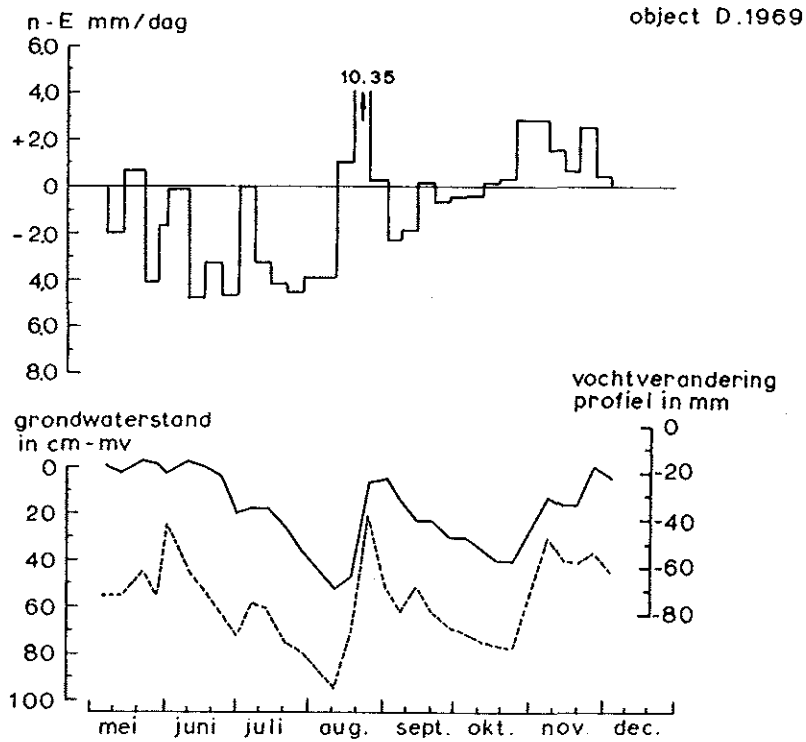


Fig. 3 d.

Het verloop van het berekende verdampingsoverschot, de vochtonttrekking aan het profiel en de grondwaterstand

object D 1969

object D 1970



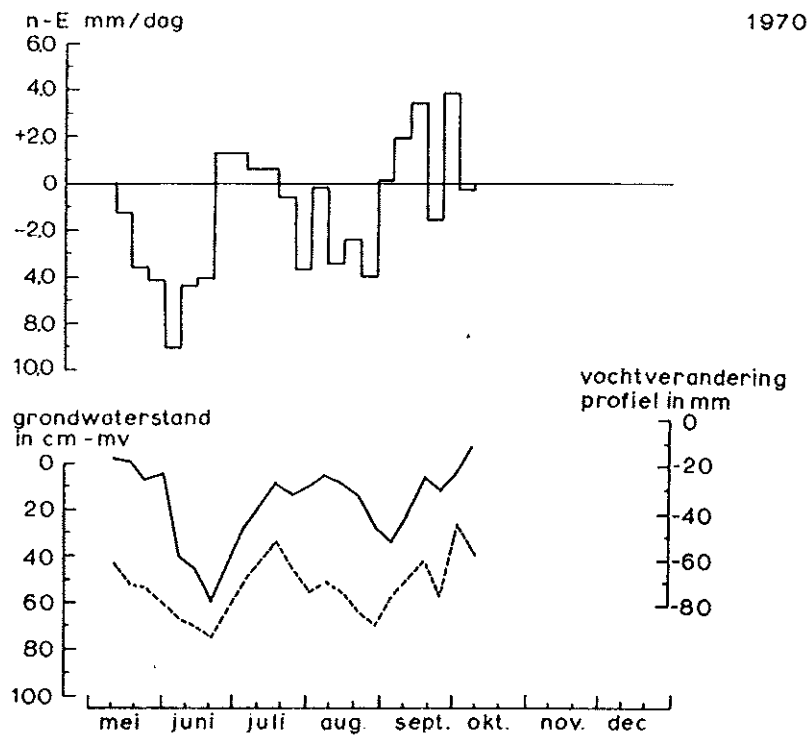
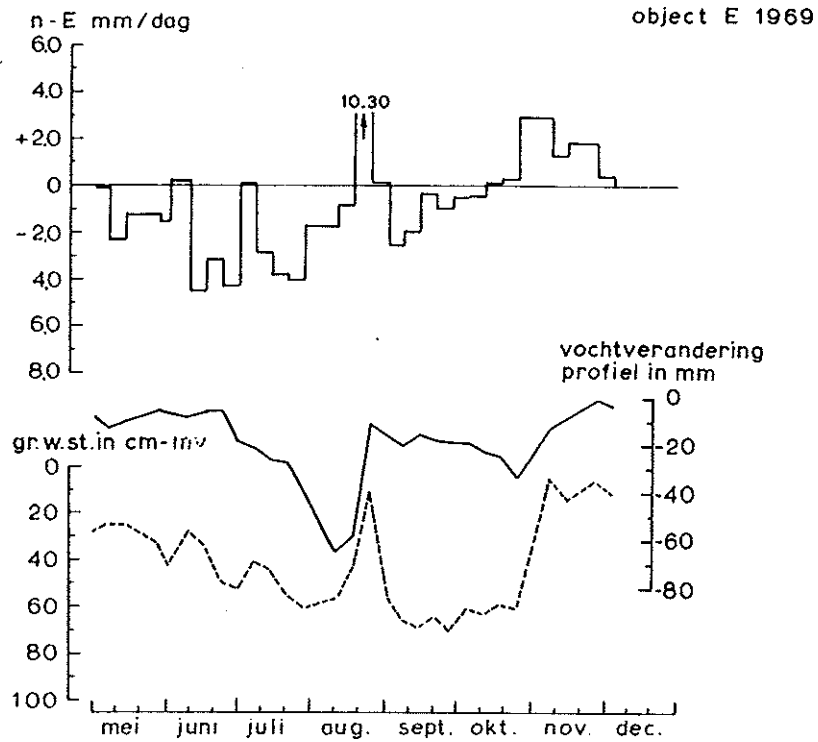


Fig. 3 e.

Het verloop van het berekende verdampingsoverschot, de  
vochtonttrekking aan het profiel en de grondwaterstand

object E 1969

object E 1970

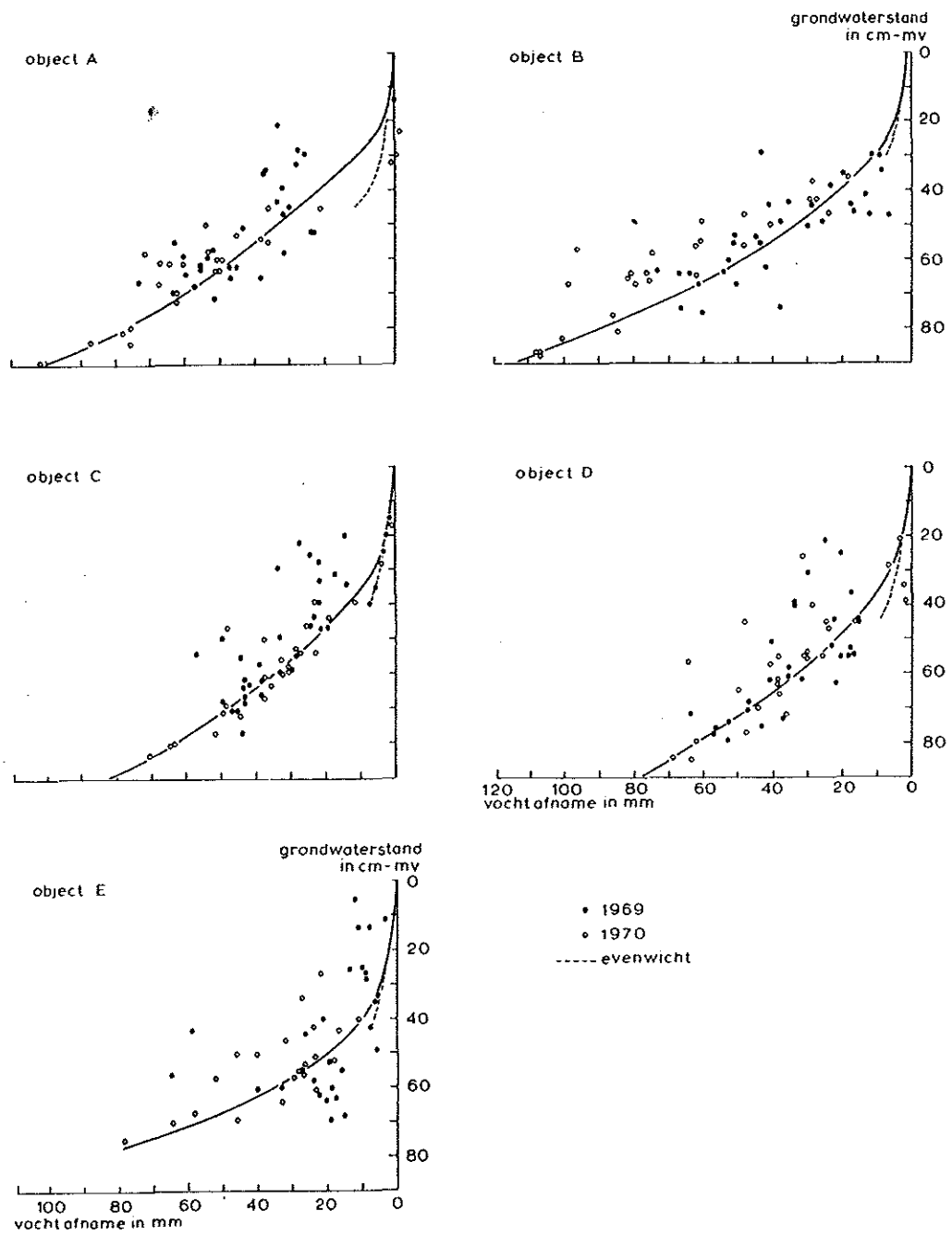


Fig. 4. Verband tussen het vochtdeficiet in het profiel en de grondwaterstand - - - evenwichtsvochtdeficiet ● 1969 ○ 1970  
 a object A, b object B, c object C, d object D,  
 e object E

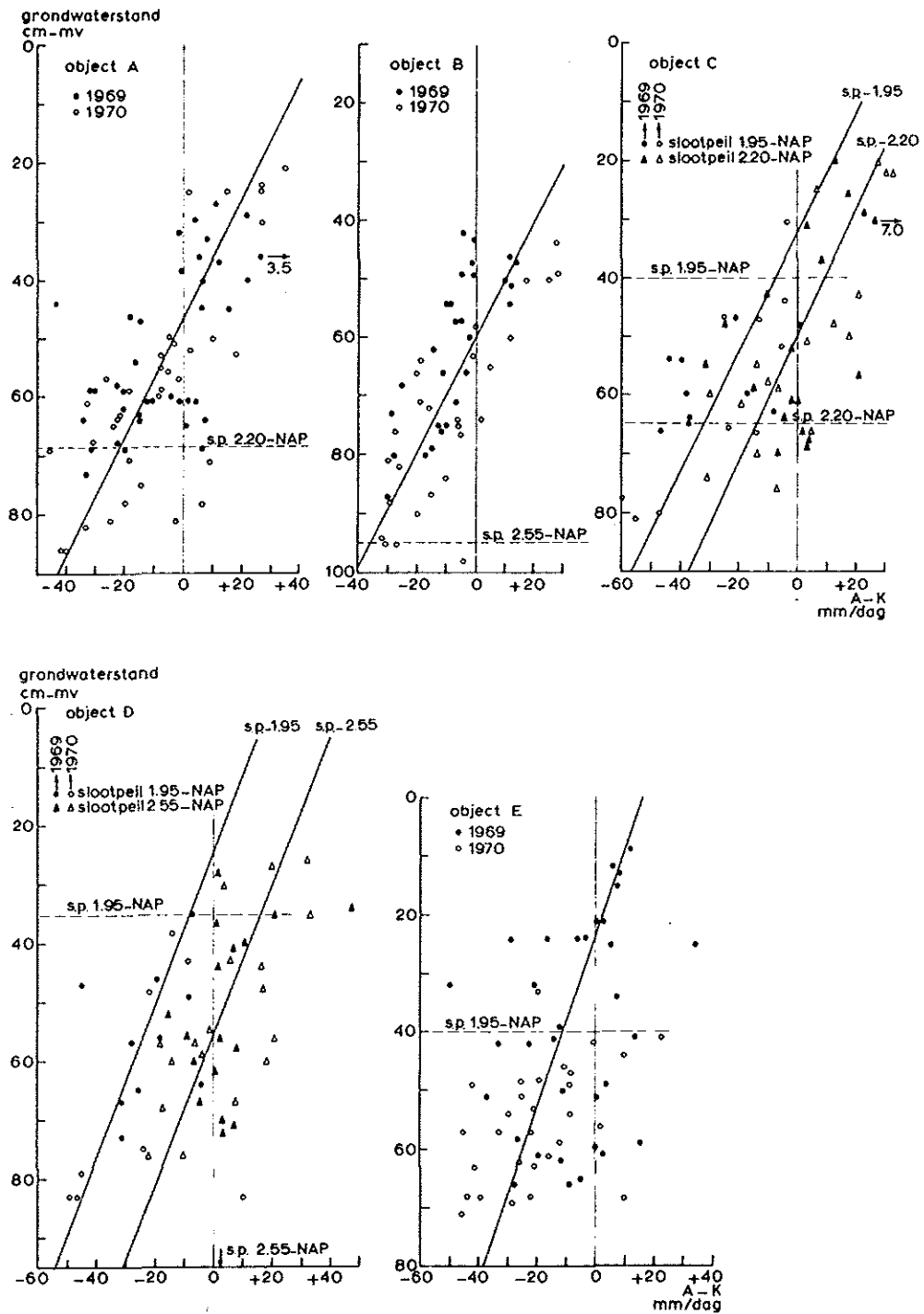


Fig. 5. Het verband tussen A-K en de grondwaterstand

- |   |          |        |        |                          |        |        |                          |
|---|----------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|--------------------------|
| a | object A | ● 1969 | ○ 1970 |                          |        |        |                          |
| b | object B | ● 1969 | ○ 1970 |                          |        |        |                          |
| c | object C | ● 1969 | ○ 1970 | } hoog<br>sloot-<br>peil | ▲ 1969 | △ 1970 | } laag<br>sloot-<br>peil |
| d | object D | ● 1969 | ○ 1970 |                          | ▲ 1969 | △ 1970 |                          |
| e | object E | ● 1969 | ○ 1970 |                          |        |        |                          |

3 m v.d. sloot  
grondwaterstand  
cm-NAP

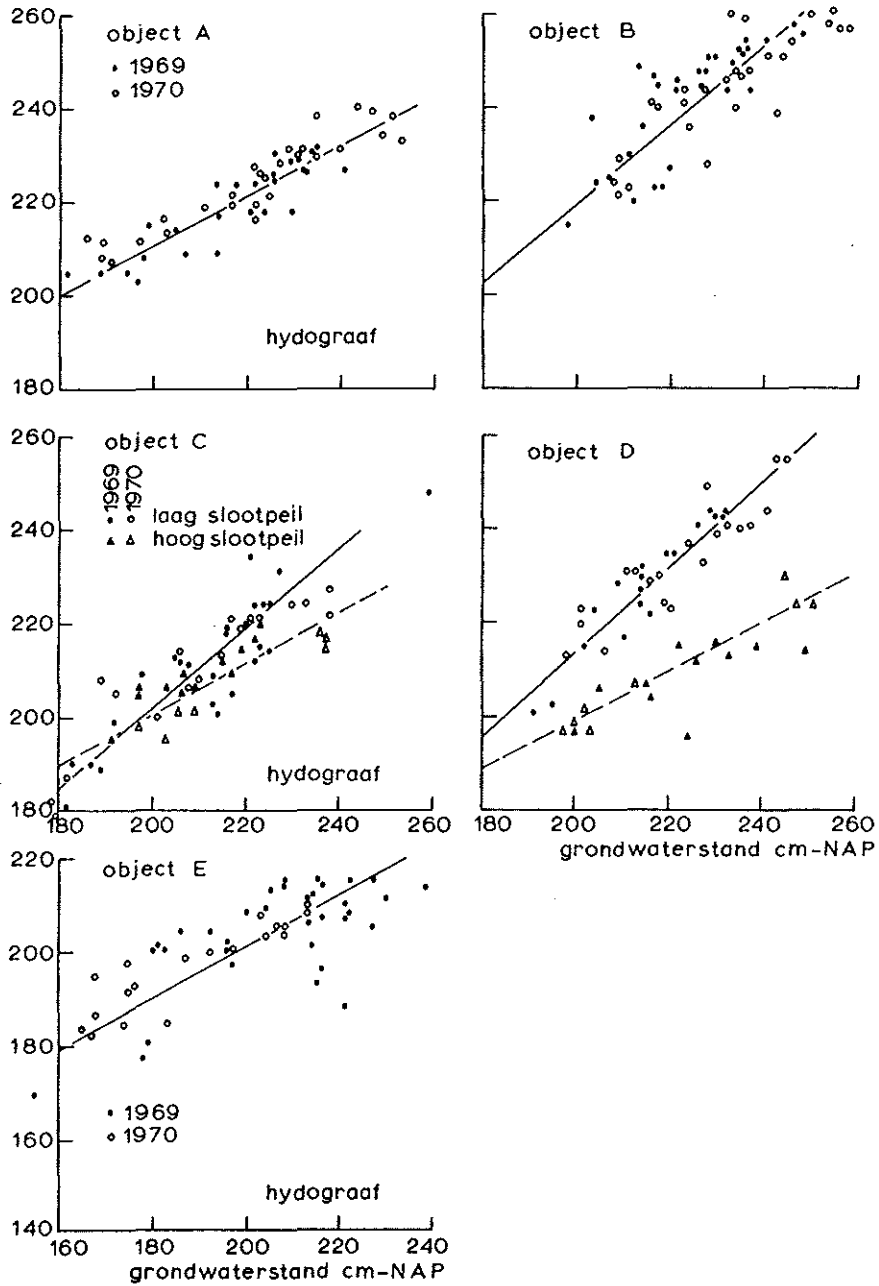


Fig. 6. Het verband tussen de grondwaterstand bij de hydrograaf (15 m) en 3 m uit de sloot

- |   |          |        |        |                  |                  |
|---|----------|--------|--------|------------------|------------------|
| a | object A | • 1969 | ○ 1970 |                  |                  |
| b | object B | • 1969 | ○ 1970 |                  |                  |
| c | object C | ▲ 1969 | ▲ 1970 | } hoog slootpeil | } laag slootpeil |
| d | object D | ▲ 1969 | ▲ 1970 |                  |                  |
| e | object E | • 1969 | ○ 1970 |                  |                  |