

NOTA 977

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
(Wageningen)

ALTERRA

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

GRONDWATERONTTREKKING EN INFILTRATIE TE FIKKERSDRIES

Dr. R.A. Feddes, mevr. G. van den Berg
en dr. L.F. Ernst

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, 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.

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. STAMBUISONDERZOEK-1	2
3. STAMBUISONDERZOEK-2	4
4. INVLOED VAN HET OPZETTEN VAN DE SLOOTPEILEN OP DE GRONDWATERSTAND	8
5. SAMENVATTING	16
LITERATUUR	17

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

1. INLEIDING

Door de N.V. Waterleiding Maatschappij Gelderland (WMG) is een vergunning aangevraagd voor een uitbreiding van de waterwinning door het pompstation Fikkersdries tot $20 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$. Teneinde de gevolgen van een dergelijke onttrekking op de grondwaterstand in het bovenpakket na te gaan, zijn o.a. een drietal proefonttrekkingen uitgevoerd. Voor een overzicht hiervan zie tabel 1.

Tabel 1. Overzicht proefonttrekkingen P.S. Fikkersdries

Nr	Periode	Onttrekking ($10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$)			
		Totaal	Proef	Pakket waaraan onttrokken	Verskil (=basisonttrekking)
1	26/ 7/1972-27/ 4/1973	4,2	2,2	boven	2.0
2	21/10/1974- 7/ 2/1975	9,8	7,3	midden	2.5
3	14/ 7/1975-28/10/1975	11,5	7,5	midden	4.0

Een verslag van de proefonttrekking nr. 1 is gegeven door STOL (1974). Daarbij bleek dat de grootste verlaging in het bovenpakket ca. 3 m en van het freatisch vlak ca. 0.5 m bedroeg.

In deze nota zullen de resultaten welke verkregen zijn met behulp van de proefonttrekkingen nr. 2 en 3 worden besproken. Tevens zal een schatting worden gedaan van de invloed die een verhoging van de slootwaterstand heeft op het grondwaterstandsverlagingspatroon.

2. STAMBUISONDERZOEK-1

Teneinde de beïnvloeding van de proefonttrekkingen (nr. 2 en 3, tabel 1) na te kunnen gaan, zijn diverse keuzes voor de stambuizen gemaakt, en wel de volgende:

- 1: 39F-L-10; 40A-L-268; 40C-L-2; 40C-27
- 2: 39F-L-10; 40A-L-268; 40C-L-2; 40C-27; RW34-filter 1
- 3: 39F-L-10; 40A-L-268; 40C-L-2; 40C-27; RW34-filter 2
- 4: 39F-L-10; 40A-L-268; 40C-L-2; RW34-filter 1; RW34-filter 2

En overzicht van de ligging van deze stambuizen, tezamen met de overige ter beschikking staande peilbuizen, is weergegeven in fig. 1. De LW-buizen ten zuiden van de Eldensche Zeeg zijn pas in mei-juni 1975 geplaatst. De beste beschrijving van de grondwaterstanden in het waterwingebied bleek te kunnen worden gerealiseerd met keuzemogelijkheid nr. 4. De buis RW34 met diep en ondiep filter kan daarbij representatief voor de hydrologische situatie ten zuiden van de Rijn worden geacht. Berekeningen werden uitgevoerd volgens de regressievergelijking:

$$P = B_1 S_1 + B_2 S_2 + B_3 S_3 + B_4 S_4 + B_5 S_5 + A \quad (1)$$

waarin

P = grondwaterstand in peilbuis (mm-b.b.)

S = grondwaterstand in stambuis (mm-b.b.)

B = regressiecoëfficiënt

A = intercept (mm-b.b.)

Voor het vaststellen van de regressieconstanten werden gegevens gebruikt uit de periode 11/7/'72 t/m 29/4/'75, met weglating van de perioden met extra onttrekking, nl. 25/7/'72 t/m 14/5/'73 en 14/10/'74 t/m 28/1/'75.

Uit het regressieonderzoek bleek dat het grootste deel van de peilbuizen een multiële correlatiecoëfficiënt groter dan 0.90 vertoonde met een standaardafwijking die ruwweg varieerde van 5-15 cm, terwijl een aantal buizen een lagere correlatiecoëfficiënt vertoonde met een al dan niet hogere standaardafwijking. De oorzaak van deze verschillen is waarschijnlijk in de heterogeniteit van het gebied gelegen.

Met behulp van de regressievergelijkingen is per datum voor iedere buis berekend wat de grondwaterstand zou zijn geweest als er niet extra was gepompt (C). Deze uitkomsten zijn vergeleken met de werkelijke geobserveerde grondwaterstanden (O). Vervolgens is het verschil (O-C) berekend. Verder zijn gemiddelde verlagingen (O-C) berekend over een aantal geselecteerde perioden: 28/7/'72-27/10/'72, 28/10/'74-14/1/'75 en 14/8/'75-28/10/'75.

In fig. 2 is het verloop van de gepompte hoeveelheid met de tijd weergegeven. De perioden met de proefonttrekkingen springen daarbij duidelijk uit. Wat ook opvalt is dat het niveau van de basisonttrekking in het begin overeenkomt met (op jaarbasis gerekend) ca. $2 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$, op het eind met ca. $4 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$.

De verlagingen die zijn berekend met stambuisonderzoek-1 gelden dus ten opzichte van een nul-situatie overeenkomend met een onttrekking van $2 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$.

Van de verlagingen zijn verlagingskaartjes gemaakt. De meest interessante daarvan zijn de verlagingen in de zomer bij de grootste onttrekking van het pompstation. De datum 28/8/'75 geeft globaal genomen de grootste verlaging te zien. De verlagingen van het freatische water en het water in het bovenpakket (onder de holocene kleilaag) zijn weergegeven in fig. 3. Opvallend is dat het centrum van de onttrekking niet ter plaatse van het pompstation is gelegen, maar meer naar het oosten. Het is duidelijk dat er te weinig informatie bestaat over het gebied ten zuiden van de Eldensche Zeeg. Hierop anticiperend zijn een aantal buizen bijgeplaatst in mei-juni 1975.

Op 28 oktober 1975 is gestopt met proefonttrekking nr. 3. Aangezien er vanaf deze datum tot 15 november 1975 geen neerslag van betekenis viel en de verdamping te verwaarlozen was, kon een z.g. stopproef worden gehouden. Hierbij kan worden gesteld dat de grootte van de grondwaterstandsstijging gelijk is aan de oorspronkelijke daling ten gevolge van het extra pompen. De resultaten hiervan staan weergegeven in de bijlagen 11 en 12 van het Conceptrapport van de werkgroep uitbreiding waterwinning P.S. "Fikkersdries".

Het beeld van het met de regressieanalyse verkregen verlagingspatroon blijkt daarbij redelijk goed overeen te stemmen met het verlagingspatroon verkregen via de stopproef: het centrum van de verla-

ging ligt oostelijk van het pompstation met een uitloop naar het zuiden. Een en ander houdt waarschijnlijk verband met het grillige verloop van de Kedichem kleilaag in het gebied.

Aan fig. 3 A en B is te zien dat de stambuis 40A-L-268 aan de rand van resp. in het door het pompstation beïnvloed gebied ligt. Dit wil zeggen dat deze buis eigenlijk niet als stambuis mag worden beschouwd.

Gezien dit feit en de onbekendheid met het verlagingspatroon ten zuiden van de Eldensche Zeeg is besloten om een nader stambuisonderzoek uit te voeren, waarin ook de later geplaatste peilbuizen zouden worden opgenomen.

3. STAMBUISONDERZOEK-2.

Voor het tweede stambuisonderzoek zijn de volgende combinaties van steeds 5 stambuizen onderzocht:

- 1: RW34-filter 1; RW34-filter 2; L-37^b-filter 1; 40A-208; 40A-331
- 2: RW34-filter 1; RW36-filter 2; LW7-filter 1; LW7-filter 2; 40A-208
- 3: RW34-filter 1; RW39-filter 2; 39F-1-10; put XII; put XVIII
- 4: RW34-filter 1; L-37^b-filter 1; L-37^b-filter 2; 40A-208; 40C-1-2
- 5: RW34-filter 1; RW39-filter 2; 39F-1-10; 40A-208; 40A-331
- 6: RW34-filter 1; L-37^b-filter 1; RW39-filter 2; 40A-208; 40A-331.

Op grond van het aantal beschikbare gegevens en globaal genomen de meest gunstige multipiele correlatiecoëfficiënten en laagste standaardafwijkingen werd gekozen voor combinatie nr. 4.

In tabel 2 is een overzicht van de peilbuizen en de regressieconstanten gegeven. Ook is aangegeven welke perioden zijn gebruikt voor de vaststelling van de eigenschappen van de peilbuizen.

FIKKERSORIES • POMPPROEF

TABEL 2

OVERZICHT VAN PEILBUISGEGEVENS EN REGRESSIECONSTANTEN

APRIL 1977

REGRESSIEVERGELIJKING : $P = B_1 S_1 + B_2 S_2 + B_3 S_3 + B_4 S_4 + B_5 S_5 + A$

HET : P = GR.W.ST. PEILBUIS IN MM TOT 0,0.
S = GR.W.ST. STAMBUIS IN MM TOT 0,0.
B = REGRESSIECOEFFICIENT
A = INTERCEPT

STAMBUIZEN ZIJN : NR 37 (S1) , NR 45 (S2) , NR 46 (S3) , NR 54 (S4) EN NR 61 (S5)

ER ZIJN GEGEVENS GEBRUIKT UIT DE PERIODE 14/3/75 T/M 27/8/76 , HET NEGLATING
VAN PERIODEN HET EXTRA ONTTREKKING , NL 6/6/752 T/M 28/10/75

PEILBUIS		FILTER		REGRESSIECONSTANTEN (GEGEVENS IN MM = 0,0.)							MULT. CORR. R	ST.AFW. S
NR	NAAM	NR	DIEPTE (M=H,V.)	NDATA	B1 (37)	B2 (45)	B3 (46)	B4 (54)	B5 (61)	A		
4	PP1	1		27	0,0343	-1,5238	1,8701	0,0146	0,2755	-440,	0,940	102,
5	RW2	1	10,0	28	0,3458	-1,3562	1,4298	0,0025	0,2946	61,	0,917	165,
6	RW2	2	3,5	28	0,4207	-2,7790	3,2277	1,2077	0,1959	-1087,	0,937	199,
7	PP2			TE WEINIG GEGEVENS								
8	RW4	1	0,0	28	0,1862	-1,3287	1,5610	0,0359	0,1880	-886,	0,896	154,
9	RW4	2	3,0	28	0,1459	-1,1910	1,2409	0,7355	0,2719	-681,	0,885	194,
10	GA	1	1,5-2,5	28	0,2004	-2,2708	2,7224	1,3523	-0,1410	-1144,	0,945	136,
11	GA	2	4,5-5,5	28	0,0155	-0,4324	0,9376	0,0455	0,4866	-989,	0,866	157,
12	GB	1	1,0-2,5	27	0,2221	-2,4234	2,7940	1,2684	-0,1490	-1002,	0,932	149,
13	GB	2	4,0-5,0	28	0,0429	-0,5727	1,0542	0,5725	0,2917	-754,	0,816	178,
14	RW6	1	9,5	28	0,1070	-1,0798	1,2034	0,6902	0,2413	-212,	0,909	116,
15	RW6	2	3,0	28	0,1079	-2,0308	2,2859	0,9254	0,2867	-363,	0,890	158,
16	VI (P6)	2	50,2-51,1	28	0,1460	-1,0415	1,4110	0,5477	0,4320	-236,	0,951	99,
17	L-VI	1	1,1-2,1	28	0,0835	-1,9102	2,4482	1,1470	0,2650	-1051,	0,918	150,
18	L-X	1	1,35-2,35	28	0,1118	-1,9481	2,6477	1,1779	0,2952	-1384,	0,907	200,
19	X	1	5,0-7,0	28	0,0448	-1,0801	1,5063	0,6721	0,4237	102,	0,948	97,
20	X	2	20,0-22,0	28	0,4234	-1,4484	1,7081	0,5052	0,3363	-239,	0,969	184,
21	RW10	1	10,0	28	0,0720	-1,7590	1,9056	0,7410	0,1649	-117,	0,894	116,
22	RW10	2	2,5	28	0,0162	-1,8018	1,9304	0,7649	0,0978	220,	0,902	95,
23	RW11	1	10,0	28	0,0524	-1,5205	1,7039	0,6690	0,2307	129,	0,888	116,
24	RW11	2	2,0	27	0,1845	-2,1283	2,3917	0,7005	-0,0423	-80,	0,852	106,
25	RW12	1	10,0	28	-0,0057	-1,0067	1,2130	0,3754	0,3936	400,	0,816	126,
26	RW12	2	3,0	28	-0,0714	-0,3285	0,5210	0,1454	0,4979	455,	0,720	123,
27	L-12	1	1,4-2,4	27	0,2632	-2,4817	2,8339	1,7380	-0,0435	-1538,	0,931	191,
28	RW17	1	10,0	28	-0,0351	-0,5198	0,6864	0,2493	0,3808	341,	0,803	97,
29	RW17	2	2,0	28	-0,0512	-0,7076	0,7637	0,3950	0,4508	171,	0,893	76,
30	RW31	1	10,0	TE WEINIG GEGEVENS								
31	RW31	2	5,0	28	0,3170	-1,5380	1,8274	0,8725	0,4855	-300,	0,937	165,
32	L-31	1	1,5-2,5	24	0,4372	0,1666	0,0587	0,6857	0,1647	-200,	0,930	159,
33	RW32	1	43,0-44,0	28	0,4315	-4,0735	4,1095	1,3610	-0,2578	-173,	0,775	371,
34	RW32	2	21,5-22,5	28	0,3226	-1,4071	1,7078	0,0029	0,2841	-637,	0,964	180,
35	RW32	3	5,0-6,0	28	0,1000	-1,1822	1,4209	0,6791	0,2610	-506,	0,928	107,
36	L-32	1	1,3-2,3	28	0,0470	-0,6552	0,5916	0,7280	-0,5145	600,	0,824	137,
37	RW34	1	10,0	STAMBUIS 1								
38	RW34	2	3,0	28	0,8320	-1,9013	2,2114	0,7602	0,1369	-1384,	0,951	201,
39	RW36	1	0,5	28	0,1452	-0,8596	1,2270	0,6873	0,3518	-681,	0,964	85,
40	RW36	2	2,5	28	0,1592	-0,8487	1,1745	0,6624	0,3919	-824,	0,987	83,
41	RW37	1	10,0	28	0,0571	-1,6480	2,3934	1,3300	0,3315	-800,	0,985	209,
42	RW37	2	3,0	28	-0,0401	-0,0778	0,6595	0,3848	0,6611	36,	0,907	124,
43	37A	1	1,5-2,5	28	0,1077	-1,2778	1,9139	1,0239	0,5017	-1040,	0,912	189,
44	37A	2	4,5-5,5	28	0,0532	0,1810	0,6147	0,5855	0,4390	-1083,	0,845	203,
45	37B	1	1,5-2,5	STAMBUIS 2								
46	37B	2	4,5-5,5	STAMBUIS 3								
47	37C	1	1,0-2,0	13	0,2101	-0,5654	0,1785	0,3382	-0,2837	1996,	0,512	200,

FIKKERSDRIES - POMPPROEF

vervolg TABEL 2

OVERZICHT VAN PEILBUISGEGEVENS EN REGRESSIECONSTANTEN

APRIL 1977

REGRESSIEVERGELIJKING : $P = B1.S1 + B2.S2 + B3.S3 + B4.S4 + B5.S5 + A$

MET : P = GR.W.ST. PEILBUIS IN MM TOT B.B.

S = GR.W.ST. STAMBUIS IN MM TOT B.B.

B = REGRESSIECOEFFICIENT

A = INTERCEPT

STAMBUIZEN ZIJN : NR 37 (S1) , NR 45 (S2) , NR 46 (S3) , NR 54 (S4) EN NR 61 (S5)

ER ZIJN GEGEVENS GEBRUIKT UIT DE PERIODE 14/3/75 T/M 27/8/76 , MET NEGLATING
VAN PERIODEN MET EXTRA ONTTREKKING , NL 6/6/752 T/M 28/10/75

PEILBUIS		FILTER		REGRESSIECONSTANTEN (GEGEVENS IN MM = B.B.)							MULT. CORR. R	ST.AFW. S
NR	NAAM	NR	DIEPTE (N=M.V.)	NDATA	B1 (37)	B2 (45)	B3 (46)	B4 (54)	B5 (61)	A		
48	37C	2	4,0-5,0	28	0,0761	0,0187	0,0333	0,0235	0,0026	322.	0,742	214.
49	RW39	1	10,0	28	0,3782	-0,7750	1,0729	0,5355	0,3490	-760.	0,970	98.
50	RW39	2	2,0	28	0,0857	-1,0691	1,2872	1,1149	0,3150	-632.	0,897	102.
51	40C-21	1		27	0,1406	-1,0919	1,2306	0,2694	0,5244	1463.	0,959	72.
52	39F L-10	BUIS TOT 2,15		27	-0,1309	-2,6445	2,6016	1,4305	0,0040	-1464.	0,946	139.
53	40A 201		6,0-10,0	TE WEINIG GEGEVENS								
54	40A 200		6,0-10,0	STAMBUIS 4								
55	40A 268	2	9,0-10,0	28	0,1158	-1,7031	1,6382	0,5523	0,3244	730.	0,892	114.
56	40A 14		7 -10,5	TE WEINIG GEGEVENS								
57	40A 17		1,0-2,0	27	-0,3500	-1,0350	1,3006	0,2522	1,4300	-488.	0,857	171.
58				GEPOMPTE HOEEVEELHEID (IN 10 M3/DAG)								
59	40A L-268		0,67-1,67	TE WEINIG GEGEVENS								
60	40A 331	1	8,97-9,97	28	0,3046	-1,1455	0,8883	0,6196	-0,1637	243.	0,478	404.
61	40C L-2		1,52-2,02	STAMBUIS 5								
62	40C 27		6,32-10,0	28	-0,0196	0,5040	-0,5305	0,1976	0,5916	113.	0,943	51.
63	PUT XII	1	20,0-22,0	16	0,0400	-0,3161	0,4842	0,1295	0,2922	830.	0,908	60.
64	PUT XIII	1	10,0-12,0	16	-0,0023	-1,2758	1,0649	0,7147	0,3257	466.	0,924	92.
65	PUT XVII	1	0,0-10,0	16	0,0269	-1,2012	0,9076	1,0848	0,0589	1309.	0,885	127.
66	LW1	1	1,0-2,0	24	-0,0914	-0,0788	0,9158	0,7110	0,8334	-975.	0,940	93.
67	LW1	2	4,0-5,0	24	-0,1011	-0,1505	0,1378	0,3739	0,8531	-594.	0,942	76.
68	LW2	1	1,5-2,5	24	-0,1431	-0,3129	0,4264	0,9115	0,9000	-730.	0,861	80.
69	LW2	2	4,5-5,5	24	0,0040	2,1910	-2,4473	-0,8029	1,3253	2.	0,844	140.
70	LW3	1	1,5-2,5	24	-0,1958	1,1151	-1,0457	-0,1124	1,2425	95.	0,911	91.
71	LW3	2	4,5-5,5	24	-0,1808	1,1654	-1,1495	-0,4377	1,2230	480.	0,839	109.
72	LW4	1	1,5-2,5	24	0,0040	-0,9650	0,9907	0,3840	0,6468	159.	0,958	67.
73	LW4	2	4,5-5,5	24	-0,0350	-0,9393	0,9429	0,2902	0,6360	414.	0,934	72.
74	LW5	1	1,2-2,2	12	-0,2686	2,6522	-1,1052	0,1555	-0,0982	319.	0,889	136.
75	LW5	2	3,0-4,0	21	0,1327	0,2808	0,3825	-0,9915	0,4689	729.	0,416	307.
76	LW6	1	1,75-2,75	21	0,0000	-1,5700	1,8013	0,6707	0,4430	-558.	0,935	96.
77	LW6	2	4,0-5,0	21	0,0130	-0,7771	0,9299	0,1913	0,6793	-371.	0,920	84.
78	LW7	1	1,25-2,25	21	0,0948	-2,3789	2,5117	0,9314	0,3603	-555.	0,961	89.
79	LW7	2	3,5-4,5	21	0,0074	-0,7781	0,9259	0,2071	0,3469	392.	0,866	73.
80	LW8	1	1,0-2,0	21	-0,0409	-0,4017	0,6273	0,4384	0,6515	-165.	0,877	118.
81	LW8	2	3,35-4,35	21	-0,0594	-0,4767	0,7366	0,3754	0,7044	-312.	0,933	87.
82	40A 330	1	1,0-2,0	22	0,0024	-2,6741	2,9508	1,3832	-0,0554	-532.	0,931	114.
83	40A 330	2	20,0-21,0	23	-0,1883	-1,8994	0,5940	2,0632	-0,6085	3090.	0,650	430.
84	40A 330	3	40,0-47,0	20	-0,6244	5,2513	-6,4739	-0,6351	0,5118	4741.	0,551	613.
85	40A 331	2	47,24-48,24	25	-0,1076	-0,2055	0,0071	0,5681	0,3240	485.	0,597	170.
86	40A 332	1	0,0-1,0	16	-0,0122	-1,5551	1,6786	0,6504	-0,0036	-313.	0,720	144.
87	40A 332	2	0,0-9,0	16	-0,0269	-1,4952	1,6114	0,6976	0,1779	-541.	0,801	137.
88	40A 268	1	2,5-3,5	15	0,1635	-0,1476	0,4382	0,5342	-0,1408	637.	0,807	91.
89	40A 263	1	1,5-2,0	23	0,0012	-1,2536	1,0283	0,3791	0,5689	675.	0,869	116.
90	40A 263	2	9,0-10,0	23	0,1628	-3,0963	3,1269	1,0492	-0,2428	506.	0,851	158.

Op kaartjes is een overzicht gegeven van de correlatiecoëfficiënten en standaardafwijkingen van de buizen die in het holocene kleipakket staan en het freatische water meten (fig. 4A) en van de buizen die de stijghoogte in het bovenpakket meten (fig. 4B).

Uit de kaartjes blijkt dat voor een aantal buizen die dichtbij de Rijn liggen, betrekkelijk grove relaties werden verkregen. Vergelijking van deze regressiegegevens met die welke uit combinatie 1 werden verkregen, liet zien dat wanneer de ondiepe buis RW-34-filter 2 als stambuis werd meegenomen, een verbetering optrad. Helaas moest hiervan worden afgezien, omdat in de periode van het stambuisonderzoek-2 veel te weinig gegevens van deze buis beschikbaar waren.

Van sommige buizen, die vlakbij een Zeeg of de Linge staan bleek geen hoge nauwkeurigheid bij de berekeningen te kunnen worden bereikt. Voorbeelden hiervan zijn o.a. de buizen RW12 en LW5. Waarschijnlijk is manipulatie met de stuwpeilen hiervan de oorzaak.

De verlagingen zoals die berekend zijn met stambuisonderzoek-2 zijn voor 28/8/'75 voor het freatische vlak weergegeven in fig. 5A, voor het bovenpakket in fig. 5B. In beide figuren zijn voor de buizen in de nabijheid van de Rijn ook nog de met stambuisonderzoek-1 berekende verlagingen weergegeven. Het blijkt dat voor de ondiepe buizen vlakbij de Rijn wat te hoge verlagingen worden berekend, verder van de Rijn af zijn de verlagingen in dezelfde orde van grootte. Voor de diepe buizen zijn de resultaten praktisch gelijk.

Voor het gebied ten noorden van de Eldensche Zeeg kunnen de resultaten vergeleken worden met die verkregen volgens het stambuisonderzoek-1 (fig. 3A, B) en volgens de stopproef (bijlagen 12 en 11, conceptrapport). Voor het gebied ten zuiden van de Eldensche Zeeg is alleen vergelijking mogelijk met de stopproef.

Freatisch water - in het centrum van het verlagingspatroon blijkt de verlaging volgens stambuisonderzoek-2 wat groter te zijn dan volgens stambuisonderzoek-1. De orde van grootte blijkt echter goed overeen te komen met de verlaging geschat volgens de stopproef. Bij de laatste is het hele verlagingspatroon iets meer ZW-NO gericht dan bij stambuisonderzoek-2. De begrenzing van het berekende verlagingsgebied blijkt bij alle 3 methoden nagenoeg hetzelfde te zijn.

Bovenpakket - ook hier zijn de resultaten verkregen met de 3 me-

thoden in redelijke overeenstemming met elkaar. Opgemerkt wordt dat het verlagingspatroon zoals berekend met stambuisonderzoek-2 zich minder sterk en ver naar het zuiden uitstrekt dan zoals geschat met de stopproef. Hierbij dient te worden bedacht dat de stopproef de verlaging op 28/10/'75 berekent, terwijl hier de resultaten strikt genomen alleen van toepassing zijn op 28/8/'75.

Het is duidelijk dat de heersende weersomstandigheden vooral van belang zullen zijn voor het freatische water. Ter illustratie hiervan is het verlagingspatroon van het freatische water geschetst zoals berekend op 21/8/'75 (fig. 6). In de week voorafgaand aan deze datum is 33 mm neerslag gevallen. Het blijkt dat de verlagingen minder groot zijn en zich over een veel beperkter gebied uitstrekken dan op 28/8/'75 (fig. 5A).

Van een aantal buizen zijn plots gemaakt van de gemeten standen en de (gemeten-berekende) waarden als functie van de tijd. In fig. 7 is dit gedaan voor de ondiepe buis LW6 die nabij het centrum van de verlaging gelegen is. In het begin schommelt de verlaging om het nulpunt, om bij toenemende onttrekking op te lopen tot een maximum verlaging van 55 cm op 8/9/'75. Vanaf de eerste helft van november '75 beweegt zich (binnen de standaardafwijking) weer om het nulpunt.

De verlaging van het water in het bovenpakket, zoals gemeten met LW6-filter 2, bleek nagenoeg gelijk te zijn aan het van het freatisch water: de fase en amplitude van beide filters kwamen praktisch met elkaar overeen.

In fig. 8 is eenzelfde soort plot weergegeven van de ondiepe buis RW6. De proefonttrekkingen 1 en 2 worden duidelijk teruggevonden in het verlagingspatroon: de maximale verlagingen zijn hier 40 cm op 27/12/'74 resp. 46 cm op 28/7/'75.

4. INVLOED VAN HET OPZETTEN VAN DE SLOOTPEILEN OP DE GRONDWATERSTAND

Om dalingen van de grondwaterstand ten gevolge van de onttrekking zoveel mogelijk te beperken, wordt overwogen om meer oppervlaktewater aan te voeren. Door de Cultuurtechnische Dienst zijn hiertoe een aantal inlaatberekeningen uitgevoerd. Hieruit is gebleken dat vergeleken met de huidige situatie het polderpeil (=slootpeil) met onge-

veer 20 cm zal kunnen worden verhoogd.

Om vervolgens te kunnen afleiden wat het effect van deze slootpeilverhoging op de grondwaterstand in het veld zal zijn, is een analytische berekening uitgevoerd. Daarbij is in principe uitgegaan van een algemene oplossing, zoals gegeven door ERNST (1962, p.106-107) voor niet-stationaire stromingen, maar hier aangepast aan het onderhavige, wat eenvoudigere stationaire geval.

Om dit probleem concreet te kunnen doorrekenen moet het medium in zijn gelaagdheid met een volledig stel van randvoorwaarden bekend zijn. Een schets van de geo-hydrologische situatie is weergegeven in fig. 9.

De radiale weerstanden van Rijn en Linge zijn zeer klein. Nader onderzoek hiervan werd als overbodig beschouwd. Verwaarlozing van deze weerstanden houdt in dat er wordt gerekend alsof de bodems van Rijn en Linge tot de slecht doorlatende c_3 -laag reiken. Tevens wordt aangenomen, dat de laag nr. 5 geheel ondoorlatend is en dat de uitstroming door de laag nr. 4 aan de randen onder Rijn en Linge van geen betekenis is.

In bovengenoemde rekenmethode wordt gebruik gemaakt van het principe om de stroming in de goed doorlatende lagen als zuiver horizontaal en in de slecht doorlatende lagen als zuiver vertikaal te beschouwen. Voor het betrokken gebied (zie verticale doorsnede in fig. 9) geeft dit een goede benadering behalve voor de bovenlaag nr. 0.

De radiale grondwaterstroming in deze bovenlaag nabij de polder sloten, waarbij vooral de bodemdiepte van belang is, verder ook het slotenpatroon en daarbij in het bijzonder de gemiddelde dichtheid, zou nader moeten worden onderzocht. Om de invloed hiervan zo overzichtelijk mogelijk in rekening te brengen, zal een willekeurig deel van deze bovenlaag nog afzonderlijk worden behandeld, zoals getoond in fig. 10 voor een loodrechte doorsnede op twee evenwijdige sloten ($L \approx 100$ m).

De bijbehorende berekening is verkort weergegeven in fig. 11. Daarbij is uitgegaan van de veronderstelling, dat $k_2 D_2$ naar verhouding zo groot is, dat tussen de twee afgebeelde sloten h_2 vrijwel constant is. Bij een constante potentiaal in laag nr. 2 zijn in de bovenlaag enkelvoudig exponentiële potentiaalverdelingen mogelijk,

bijv. $H \exp (\pm x/\lambda)$ als h_2 gelijk aan nul wordt gesteld en H een willekeurige waarde heeft. Optelling van deze beide potentialen geeft een nieuwe potentiaalverdeling, welke symmetrisch is in x en dus geschikt om als mogelijke oplossing te worden beschouwd: zie kromme $h_0(x)$. De bijbehorende intensiteit van de infiltratie vermenigvuldigd met de radiale weerstand geeft het benodigde potentiaalverschil $h_{0s}-h_0$ voor de radiale stroming.

De gemiddelde stijghoogte $\bar{h}_0$ van het ondiepe grondwater blijkt ongeveer 40% boven de stijghoogte h_2 in het bovenpakket te liggen, wanneer vergeleken wordt met het totaal beschikbare potentiaalverschil $h_{0s}-h_2$.

Uit deze berekening volgt tevens, dat de wegzijging door de slecht doorlatende laag nr. 1 vrij sterk geconcentreerd zal moeten zijn langs de sloten. De wegzijging is tot op een afstand van 17 m uit de sloten gemiddeld genomen dubbel zo sterk als midden tussen de sloten.

Wordt de stroming in de lagen 0 en 1 bij elkaar genomen omdat in het grote geheel toch vooral de potentialen h_{0s} en $h_2(x)$ beslissend zijn, dan kan een fictieve verticale weerstand worden ingevoerd (zie berekening bij fig. 11 waaruit volgt $c_1^* = 725$ dagen), waardoor het mogelijk wordt in de verdere bewerking te rekenen met een gelijkmatige verticale stroming door de bovenste slecht doorlatende laag, welke overal voldoet aan de volgende vergelijking:

$$v_{z,1}(x) = \frac{h_2(x)-h_{0s}}{c_1^*} \quad (2)$$

De vergelijkingen die verder nog nodig zijn, kunnen nu onmiddellijk worden opgeschreven door in de respectievelijke lagen ofwel een horizontale ofwel een verticale stroming te veronderstellen overeenkomstig de methode door ERNST (1962) gebruikt.

$$q_2 = -k_2 D_2 \frac{dh_2}{dx} \quad (3)$$

$$v_{z,3} = \frac{h_4-h_2}{c_3} \quad (4)$$

$$q_4 = -k_4 D_4 \frac{dh_4}{dx} \quad (5)$$

Bovendien geldt:

$$\frac{dq_2}{dx} = v_{z,3} - v_{z,1} \quad (6)$$

$$\frac{dq_4}{dx} = -v_{z,3} \quad (7)$$

Uit de formules (2),(7) kunnen $v_{z,1}$, $v_{z,3}$, q_2 en q_4 worden geëlimineerd. Daaruit volgen twee gewone differentiaalvergelijkingen van de tweede orde:

$$\frac{d^2 h_2}{dx^2} = \frac{h_2 - h_{os}}{k_2 D_2 c_1^*} + \frac{h_2 - h_4}{k_2 D_2 c_3} \quad (8)$$

$$\frac{d^2 h_4}{dx^2} = \frac{h_4 - h_2}{k_4 D_4 c_3} \quad (9)$$

Om de verdere formules te bekorten zullen de volgende substituties worden ingevoerd:

$$A = \frac{1}{k_2 D_2 c_1^*}, \quad B = \frac{1}{k_2 D_2 c_3}, \quad C = \frac{1}{k_4 D_4 c_3}$$

en daarmee gaan de vergelijkingen (8) en (9) over in:

$$\frac{d^2 h_2}{dx^2} = A (h_2 - h_{os}) + B (h_2 - h_4) \quad (10)$$

$$\frac{d^2 h_4}{dx^2} = C (h_4 - h_2) \quad (11)$$

Uit de eerste term rechts van het gelijktteken in verg. (10) volgt dat exponentiële functies als bijzondere oplossingen van (10) en (11) mogelijk zijn, mits h_{os} als nul-niveau wordt ingevoerd. Deze bijzondere oplossingen kunnen dan als volgt worden geschreven:

$$h_2 - h_{os} = \alpha_1 e^{px} \quad (12)$$

$$h_4 - h_{os} = \alpha_2 e^{px} = b \alpha_1 e^{px} \quad (13)$$

De coëfficiënten p en de verhouding b van de coëfficiënten α_1 en α_2 kan worden bepaald door substitutie van (12) en (13) in (10) en (11). Hieruit volgt dat:

$$p^2 = A + B(1-b) \quad (14)$$

$$bp^2 = C(b-1) \quad (15)$$

Substitutie van (14) in (15) levert op:

$$b[A + B(1-b)] = C(b-1) \quad (16)$$

$$\text{of} \quad Bb^2 - (A + B - C)b - C = 0 \quad (17)$$

Deze vergelijking van de tweede graad in a_2/a_1 heeft twee oplossingen:

$$b_1 = \frac{1}{2B} \left[A + B - C + \sqrt{(A + B - C)^2 + 4BC} \right] \quad (18)$$

$$b_2 = \frac{1}{2B} \left[A + B - C - \sqrt{(A + B - C)^2 + 4BC} \right] \quad (19)$$

Uit (14) volgt dat:

$$p = \pm \sqrt{A + B(1-b)} \quad (20)$$

Substitutie van (18) en (19) in (20) geeft 4 oplossingen voor p :

$$p_{1,1} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[A + B + C - \sqrt{(A + B - C)^2 + 4BC} \right]} \quad (21)$$

$$p_{1,2} = -\sqrt{\frac{1}{2} \left[A + B + C - \sqrt{(A + B - C)^2 + 4BC} \right]} \quad (22)$$

$$p_{2,1} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[A + B + C + \sqrt{(A + B - C)^2 + 4BC} \right]} \quad (23)$$

$$p_{2,2} = -\sqrt{\frac{1}{2} \left[A + B + C + \sqrt{(A + B - C)^2 + 4BC} \right]} \quad (24)$$

De gevraagde algemene oplossingen voor h_2-h_{os} en h_4-h_{os} kunnen nu worden gegeven als lineaire combinaties van de uitdrukkingen in de rechterleden van (12) en (13), waarbij in elke term van h_4-h_{os} bijbehorende waarden van b_i en p_{ij} moeten worden gebruikt:

$$h_2 - h_{os} = \alpha e^{p_{11}x} + \beta e^{p_{12}x} + \gamma e^{p_{21}x} + \delta e^{p_{22}x} \quad (25)$$

$$h_4 - h_{os} = b_1 (\alpha e^{p_{11}x} + \beta e^{p_{12}x}) + b_2 (\gamma e^{p_{21}x} + \delta e^{p_{22}x}) \quad (26)$$

In de formules (25) en (26) bevinden zich nog 4 nader te bepalen coëfficiënten α , β , γ en δ . Om deze coëfficiënten te kunnen berekenen is het nodig te beschikken over 4 aanvullende gegevens, te weten: gegeven waarden voor potentiaal of stroomsterkte aan de randen van het beschouwde gebied (in dit geval voor $x = \pm 1500$ m) en wel voor beide watervoerende lagen, dus zowel voor h_2 of q_2 als wel voor h_4 of q_4 . Wegens de veronderstelde symmetrie zijn de randvoorwaarden voor $x = -1500$ m en $x = +1500$ m aan elkaar gelijk (fig. 9), waaruit onmiddellijk volgt: $\alpha = \beta$ en $\gamma = \delta$. Er behoeven dus nog slechts twee betrekkingen te worden toegevoegd voor bepaling van α en γ en wel:

$$(h_2 - h_{os})_{x = \pm 1500 \text{ m}} = -0,20 \text{ m} \quad (27)$$

$$\left(\frac{\partial h_4}{\partial x} \right)_{x = \pm 1500 \text{ m}} = 0 \quad (28)$$

Nu kunnen voor de kD-waarden en c-waarden opgegeven in fig. 9 de bijbehorende waarden van A, B en C worden berekend. Zoals tevoren reeds opgemerkt moet de waarde voor C, vervangen worden door $c_1^* = 725$ dagen.

$$A = \frac{1}{500 \times 725} = 2,758 \times 10^{-6}$$

$$B = \frac{1}{500 \times 1000} = 2,00 \times 10^{-6}$$

$$C = \frac{1}{2000 \times 1000} = 0,50 \times 10^{-6}$$

$$10^6 \sqrt{(A+B-C)^2 + 4BC} = \sqrt{4,258^2 + 4,00} = \sqrt{22,13} = 4,704$$

$$b_1 = \frac{1}{4} (4,258 + 4,704) = 2,240$$

$$b_2 = \frac{1}{4}(4,258 - 4,704) = -0,115$$

$$p_{11} = 10^{-3} \sqrt{\frac{1}{2}(5,258 - 4,704)} = 10^{-3} \sqrt{0,277} = 0,526 \times 10^{-3}$$

$$p_{12} = -0,526 \times 10^{-3}$$

$$p_{21} = 10^{-3} \sqrt{\frac{1}{2}(5,258 + 4,704)} = 10^{-3} \sqrt{4,981} = 2,22 \times 10^{-3}$$

$$p_{22} = -2,22 \times 10^{-3}$$

Deze uitkomsten gesubstitueerd in (25) en (26) leveren op:

$$h_2 - h_{os} = \alpha(e^{0,000526x_+} - e^{-0,000526x_-}) + \gamma(e^{0,00222x_+} - e^{-0,00222x_-}) \quad (29)$$

$$h_4 - h_{os} = 2,240\alpha(e^{0,000526x_+} - e^{-0,000526x_-}) - 0,1115\gamma(e^{0,00222x_+} - e^{-0,00222x_-}) \quad (30)$$

Invullen van (29) en (30) in de randvoorwaarden (27) en (28) geeft:

$$2,674\alpha + 28,04\gamma = -0,20 \quad (31)$$

$$0,002025\alpha + 0,006920\gamma = 0 \quad (32)$$

Uit (31) en (32) volgen als uitkomsten voor α en γ :

$$\alpha = -0,01838 \quad \gamma = -0,00538$$

De uiteindelijke vergelijkingen voor h_2 en h_4 worden dan:

$$h_2 - h_{os} = -0,01838(e^{0,000526x_+} - e^{-0,000526x_-}) - 0,00538(e^{0,00222x_+} - e^{-0,00222x_-}) \quad (33)$$

$$h_4 - h_{os} = -0,04117(e^{0,000526x_+} - e^{-0,000526x_-}) + 0,00060(e^{0,00222x_+} - e^{-0,00222x_-}) \quad (34)$$

Met deze formules wordt echter nog geen uitspraak gedaan over de veranderingen in het freatisch oppervlak h_0 . Uit de berekening gegeven bij de fig. 10 en 11 volgde reeds dat hiervoor de volgende betrekking kan worden gebruikt:

$$\bar{h}_0 - h_2 = 0,4 (h_{os} - h_2) \quad (35)$$

Door enkele waarden voor x te substitueren in (33) en (34) wordt de volgende tabel verkregen.

Tabel 3. Grondwaterstandsveranderingen volgens vrg. (33), (34) en (35) bij een slootpeilverhoging van 20 cm over het gehele gebied

x	0	500	1000	1500 m
h_{os}	0,20	0,20	0,20	0,20
$\bar{h}_0$	0,171	0,166	0,145	0,080
h_2	0,152	0,144	0,108	0,0
h_4	0,119	0,117	0,112	0,107

Uit tabel 3 volgt dat de invloed van het opzetten van het slootpeil midden in het gebied ($x=0$) het grootst is. De verhoging van het peil van het freatisch water bedraagt daar 17 cm. Naar Rijn en Linge toe neemt deze verhoging geleidelijk af. Volgens de tabel bedraagt deze nog slechts 8 cm voor $x=1500$ m. Strikt genomen moet de verhoging over de laatste 100 m zelfs teruggaan tot nul. Evenzo moet er op worden gewezen, dat langs elke infiltratiesloot er smalle stroken zijn, waarin de verhoging ligt tussen de in bovenstaande tabel opgenomen waarden van h_0 en h_{os} .

Bij eventuele infiltratie kunnen de verlagingslijnen zoals die bij de diverse onttrekkingen optreden, met bovengenoemde waarden worden gereduceerd. Het resultaat daarvan is weergegeven in fig. 12.

5. SAMENVATTING

In deze nota worden de resultaten van een tweetal stambuisonderzoekingen besproken, waarbij diverse combinaties van stambuizen zijn toegepast. Verlagsingskaartjes zijn gemaakt tijdens een periode waarbij in totaal zo'n 11,5 miljoen m^3 jaar⁻¹ werd onttrokken. De voornaamste resultaten staan weergegeven in de fig. 5A en 5B. Maximale verlagingen van zo'n 50 cm werden geconstateerd. Het centrum van het verlagingsspatroon werd niet bij het pompstation gevonden, maar meer naar het oosten. Dit houdt waarschijnlijk verband met het grillige verloop van de Kedichem kleilaag in het gebied.

Het ligt in de toekomst in de bedoeling dat de slootpeilen met + 20 cm zullen worden verhoogd. Aan de hand van de geschetste situatie in fig. 9 werd daarom berekend wat de invloed van dit opzetten is op de grondwaterstand. Dit werd gedaan door de wegzijging nabij de sloten en midden tussen de sloten bij elkaar te nemen en een fictieve verticale weerstand in te voeren. Hierdoor werd het mogelijk te rekenen met een gelijkmatige wegzijging vanuit de bovengrond. De belangrijkste resultaten staan vermeld in tabel 3. Uit deze tabel volgt dat het opzetten van het slootpeil midden in het gebied ($x=0$) het grootst is en wel 17 cm. Naar Rijn en Linge toe neemt deze verhoging geleidelijk af: ze bedraagt nog slechts 8 cm voor $x=1500$ m.

Bij eventuele infiltratie kunnen de verlagingsslijnen zoals die bij diverse onttrekkingen optreden met de waarden van tabel 3 worden gereduceerd. Voor het verlagingsspatroon op de datum 28/8/'75 (fig. 5A) is dit gedaan in fig. 12.

Dezelfde soort berekeningen kunnen worden opgezet voor andere slootpeilverhogingen dan 20 cm. Technisch blijkt het mogelijk de huidige slootpeilen met 40 cm op te zetten.

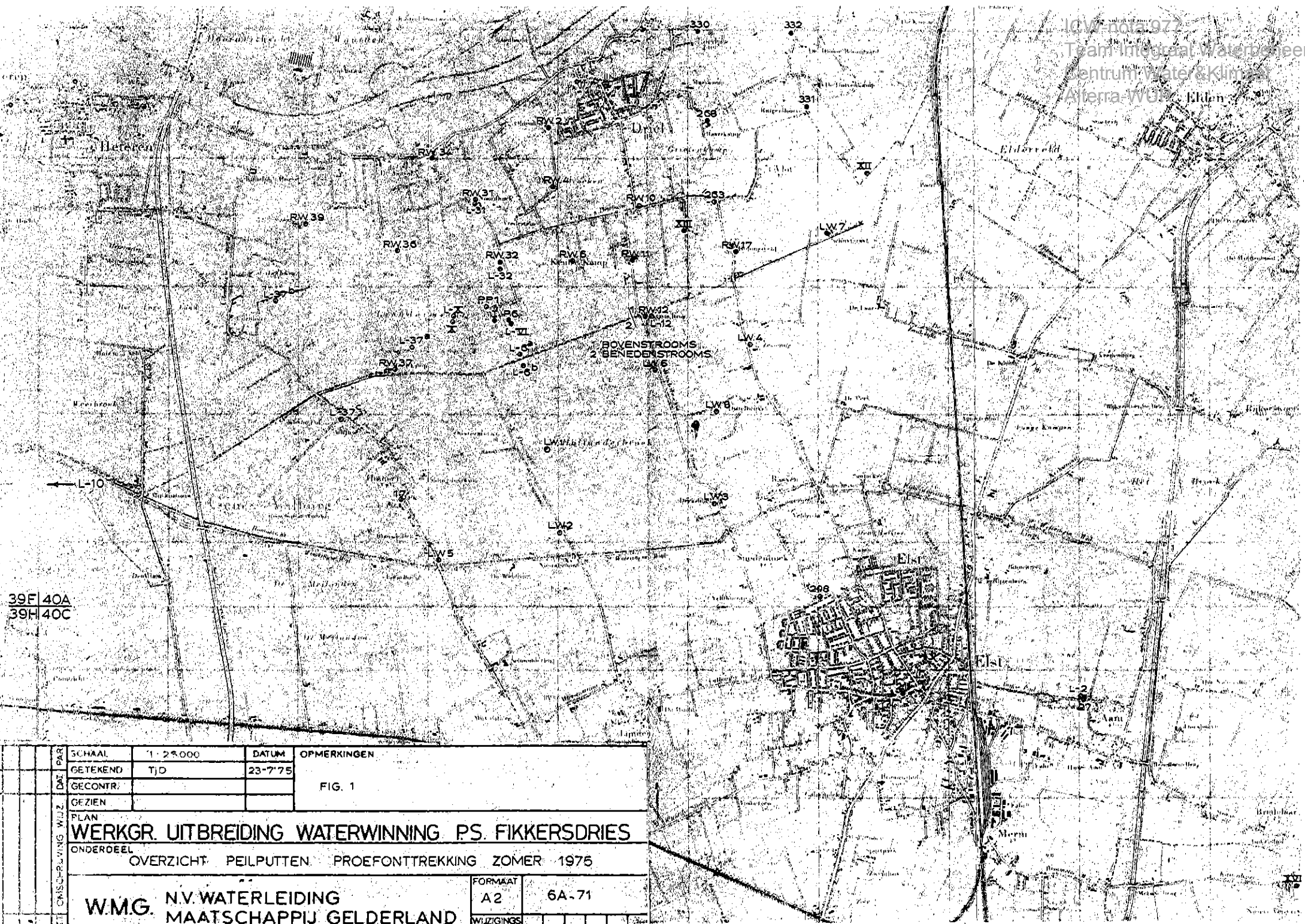
LITERATUUR

ERNST, L.F., 1962. Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij de aanwezigheid van horizontale, evenwijdige leidingen. Verslag. Landbouwkundig Onderzoek 67.15, Wageningen. 189 pp.

PANKOW, J., 1976. Waterbalansonderzoek aan twee graslandpercelen bij het Waterwinstation Fikkersdries. Nota 926, ICW. 16 pp.

STOL, P.T., 1974. Beknopt verslag over een onderzoek naar de samenhang tussen grondwaterstandswaarnemingen in de omgeving van het Waterwinningspompstation Fikkersdries. Nota 812, ICW.

WIT, K.E. en M. WIJNSMA, 1975. Bepaling van de verticale weerstand (c-waarde) op het proefperceel A te Fikkersdries. Nota 888, ICW. 8 pp.

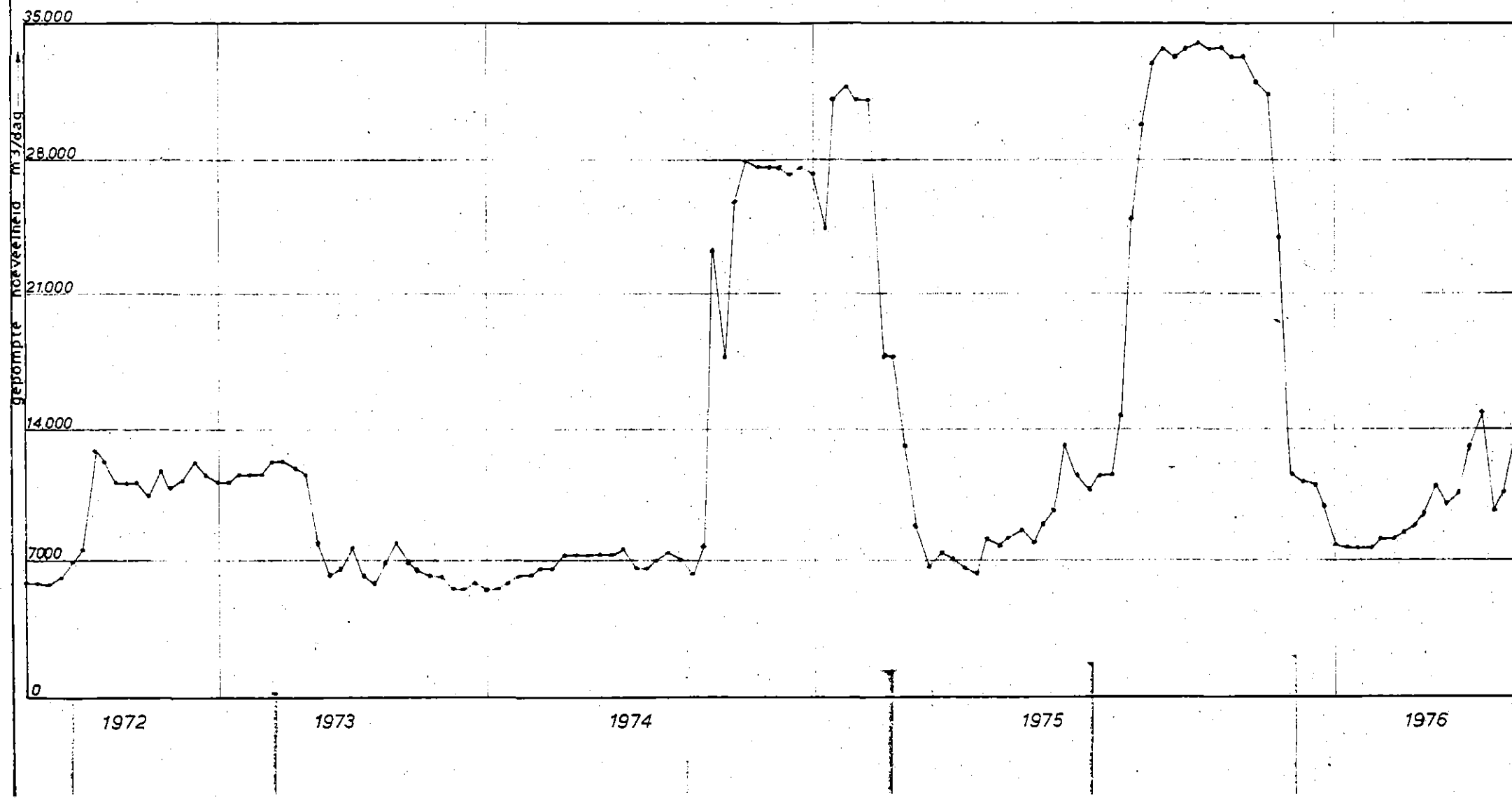


39F 40A
 39H 40C

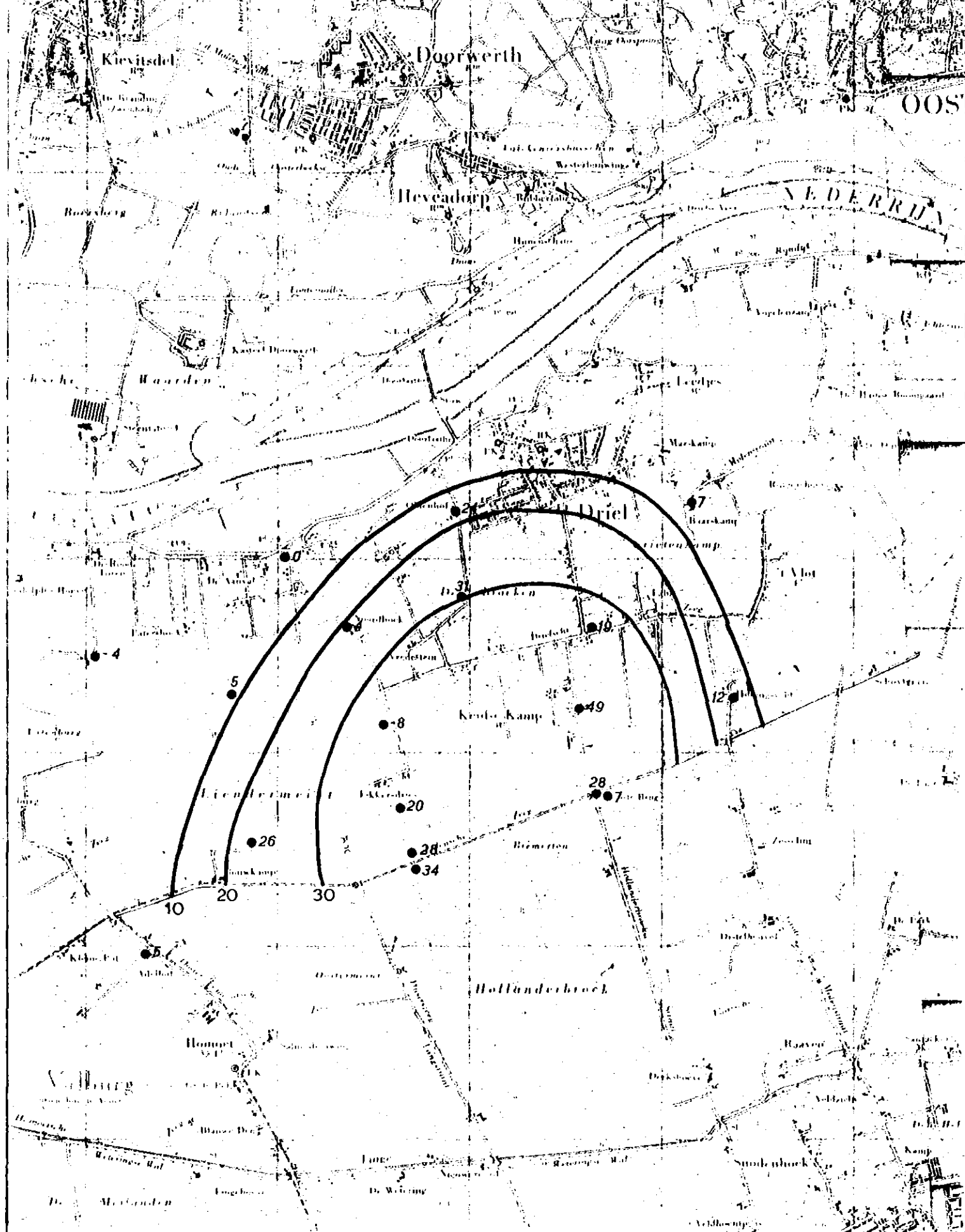
OBSCHRIJVING W.U.Z.	PAR	SCHAAL	1:25.000	DATUM	OPMERKINGEN
	GETEKEND	TJD		23-7-75	
	GECONTR.				
	GEZIEN				
PLAN					
WERKGR. UITBREIDING WATERWINNING P.S. FIKKERSDRIES					
ONDERDEEL					
OVERZICHT PEILPUTTEN PROEFONTTREKKING ZOMER 1975					
W.M.G. N.V. WATERLEIDING				FORMAAT	
MAATSCHAPPIJ GELDERLAND				A2	6A-71
				WU.Z.INGEN	

FIG. 1

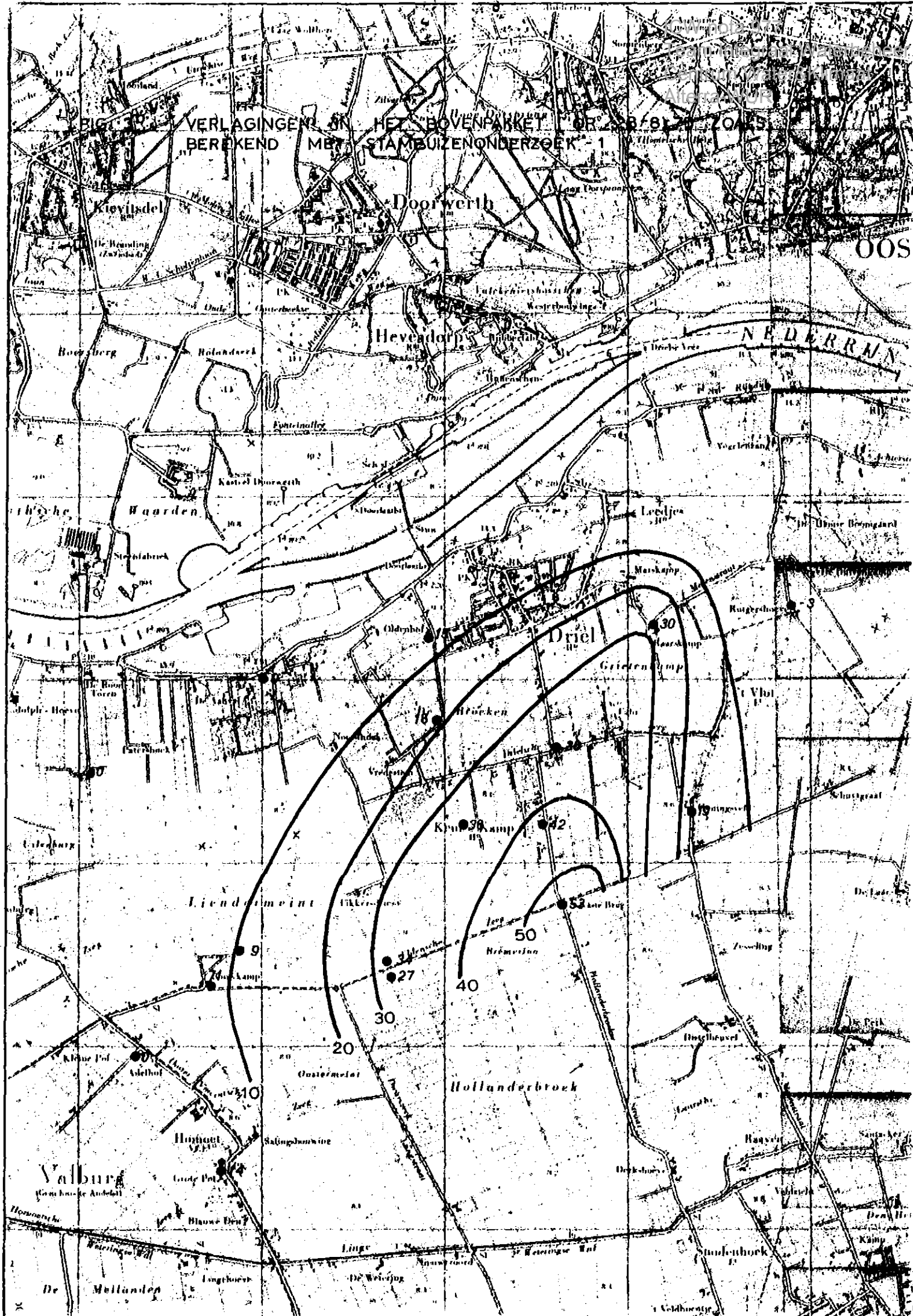
FIG. 2 VERLOOP VAN DE GEPOMPTE HOEVEELHEID MET DE TIJD



005



VERLAGINGEN IN HET BOVENPAKET OF 238/8120/2045
BEREKEND MET STAMBUZENONDERZOEK 1



005

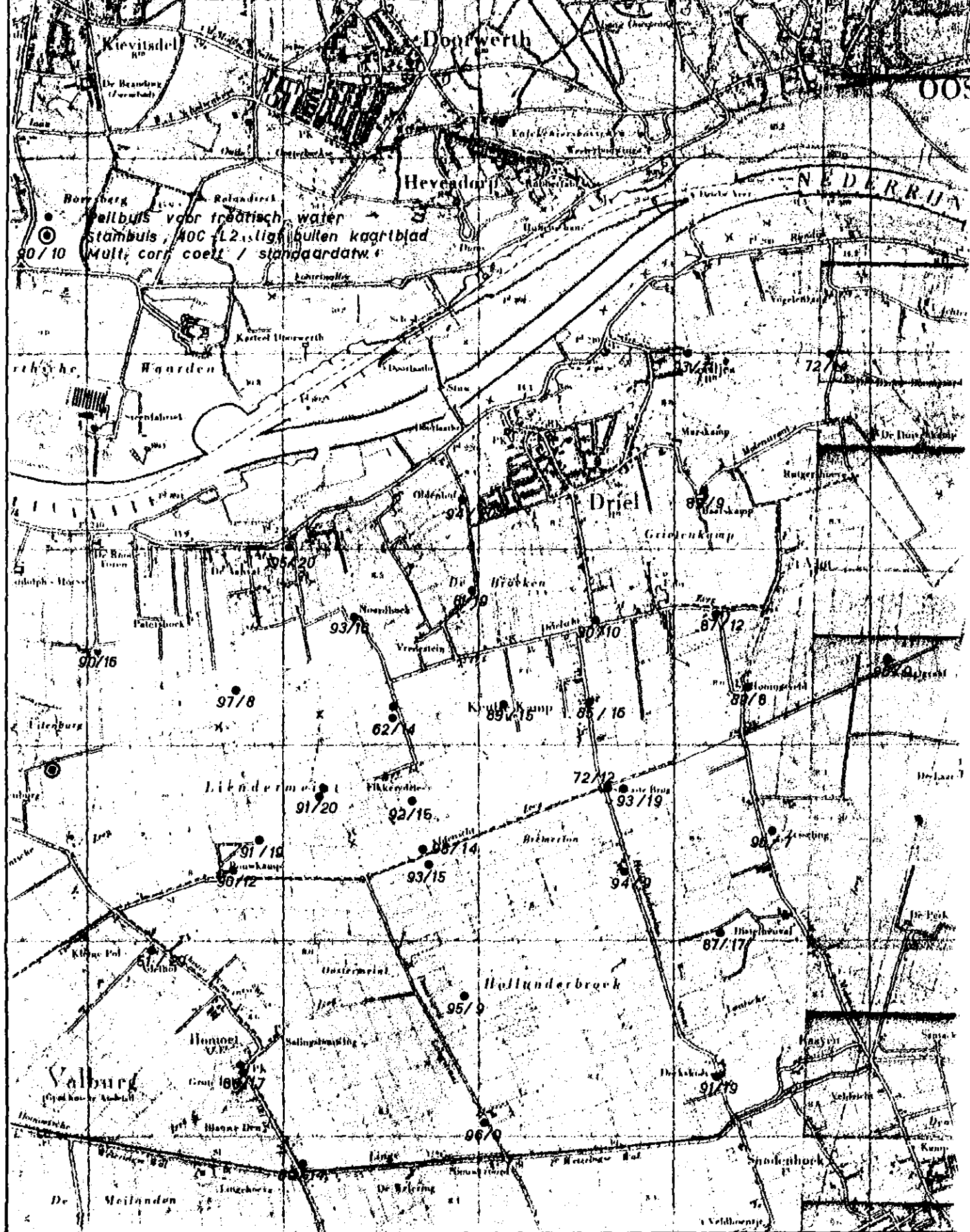
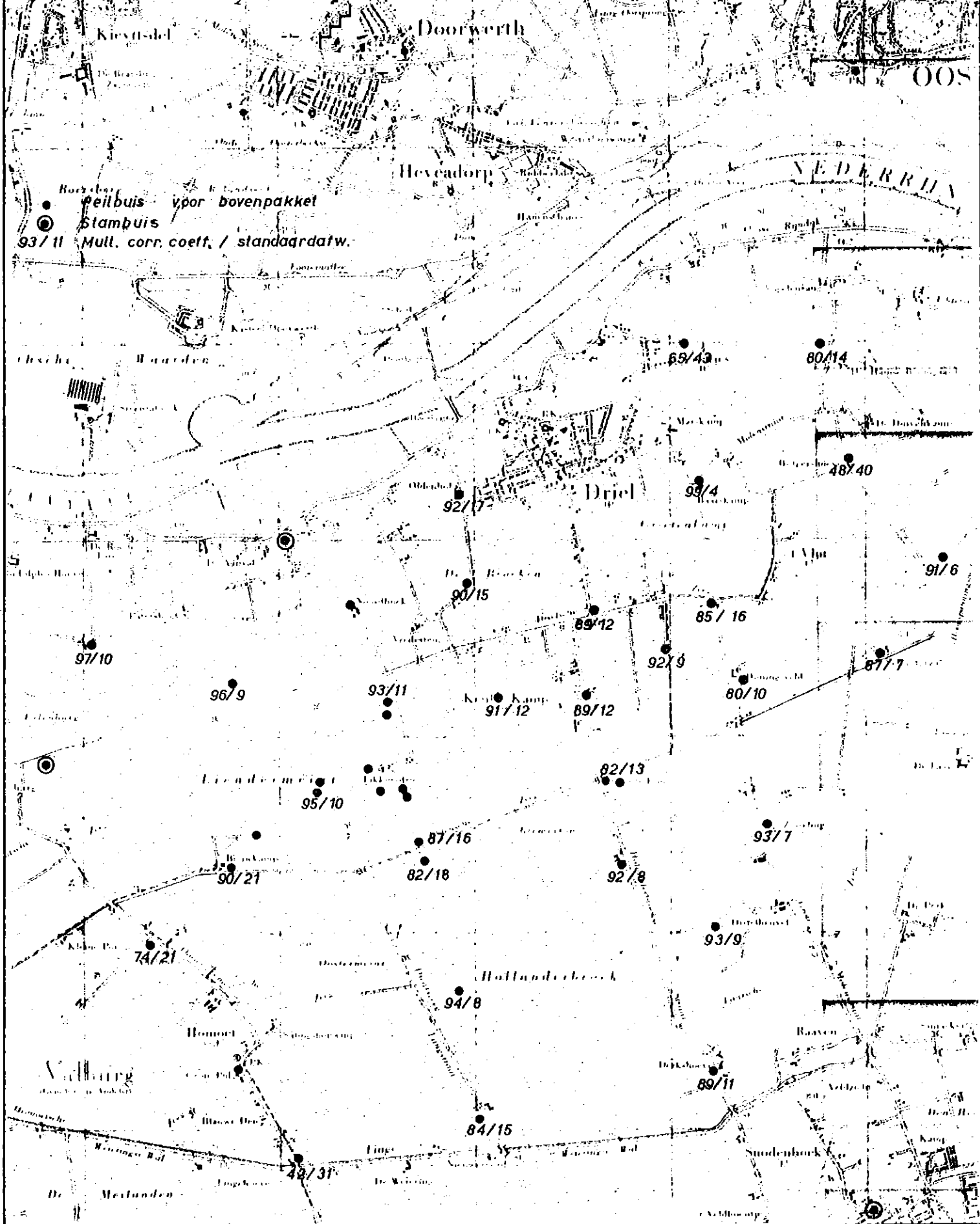
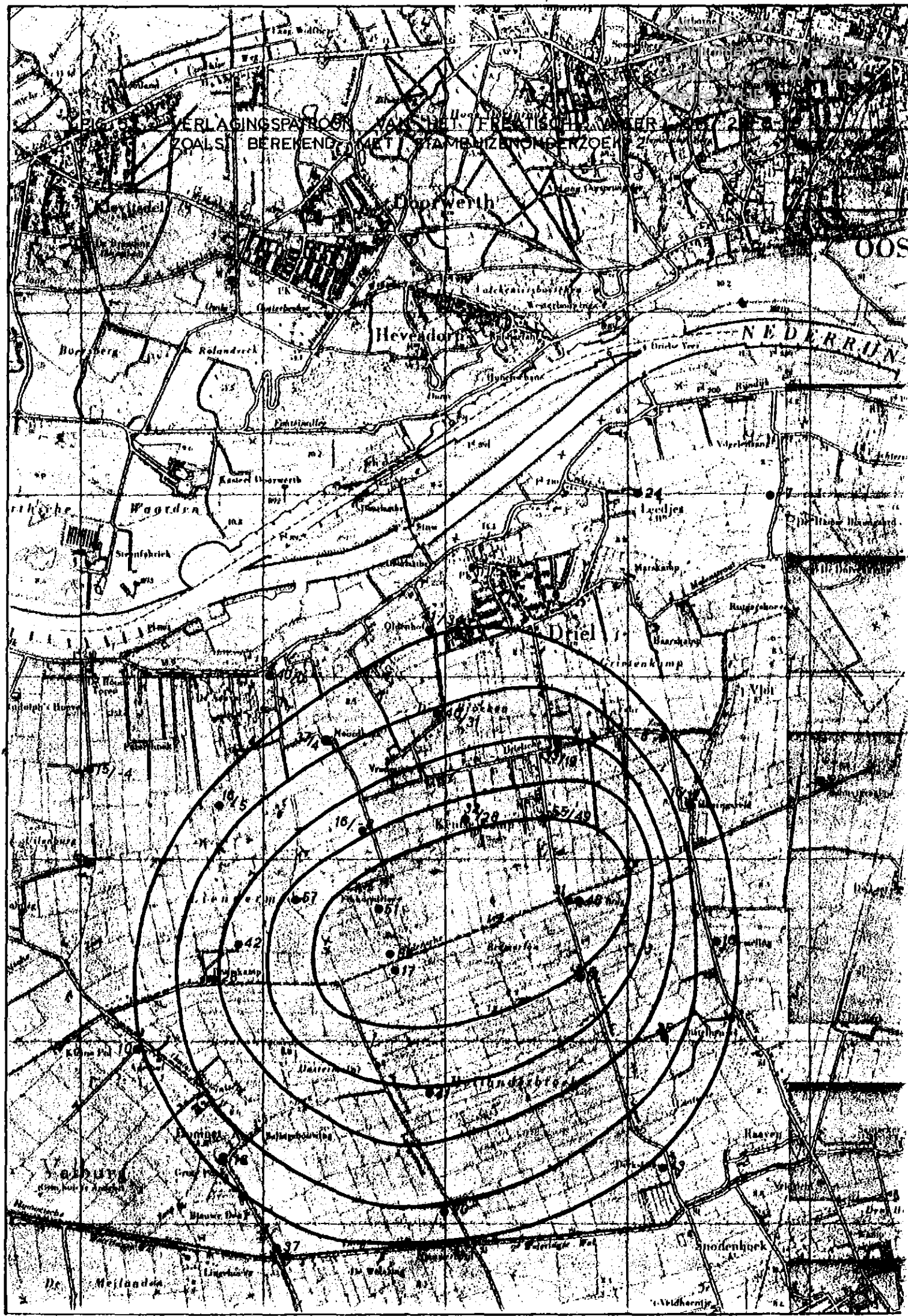


FIG. 4b OVERZICHT VAN DE MULTIPLE CORRELATIECOEFFICIENTEN EN DE STANDAARDAFWIJKING VAN DE BUIZEN DIE DE STUGHOOGTE VAN HET WATER IN HET BOVENPAKKET METEN





005

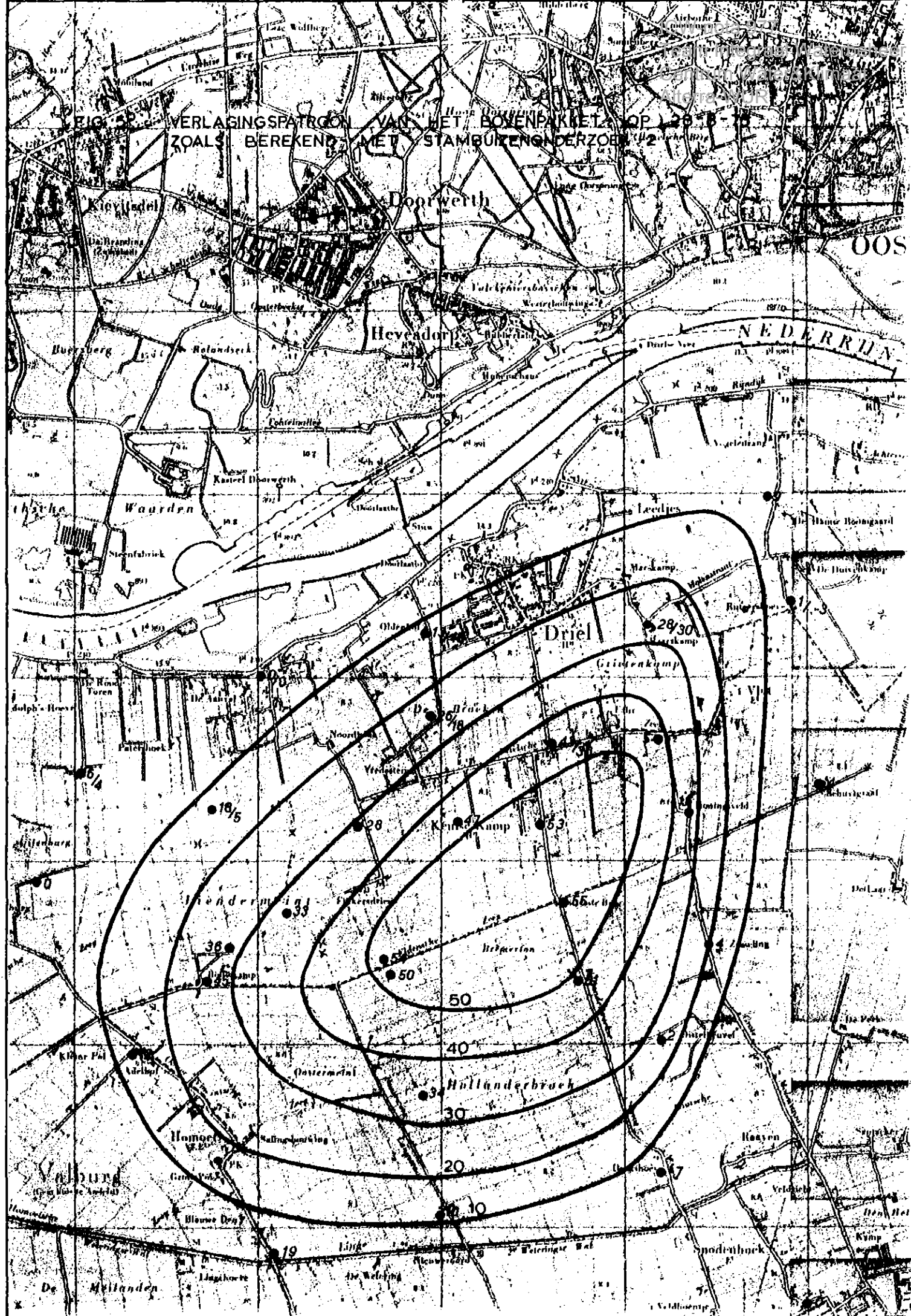


FIG. 6. VERLAGINGSPATROON VAN HET FREATISCH WATER NA EEN WEEK MET 33 mm INEERSLAG

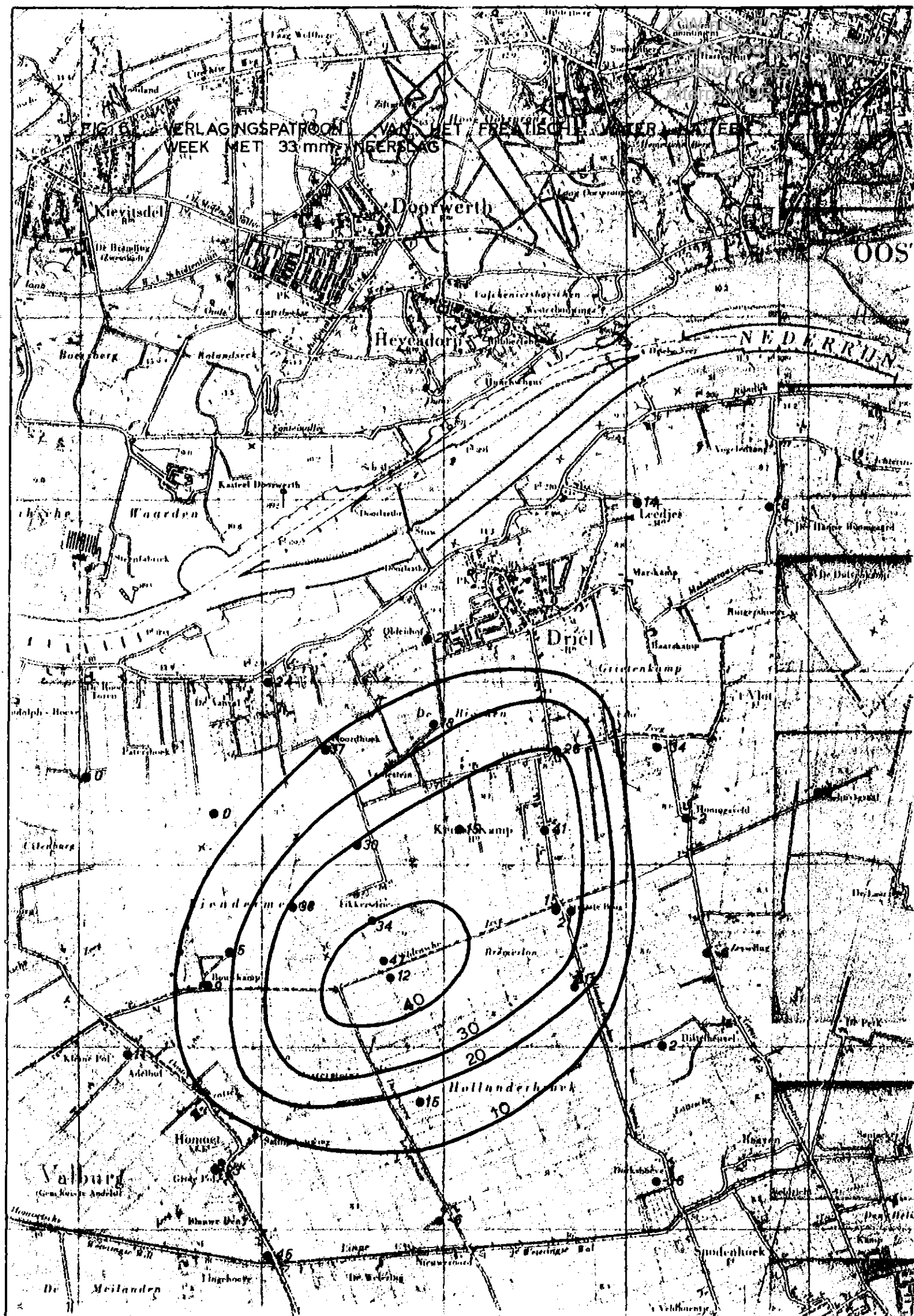


FIG. 7 VOORBEELD VAN HET GEMETEN EN HET GEMETEN - BEREKEND STIJGHOOGTEVERLOOP
 TIJD VAN DE ONDIEPE BUIS L.W 6

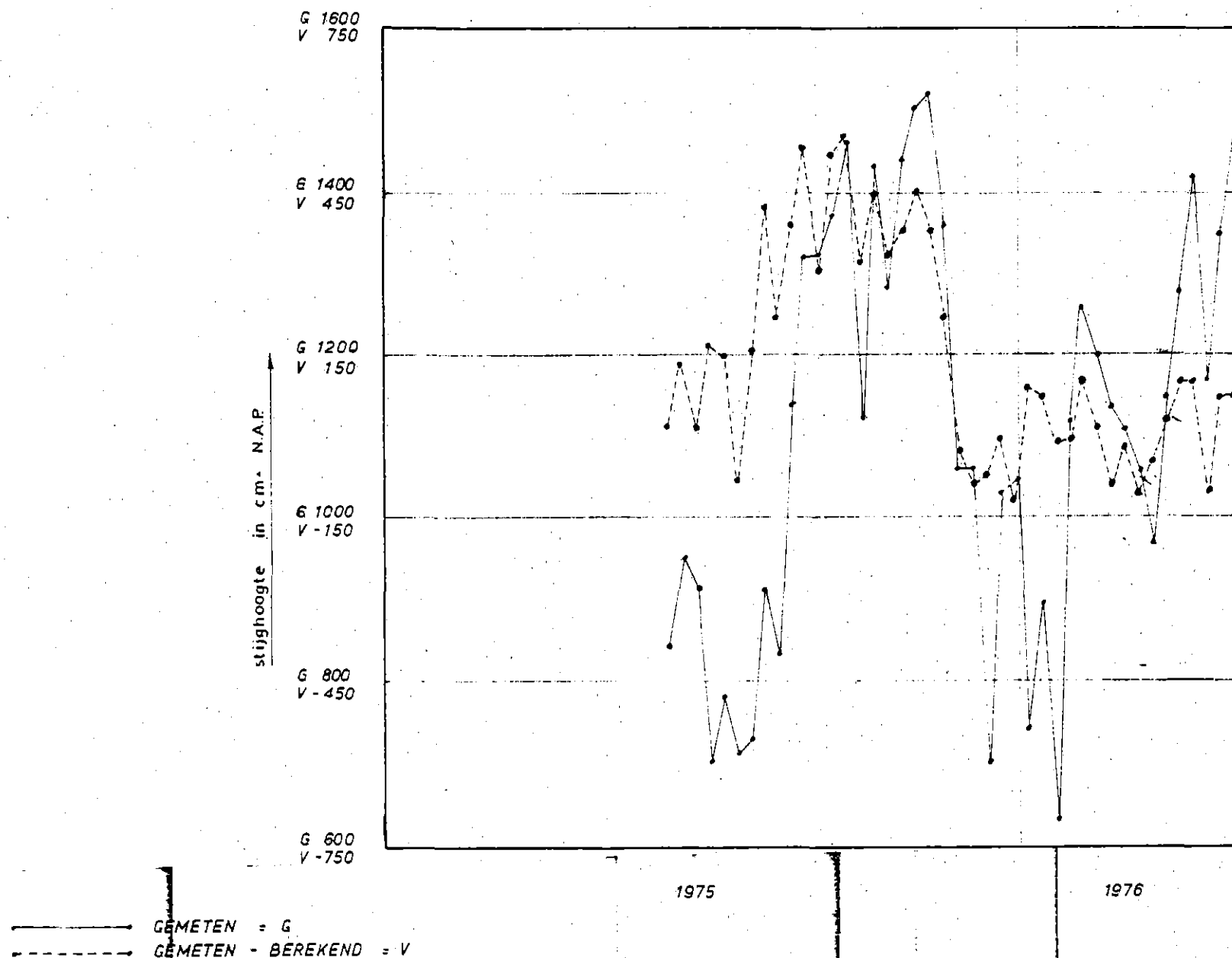


FIG.8 VOORBEELD VAN HET GEMETEN EN HET GEMETEN-GEMETEN STIJGHOOGTEVERLOOP MET DE TIJD VAN DE ONDIEPE BUIS R.W. 6

ICW-nota 977
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

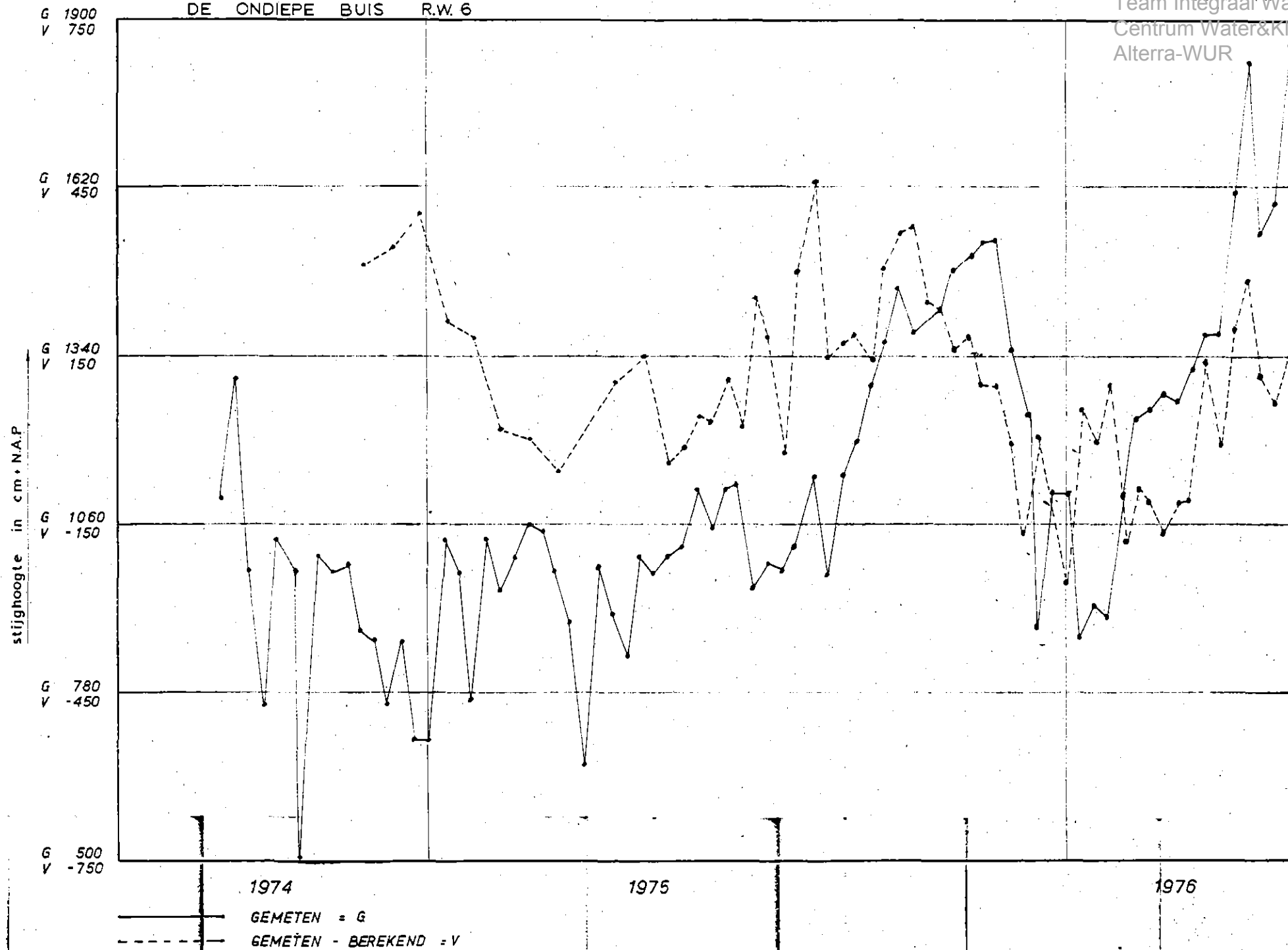


FIG. 9 GEO-HYDROLOGISCHE SCHEMATISERING VAN HET GEBIED TUSSEN RIJN EN LINGE

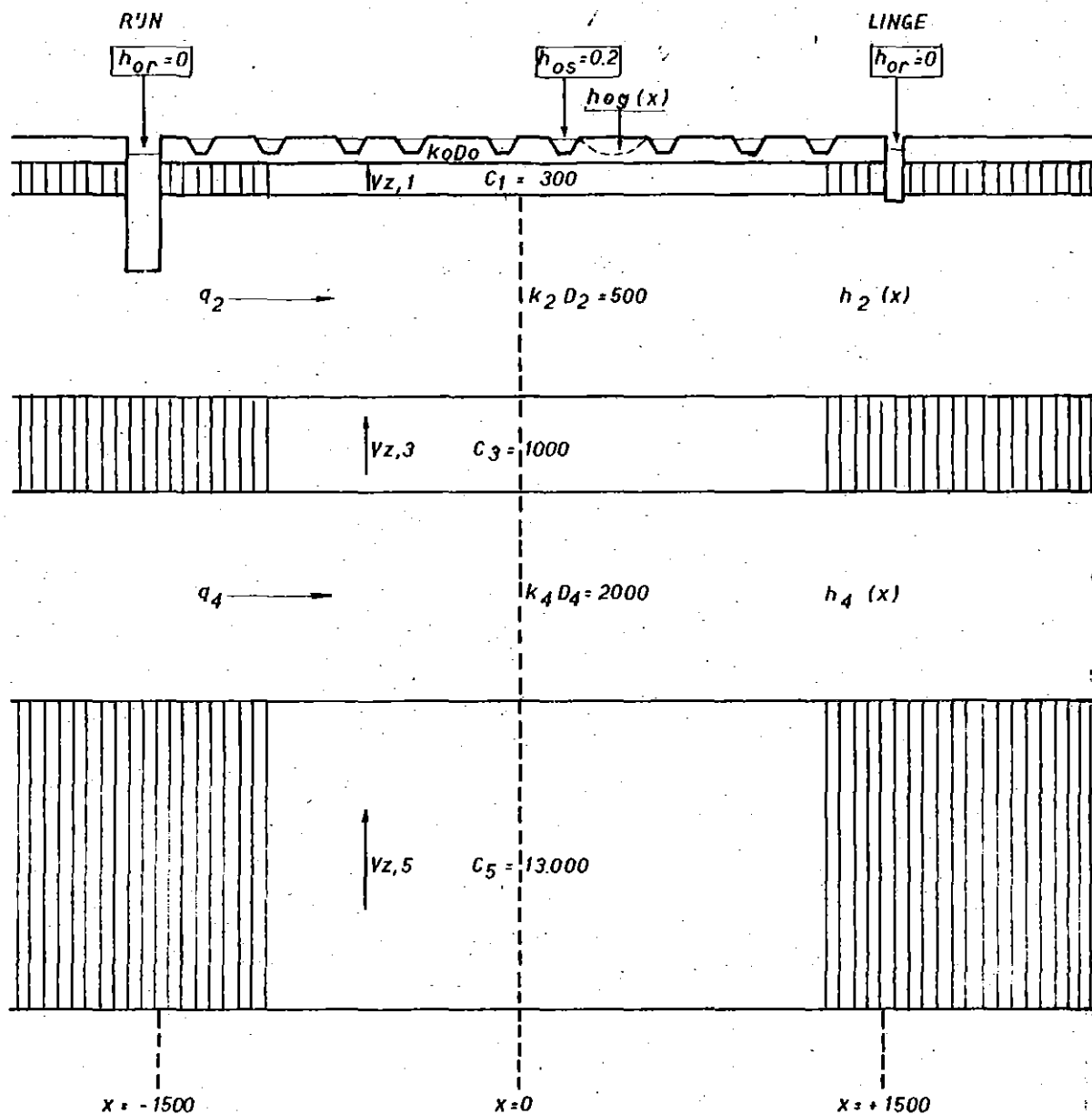


FIG. 10 HORIZONTALE STROMING IN LAAG 0 EN VERTIKALE STROMING VOOR LAAG 1 SCHEMATISCH WEERGEGEVEN IN EEN DWARSPROFIEL DOOR TWEE EVENWIDIG SLOTEN MET AFSTAND $l_s = 100$ m

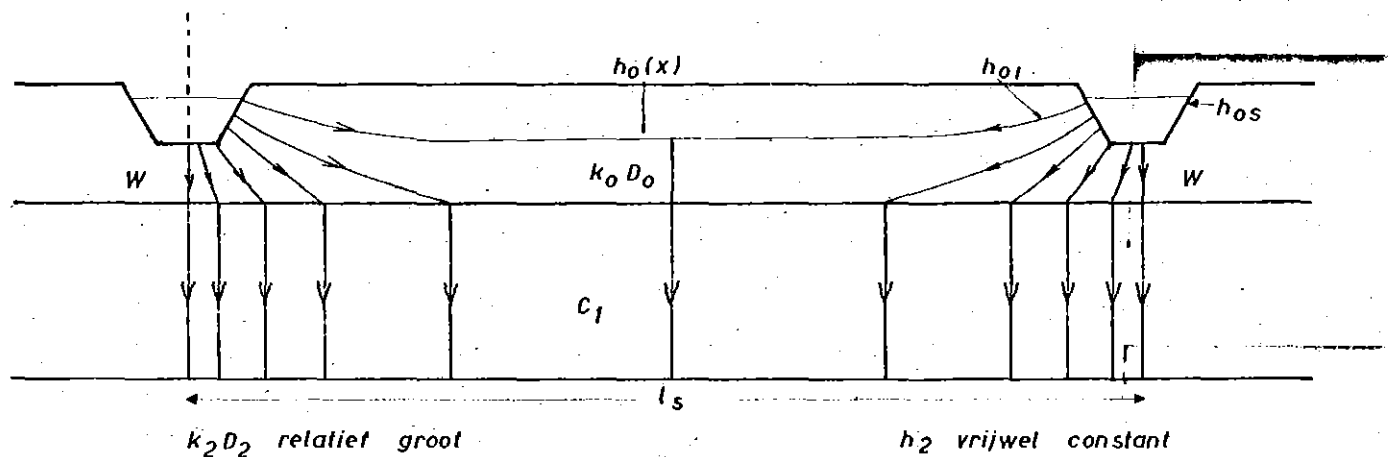
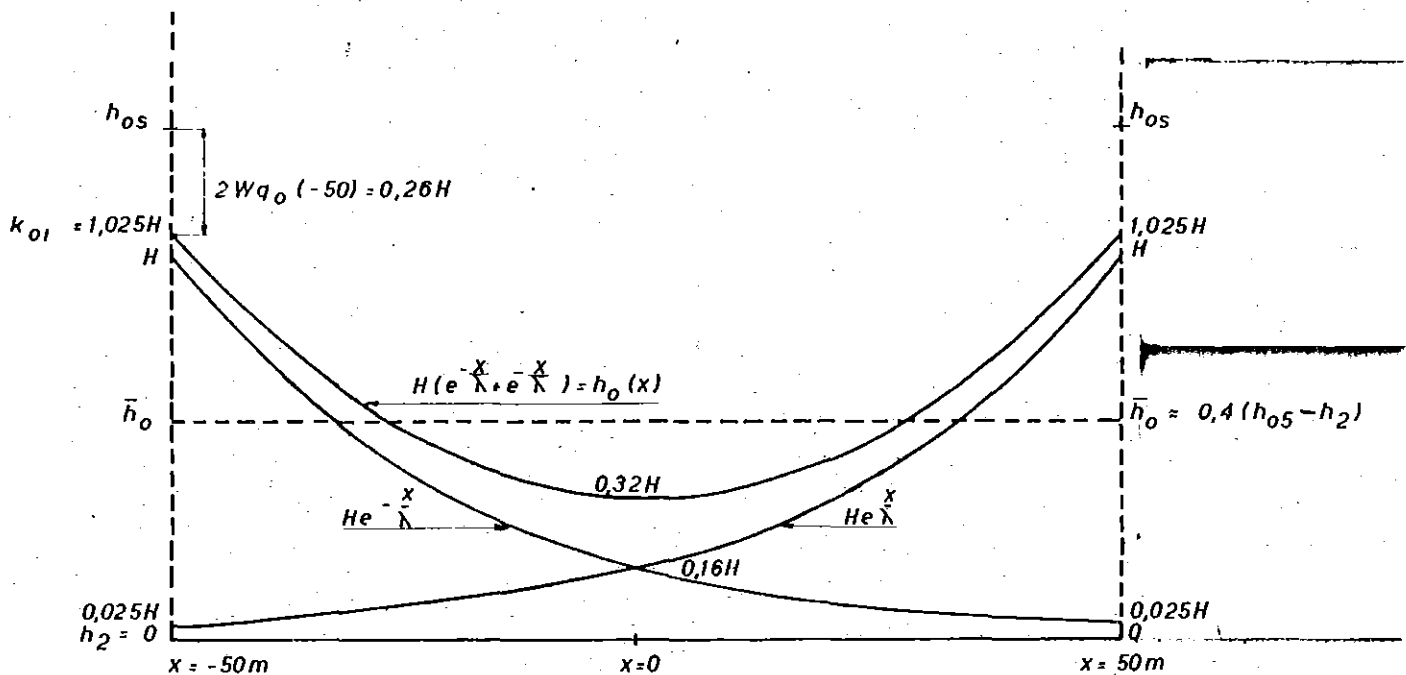


FIG. 11 BEREKENING VAN DE GRONDWATERSTANDVERANDERING BEHOOREND BIJ FIG.10 BIJ GEGEVENS h_{05} EN h_2



$W = 1,5 \text{ dag m}^{-1}$ } zie PANKOW 1976. De waarde van W is iets
 $k_0 D_0 = 2,5 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$ } verlaagd wegens het hogere peil bij infiltratie

$C = 300 \text{ dagen}$: zie WIT en WJNSMA 1975

$$\lambda = \sqrt{k_0 D_0 C} = 27,4 \text{ m}$$

$$e^{-0,5 l_s / \lambda} = 0,16$$

$$h_0 - h_2 = 0,4 (h_{0s} - h_2)$$

$$C_1 = l_s \left(W + \frac{1,025 H}{2 q_0 (-50)} \right) = l_s \left(W + 0,525 \sqrt{\frac{C_1}{k_0 D_0}} \right) = 100 \left(1,5 + 0,525 \sqrt{\frac{300}{2,5}} \right) = 725 \text{ dagen}$$

