

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

HYDROLOGISCH ONDERZOEK VAN HET FOCHTELOOËRVEEN-KOLONIEVELD

dr. L.F. Ernst

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 onder-
zoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

ISBN 109269-03



I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. HYDROLOGISCHE GESTELDHEID	4
3. PEILEN VAN OPEN WATER	6
4. GRONDWATERSTANDEN	8
5. ONDERGRONDSE AFVOER VAN NEERSLAGOVERSCHOT DOOR DE FORMATIES VAN TWENTHE EN EINDHOVEN	10
6. TOTALE JAARLIJKSE GRONDWATERAFVOER EN OPPERVLAKTE- AFVOER	12
7. DE WEERSTANDEN BIJ VERTIKALE STROMING DOOR HET VEEN, DOOR DE ONDIEPE LEEM EN DOOR HET MEEST DOORLATENDE DEEL VAN DE FORMATIE VAN PEEL	16
8. DEBIETMETINGEN IN DE BODEM VAN DE SCHAAPHOKSWIJK	20
9. DE BERGINGS-COEFFICIENT VAN HET VEEN	23
10. FORMULES VOOR DE TWEE-DIMENSIONALE BEREKENING VAN STATIONAIRE VERANDERINGEN IN DE GRONDWATERSTAND	26
11. DE GROOTTE VAN WEERSTANDEN BEREKEND VOLGENS HOOFDSTUK 10	30
12. DE GRONDWATERSTANDSVERLAGING IN HET NATUURRESERVAAT	34
13. DE INVLOED VAN BEPAALDE k_D - EN c -WAARDEN OP DE UITKOMSTEN VAN HOOFDSTUK 12	37
14. DE TOENEMING VAN DE DALING VAN DE GRONDWATERSPIEGEL IN DE ZOMER	41

	Blz.
15. DE INVLOED VAN FLUCTUATIES IN HET PEIL VAN DE SCHAAPHOKSWIJK	42
16. DISCUSSIE	45
17. SAMENVATTING	48
LITERATUUR	50

1. INLEIDING

Ten zuiden en zuid-oosten van het natuureservaat Fochtelooërveen-Kolonieveld (grootte \approx 1200 ha) bevindt zich een relatief laag gelegen gebied (grootte \approx 600 ha), zie fig. 1). De gronden tussen de Jonkerswijk en de van Lierswijk wateren of door de Schaapshokswijk, die in het kader van een voorgenomen vervening in het verleden omstreeks 1900 werd gegraven en thans met afgegraven veengedeelten midden in het reservaat ligt. Het gebied tussen de Norgervaart, de Norgerswijk en de van Lierswijk wordt bemalen op de Norgervaart.

Bij het waterschap Smilde en bij de voorbereidingscommissie voor de ruilverkaveling Smilde bestaan plannen om de waterhuishouding van genoemde lage gebieden te verbeteren. Deze verbetering zal voor een belangrijk deel bestaan uit een peilverlaging, in het bijzonder in het gebied tussen de Grietmanswijk en de Meesterswijk, waar het grondoppervlak het laagste is.

Bij het onderhavige onderzoek is ervan uitgegaan, dat de bestaande afwatering door de Schaapshokswijk zal blijven bestaan en dat voor de afwatering van het achterliggende agrarische gebied het profiel van de Schaapshokswijk in schone staat voldoende ruim is met uitzondering van een bodemondiepte over de meest zuidelijke 150 m, waar deze leiding het reservaat binnen treedt.

Peilsveranderingen in het agrarische gebied kunnen echter voor de aangrenzende delen van het natuureservaat gevolgen hebben in de vorm van een grondwaterstandsdaling, waarvan de grootte met goede benadering evenredig kan worden gesteld met de grootte van de op te leggen peilsverandering.

De beheerder van het reservaat streeft naar een eigen beheer van de Schaapshokswijk met afleiding van het landbouwwater langs een ande-

re weg. Daarbij wordt door de beheerder gedacht aan de nooit volledig uit te sluiten kans dat er bij extreem hoge afvoeren een overstroming van de laagste gronden langs de Schaapshokswijk zou kunnen ontstaan. Dit zou afhankelijk van de kwaliteit van het water op dat ogenblik tot een zekere mate van eutrofiëring kunnen leiden.

Het enigszins onregelmatige reliëf van het agrarische gebied is oorzaak, dat momenteel de wateroverlast niet overal even sterk is en dat plaatselijk zelfs een kleine peilverhoging in de zomer nodig zal zijn. Op een vaststelling van toekomstige peilen voor de verschillende onderdelen van het agrarische gebied behoeft echter niet te worden gewacht om tot een uitspraak over de mogelijke gevolgen te komen, gezien de evenredigheid van peilsverlaging en grondwaterstandsverlaging voor aangrenzende delen van agrarisch gebied en natuurgebied. Om een concreet voorbeeld te kunnen geven zal in dit rapport worden uitgegaan van een peilsverlaging over het gehele landbouwgebied van 0,3 m.

Bij het onderzoek is er in de eerste plaats naar gestreefd antwoord te geven op de vraag, hoe groot de beïnvloeding van het natuurgebied zal zijn. Deze vraag is van zeer groot belang voor het centrale deel van het reservaat, waar het hoogveen nog in de meest natuurlijke toestand voorkomt, maar verder - hoeveel in wat mindere mate - voor de randen van het gebied. Van tevoren mag al worden verwacht, dat een vrij belangrijke afname van de invloed bij toenemende afstand tot de gemeenschappelijke grens zal worden gevonden.

Vervolgens is er aandacht besteed aan een tweede, gelijksoortige vraag, die nauwelijks van minder belang is. Hoe hangt namelijk de in- en uitstroming van water door de bodem van de Schaapshokswijk af van het peil en mogelijke peilveranderingen in deze wijk? Is het mogelijk in grootte-orde aan te geven hoe de verhouding is van gevoeligheid van het natuurreservaat tegenover veranderingen in het agrarische gebied en in de Schaapshokswijk?

Het geohydrologische veldonderzoek, dat in verband hiermee werd begonnen, heeft in zijn belangrijkste onderdelen bestaan uit de uitvoering van boringen, de plaatsing van grondwaterstandsbuizen en de meting van grondwaterstanden, verder de uitvoering van een geo-elektrisch onderzoek en tenslotte een klein aantal debietmetingen in de bodem van de Schaapshokswijk.

Hier kan reeds worden opgemerkt, dat enkele tekorten in het onderzoek zijn blijven bestaan.

Gezien de grote heterogeniteit van het natuurgebied, dat in sommige delen vrij moeilijk toegankelijk is en gezien de sterke gelaagdheid van de ondergrond is het niet te verwonderen, dat aan sommige wensen ten aanzien van de na te streven volledigheid nog niet is tegemoet gekomen. Uit de volgende hoofdstukken zal blijken, dat een aanzienlijke uitbreiding van kennis van dit gebied toch is verkregen en dat een en ander geen overwegend bezwaar heeft opgeleverd bij de beantwoording van de hierboven gestelde vragen.

2. HYDROGEOLOGISCHE GESTELDHEID

Uit diverse onderzoeken is reeds gebleken dat de hydrogeologische gesteldheid van Drenthe in het algemeen vrij ingewikkeld is (GISCHLER, 1967; TERWEE, 1972; WERKGROEP REGION; GEOHYDR; ONDERZOEK DRENTHE, 1978). Door nader onderzoek van de ondergrond van het natuurreservaat Fochtelooërveen-Kolonieveld is gebleken, dat dit ook voor het onderhavige gebied geldt.

In het overgrote deel van het natuurreservaat komt veen aan de oppervlakte voor tot een maximale dikte van 2,5 m. Het veen ontbreekt in een smalle strook langs het fietspad door het Fochtelooërveen. Verder ontbreekt het veen in een zandopduiking tussen de Veenwijk en de Esmeerwijk en in het bosgebied ten noorden van het Esmeer. Tot op een afstand van 1000 m buiten het reservaat wordt aan het oppervlak ook overwegend veen gevonden. De veendiktekaart (fig. 2) is samengesteld uit gegevens ontleend aan een onderzoek (JANSEN, 1975) van een gebied van wat beperkter omvang, voornamelijk het reservaat ten westen van de Schaapshokswijk, uit boorgegevens van de Stiboka voor het zuidelijke agrarische gebied en uit de boringen, die voor het onderhavige onderzoek zijn verricht door de Landinrichtingsdienst, de Provinciale Waterstaat en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Het gebied met levend hoogveen ligt in zijn geheel westelijk van de Schaapshokswijk en valt grotendeels samen met een veendikte van meer dan 1 meter.

Bovengenoemde onderzoeken hebben eveneens voldoende gegevens opgeleverd om kaarten samen te stellen van de dikte van de gliede, de (kei)-leem en de formatie van Eindhoven en van het voorkomen van de potklei (fig. 3, 5 en 6).

Voor de vrij ondiepe formatie van Twenthe, die grotendeels uit matig fijn zand bestaat, was het mogelijk een kaart van de kD -waarden (dat is de gesommeerde waarde van het produkt van doorlaatfactor k en dikte D over alle lagen binnen de formatie) te vervaardigen (fig. 4). In het rapport van Jansen komt namelijk een uitvoerige beschrijving voor van een groot aantal boringen, met voor elke zandlaag de mediaan van de zandfractie en het leemgehalte.

Ten aanzien van het voorkomen van de potklei moet hier worden

vermeld, dat de bovenkant van deze klei gemiddeld op 12 m onder grondoppervlak wordt gevonden, de kleilaag meestal dikker dan 5 m is en als zeer slecht doorlatend kan worden beschouwd. De begrenzing ervan is vrij goed bekend geworden door diverse diepe boringen en door het geo-elektrisch onderzoek van de Dienst Grondwaterverkenning, T.N.O. (STAVENGA en TERWEY, 1977).

Ook het dwarsprofiel in fig. 7 maakt duidelijk hoe onregelmatig de dikte van elke afzetting en het al of niet voorkomen ervan is. Een gemiddelde waarde voor de dikte van elke laag vindt men in tabel 1.

Tabel 1. Geohydrologisch profiel voor het Fochteloërveen en het Kolonieveld

Afzetting	Textuur	Gem. dikte in m
1a. Holocene	Veen	0,7
1b. Holocene	Gliede	0,1
2. Formatie van Twenthe	Matig fijn zand	0,8
3. Formatie van Drenthe	Keileem	1,5
4. Formatie van Eindhoven	Matig fijn zand	9
5. Formatie van Peelo	Potklei	28
6. Urk/Harderwijk	Grof zand	200
7. Tertiair	Basisklei	-

3. PEILEN VAN OPEN WATER

De Schaaphokswijk loopt midden door het natuurreservaat en heeft over zijn gehele lengte een vrij constant peil, dat relatief laag is ten opzichte van de hoge delen van dit gebied (fig. 8, peilschalen 6 en 7). De afwatering van het agrarische gebied tussen de Jonkerswijk en de van Lierswijk loopt door deze Schaaphokswijk. Wijken en sloten staan ermee in open verbinding bij een ongeveer gelijk zomer- en winterpeil ($\approx 8,60$ m + NAP). Het geringe verval blijkt onder meer uit enkele waarnemingen in de grensleiding tussen natuurreservaat en agrarisch gebied bij peilschaal 1 en uit de langer waargenomen peilschalen 6 en 7.

De vloeivelden die uitsluitend gevoed worden door neerslagwater, hebben een veel hoger peil (peilschaal 8). Dit peil van maximaal $+ 10,70$ m wordt beheerst door een sluis met overlaat aan de oostzijde, waar de vloeivelden praktisch aan de Schaaphokswijk grenzen (afstand tussen hoge en lage leiding ≈ 10 m).

Meer noordelijk ligt de Reservaatwijk die afgedamd is om het verlies van water uit het reservaat zoveel mogelijk tegen te gaan. Om bij zeer hoge waterstanden overstroming en beschadiging van deze dam tegen te gaan is er een kleine duiker geplaatst, die in de natte perioden nog vrij veel afvoer geeft en het peil over het winterhalfjaar (niet gemeten) op ongeveer $+ 9,25$ m houdt.

Aan de oostzijde van het natuurreservaat ligt de Norgervaart die in open verbinding staat met de Drentse Hoofdvaart (peil $11,40$ m + NAP). Via een sluis gaat de Norgervaart over in de Kolonievvaart, die voor een deel aan de noordzijde van het reservaat grenst. Door twee sluizen wordt de Kolonievvaart verdeeld in drie panden, respectievelijk met peilen $9,50$ m; $8,50$ m en $6,10$ m. De Schaaphokswijk heeft een open verbinding met het tweede pand van de Kolonievvaart.

De Kolonievvaart heeft vermoedelijk slechts weinig directe invloed op het natuurreservaat door het lage peil van de waterlossing voor het Kolonieveld. De leiding begint in de omgeving van het Esmeer, heeft verscheidene vertakkingen in de omgeving van grondwaterstandsbuis 19 en gaat wegens het lagere peil met een duiker onder de Schaaphokswijk door. Vandaar loopt deze leiding op een afstand van 300 m

evenwijdig aan de Kolonievvaart door om tenslotte om te buigen en aan te sluiten in een punt van het derde pand, waar de Zesde Veenhuizer Wijk begint, die de verdere afvoer in noord-noordoostelijke richting verzorgt.

Het peil van bovengenoemde waterlossing is nagenoeg onbekend. De lengte is vrij groot en er zijn geen waarnemingen verricht. De lage grondwaterstanden ten oosten van het gesticht Bankbosch worden mogelijk veroorzaakt door de drainerende werking van deze leiding en zijn zijtakken, maar ook is het niet uitgesloten, dat het gat in de potklei wat groter van omvang is en bovendien beter doorlatend, dan tot nu toe werd aangenomen.

De Veertigroewijk, de Esmeerwijk en de Veenwijk staan ook met genoemde waterlossing in verbinding. Volgens het rapport van Jansen heeft de Veertigroewijk dicht bij de Schaaphokswijk een peil van 10,11 m. Wegens het ontbreken van geregelde waarnemingen van de peilen in deze wijken en van grondwaterstanden er vlak naast, kan over de invloed ervan geen enkele uitspraak worden gedaan. Het peil van het Esmeer is wel regelmatig waargenomen (peilschaal 3) en ligt voor dit gebied relatief erg hoog. Bij zeer hoge waterstanden geeft het Esmeer aan de westkant een geringe afvoer op het genoemde leidingenstelsel.

Het peil van de Lycklamavaart ($\approx 10,0$ m) is over het meest westelijke deel eveneens regelmatig waargenomen (peilschaal 8). Dit peil ligt zover boven de grondwaterstanden volgens buis 11 (verschil ongeveer 1,7 m) dat de invloed van deze vaart, vermoedelijk door een zeer dichte bodem, wel te verwaarlozen is. Echter onmiddellijk naast peilschaal 8 bevindt zich een stuw, waardoor ten oosten daarvan het peil van de Lycklamavaart veel lager ligt en wel volgens opgave in het rapport van Jansen $\approx 8,89$ m.

4. GRONDWATERSTANDEN

Op 42 plaatsen in het natuurreservaat en op 13 plaatsen daarbuiten zijn grondwaterstandsbuizen gezet (fig. 9). In de meeste gevallen werden daarbij op eenzelfde plaats (afstand hoogstens enkele meters) meerdere buizen gezet en wel afhankelijk van de omstandigheden in het veen, in de formatie van Twenthe of in de formatie van Eindhoven.

Door verstopping of vernieling werden sommige buizen onbruikbaar. Bovendien is het duidelijk, dat in de zomerperiode de ondiepe buizen droog kunnen komen te staan. Voor zover de buizen echter in orde waren, werden de grondwaterstanden waargenomen vanaf april 1976 tot tijdens de samenstelling van dit rapport, einde 1979.

Fig. 10 geeft een isohypsenkaart van 28 april 1978 voor de formatie van Eindhoven. Deze waarnemingsdag is gekozen omdat toen betrekkelijk veel waarnemingen beschikbaar waren en de toestand dicht bij het langjarige gemiddelde was gelegen. Enkele ontbrekende waarnemingen konden door extrapolatie worden aangevuld.

De kaart met stijghoogtelijnen voor het diepe grondwater in de samenhangende formaties van Urk en Harderwijk (fig. 11) is in eerste instantie overgenomen uit bijlage 14 van het rapport Regionaal Geohydrologisch Onderzoek in de Provincie Drenthe. Deze bijlage heeft echter betrekking op 25 april 1971. Vervolgens heeft een vergelijking plaatsgehad met de waarnemingen over 1977 en begin 1978 in een twaalfstal diepe buizen niet al te ver buiten het natuurreservaat gelegen (max. afstand 12 km) en vroeger reeds gebruikt voor bijlage 14 van genoemd rapport. Daaruit kon worden afgeleid, dat op 28 april 1978 het grondwateroppervlak in zijn geheel ongeveer 8 cm boven het niveau van 28 april 1971 was gelegen. Deze kleine verschuiving is in fig. 11 ingetekend. Hierbij moet echter worden opgemerkt, dat dit nog geen mogelijkheid geeft enige uitspraak te doen omtrent de nauwkeurigheid van de interpolatie in het wijde net van diepe grondwaterstandsbuizen.

Een viertal verticale doorsneden is gemaakt (fig. 12) om een wat duidelijker beeld te geven van de ligging van de drie stijghoogteoppervlakken, respectievelijk voor de formaties van Twenthe, Eindhoven

en Urk-Harderwijk, ten opzichte van elkaar en ten opzichte van het maaiveld.

In deze profielen is de grondwaterspiegel (freatisch niveau) niet ingetekend. Daarvoor was het aantal ondiepe buizen te klein. Slechts 15 grondwaterstandsbuizen hadden de onderkant van het filter op minder dan 1 m onder maaiveld en daarbij waren er 5 met de onderkant van het filter op minder dan 0,5 m onder maaiveld. Bovendien moet hierbij worden bedacht dat juist in het ondiepe grondwater het verloop van de stijghoogte zeer grillig kan zijn.

In verband met het belang van een kennis van de diepte van het freatisch oppervlak, waar het gaat om instandhouding van het hoogveenreservaat als zodanig, zijn twee kaarten samengesteld, respectievelijk van de winter- en van de zomergrondwaterstand (fig. 13 en 14). In deze kaarten is getracht een gemiddelde waarde te geven van de hoogste en de laagste grondwaterstanden, die jaarlijks werden gemeten gedurende 1976-1979. De zeer lage zomergrondwaterstanden van 1976 werden daarbij echter buiten beschouwing gelaten. Gezien het feit, dat er op niet meer dan 40 plaatsen bruikbare gegevens werden verkregen en dat daarbij in ongeveer de helft van de gevallen nog geëxtrapoleerd moest worden omdat de filters in een wat diepere laag stonden, blijkt daaruit wel dat aan deze beide kaarten slechts een zeer globaal karakter kan worden toegekend.

In hoofdstuk 7 zal er op worden ingegaan in hoeverre het mogelijk is een duidelijker beeld te krijgen van de stijghoogteverschillen tussen de diverse grondwater-etages. Een inzicht in grootte-orde en verdeling van deze verschillen kan immers van nut zijn bij een verklaring van de verticale grondwaterbeweging door de slecht doorlatende lagen.

5. ONDERGRONDSE AFVOER VAN NEERSLAGOVERSCHOT DOOR DE FORMATIES VAN TWENTHE EN EINDHOVEN

In de ondergrond van Drenthe bevindt zich een zeer dik pakket van grove, grindrijke zanden. Volgens pompproeven hebben de niet gescheiden formaties van Urk en Harderwijk te zamen een kD -waarde in grootte-orde gelijk aan $3000 \text{ m}^2/\text{d}$. Doordat in het onderhavige gebied de potklei in belangrijke mate de wegzijging van neerslagoverschot naar de diepe watervoerende laag belemmert, zal moeten worden nagegaan, in welke mate er afvoer mogelijk is door een horizontale grondwaterstroming in de formatie van Twenthe en Eindhoven.

Om de horizontale grondwaterstroming te bepalen, die een gegeven gebied verlaat, is het nodig langs de randen van dit gebied de kD -waarden en de grondwaterstandsgradiënten te kennen. De gemiddelde doorlaatfactor van het matig fijne zand in de formaties van Twenthe en Eindhoven is verkregen door meting van de korreldiameter en schatting van het slibgehalte met een binoculair microscoop. Bij een mediaan $M_{50} = 150 \text{ micron}$, een soortelijk oppervlak $U = 75 \text{ cm}^{-1}$ en 1% slib $< 16 \text{ micron}$ behoort een doorlaatfactor $k = 7 \text{ m/d}$ (persoonlijke mededeling E. VAN REES VELLINGA, 1978).

Dit leidde tot een gemiddelde kD -waarde van $6 \text{ m}^2/\text{d}$ voor de formatie van Twenthe (fig. 4) en een gemiddelde kD -waarde van $65 \text{ m}^2/\text{d}$ voor de formatie van Eindhoven.

De isohypsenkaart voor 28 april 1978 is gebruikt voor een 520 ha groot gebied ten noorden van de verbindingslijn van de buizen 11 en 21 en omsloten door de grondwaterstandslijn van + 9,5 m. Voor dit gebied werd gevonden dat bij een kD -waarde van $65 \text{ m}^2/\text{d}$ de afvoer gemiddeld $1280 \text{ m}^3/\text{d}$ moet zijn. Voor de specifieke afvoer (afvoer per oppervlakte-eenheid)* volgt hieruit: $U_4 = 0,25 \text{ mm/d}$.

Voor een wat kleiner gebied van 180 ha tussen Schaaphokswijk en Esmeer werd dezelfde bepalingsmethode toegepast als voor het gebied van 520 ha westelijk van de Schaaphokswijk. Daarbij werd de kD -waarde

*De index van de specifieke afvoer U_i komt overeen met de nummering van de lagen in tabel 1

onveranderd gehouden. Gezien de kleinere omvang van het gebied en het onregelmatigere verloop van de isohypsen zou hier aan de uitkomst een wat kleinere betrouwbaarheid moeten worden toegekend. De gevonden waarde voor de specifieke afvoer bleek echter nauwelijks af te wijken van wat in het vorige geval werd gevonden: $U_4 = 0,24$ mm/d.

Uit fig. 12 is af te lezen dat afgezien van de omgeving van het Esmeer de stijghoogte-oppervlakken voor de formaties van Twenthe en Eindhoven vrij goed evenwijdig zijn. Dit houdt in dat de debieten voor deze beide formaties evenredig zijn met de kD -waarden. Daaruit volgt als gemiddelde waarde voor de specifieke afvoer door de formatie van Twenthe: $U_2 = 0,02$ mm/d.

6. TOTALE JAARLIJKSE GRONDWATER AFVOER EN OPPERVLAKTE AFVOER

Langjarige gemiddelden zijn voor de neerslag en de verdamping van open water in Nederland redelijk goed bekend. De neerslagmetingen hebben voor het Fochtelooërveen en omgeving als jaargemiddelde een hoeveelheid van 800 mm opgeleverd (KLIMAATATLAS VAN NEDERLAND, KNMI, 1972). Wegens het windeffect moet dit bedrag met ongeveer 5% worden verhoogd (DE BRUIN, 1977), wat leidt tot de volgende gemiddelde waarde voor de neerslag: $P = 840$ mm/jaar.

Van de gemiddelde verdamping van open water wordt gebruik gemaakt om na vermenigvuldiging met een zekere reductie-coëfficiënt (meestal gesteld op $\approx 0,75$) te komen tot de gemiddelde werkelijke verdamping. Volgens gegevens van het KNMI is de open waterverdamping berekend volgens Penman voor Drenthe gemiddeld 680 mm/jaar.

De werkelijke verdamping zou dus gemiddeld 510 mm/jaar bedragen. Het is echter de vraag in hoeverre de verdamping van niet in cultuur gebrachte hoogveengebieden hieraan gelijk kan worden gesteld. Voor dergelijke hoogveengebieden in het noordwestelijke deel van West-Duitsland worden gemiddelde verdampingswaarden opgegeven vanaf 480 tot ruim boven 500 mm/jaar (EGGELSMANN, 1964; UHDEN, 1967). Hoewel niet kan worden uitgesloten, dat een hoogveengebied door gedeeltelijk onder water staan in de winter relatief wat meer en door de uitdroging in de nazomer wat minder zal verdampen, kan hieruit als belangrijkste conclusie worden afgeleid, dat wat betreft de verdamping het natuurreservaat vermoedelijk weinig afwijkt van het gemiddelde voor geheel Drenthe.

Voor het gemiddelde neerslagoverschot volgt hieruit:

$$\bar{N} = 1,05 \bar{P} - 0,75 E_0 = 840 - 510 = 330 \text{ mm/jaar} = 0,9 \text{ mm/d}$$

De grootte van de afvoer in hoofdstuk 5 berekend voor de formaties van Twenthe en Eindhoven ligt hier ver beneden. Een component van de diepe grondwaterafvoer is tot nu toe nog niet kwantitatief in rekening gebracht, namelijk de wegzijging naar de formaties van Urk en Harderwijk. Voor zover de formatie van Peelo uit potklei bestaat, mag worden verwacht, dat deze wegzijging zeer zwak is. Om de grootte-orde ervan te kunnen aangeven is een schatting nodig van de vertika-

le weerstand van de potklei. Op dit punt is echter geen enkel concreet gegeven beschikbaar en daarom zal zonder commentaar de relatief zeer hoge waarde van 100 000 dagen worden ingevoerd.

Voor het overgrote deel van het Fochtelooërveen en voor het meest noordwestelijke deel van het Kolonieveld is het verschil tussen de stijghoogte in de formatie van Eindhoven (ϕ_4) en in het diepe watervoerende pakket (ϕ_6) zeer groot, gemiddeld 3 m (zie fig. 12, profielen AA' en CC' en fig. 17)*.

Voor de wegzijging door de potklei volgt nu:

$$U_6 = \frac{\phi_4 - \phi_6}{c_5} = \frac{3 \text{ m}}{100 \ 000 \text{ d}} = 0,03 \text{ mm/d}$$

Voor het noordelijke en zuidelijke deel van het Kolonieveld oostelijk van de Schaaphokswijk, waar de potklei volgens fig. 6 nog aanwezig is, is het stijghoogteverschil veel kleiner, respectievelijk 0,3 m en 0,9 m. Het heeft weinig zin hier een andere waarde voor de verticale weerstand van de potklei te nemen. Op grond van een evenredigheid met het stijghoogteverschil volgt dus voor genoemde delen van het Kolonieveld als waarden voor de wegzijging in grootte-orde respectievelijk 0,003 mm/d en 0,01 mm/d.

Uit bovengenoemde bedragen kan worden afgeleid, dat behalve een voortdurende vrij constante afvoer door de diepe pakketten er nog een grote restpost moet zijn. Deze restpost bestaat uit afvoer in de natte perioden van het jaar (vooral het winterhalfjaar) en wel door de ondiepe lagen van de grond en over het grondoppervlak.

In het natuurreservaat bevinden zich sloten met een bodemdiepte tussen 0,5 m en 1 m, soms nog iets dieper onder het zeer oneffen grondoppervlak. De afvoer door deze sloten wordt in zekere mate belemmerd door bodemdrempels en dammen. In natte perioden met zeer ondiep freatisch oppervlak (boven - 0,1 m) kan de formatie van Twenthe een niet te verwaarlozen bijdrage tot deze afvoer geven, vooral daar waar de slootbodembodem onder de gliede in het relatief goed doorlatende

*De index van de stijghoogte ϕ_i en van andere grootheden komt overeen met de nummering van de lagen ¹ in tabel 1

zand van de formatie van Twenthe is gelegen. Nog belangrijker voor deze afvoer component is de doorlatendheid van het veen. In de bovenlaag van het veen (het witveen: WILLEMS, 1976) worden doorlaatfactoren gevonden, welke soms aanzienlijk boven 1 m/dag liggen. Bij een kD-waarde van $0,5 \text{ m}^2/\text{dag}$ voor het bovenste veen en bij een grondwaterspiegel gelijk maaiveld kan deze grondwaterafvoer op maximaal 0,3 mm/dag worden geschat.

Uit het bovenstaande volgt, dat de oppervlakte-afvoer de grootste bijdrage tot de totale afvoer moet geven. Volgens het onderzoek van Jansen kwamen de grondwaterstanden in het natuurreservaat Fochtelooërveen-Kolonieveld, juist in hetzelfde gebied dat in fig. 13 ook als onder water wordt aangegeven, over de periode 1968-1974 gemiddeld 30 dagen per jaar boven het grondoppervlak uit (JANSEN, 1975). Hierbij moet echter bedacht worden, dat dit onderzoek is gedaan met grondwaterstandsbuizen, waarbij de bovenkant van het filter op - 0,8 m tot - 1,5 m ten opzichte van het grondoppervlak was gelegen. In dergelijke gevallen kan de grondwaterspiegel al tot aan het grondoppervlak zijn gestegen, terwijl de buis nog slechts een stijghoogte van - 0,05 m aanwijst tengevolge van een wegzijging van 0,3 mm/d en een weerstand van 150 dagen in het ondiepe veenpakket.

Tijdens een veldbezigting op 17 maart 1979 werd waargenomen, dat door 26 mm neerslag vrij regelmatig verdeeld over de voorafgaande 6 dagen op vele plaatsen het natuurreservaat onder water stond. In twee grote sloten met verschillend voedingsgebied aan de noordkant van het reservaat werd de specifieke afvoer in beide gevallen geschat op 2 mm/dag. Hoewel dit geen zeer grote bedragen zijn moet er mee worden rekening gehouden dat in maart de gemiddelde verdamping haast tot 1 mm/dag komt. Op grond van deze overwegingen lijkt het niet onwaarschijnlijk, dat de gemiddelde duur van de oppervlakte-afvoer op 60 dagen per jaar mag worden gesteld.

Een overzicht van de grootte-orde van de diverse componenten van de grondwater- en de oppervlakte-afvoer vindt men in tabel 2. Met betrekking tot het verschil tussen de hier gegeven som (320 mm/jaar) en het eerdergenoemde verschil tussen neerslag en verdamping (330 mm/jaar), kan ten overvloede worden opgemerkt, dat de nauwkeurigheid van vrijwel alle gebruikte gegevens te klein is om een verschil van

10 mm/jaar nader te verklaren.

Tabel 2. Gemiddelde jaarlijkse afvoer uit het natuurreservaat
Fochteloërveen-Kolonieveld bij aanwezigheid van potklei

Laag/formatie	Specifieke afvoer (mm/d)	Duur (d)	Afvoer (mm)
6. Urk + Harderwijk	$U_6 = 0,02$	365	7
4. Eindhoven	$U_4 = 0,25$	365	91
2. Twenthe	$U_2 = 0,02$	365	7
2+1. Twenthe + veen	$U_1 = 0$ tot 0,3	90	15
0. Oppervlakte-afvoer	$U_0 = 0$ tot 2	30	20
	2 tot 16	30	180
Totale afvoer	-	-	320

7. DE WEERSTANDEN BIJ VERTIKALE STROMING DOOR HET VEEN, DOOR DE ONDIEPE LEEM EN DOOR HET MEEST DOORLATENDE DEEL VAN DE FORMATIE VAN PEELO

Op slechts 10 plaatsen waren de grondwaterstandsbuizen zodanig geplaatst, dat daarmee het stijghoogteverschil voor de verticale wegzijging door het veen kon worden bepaald. De gemiddelde waarde voor dit verschil werd bepaald op 0,12 m. In het vorige hoofdstuk is reeds vermeld dat als gemiddelde intensiteit van de verticale wegzijging werd gevonden: $U_2 + U_4 + U_6 = 0,29 \text{ mm/d}$

Hieruit volgt als weerstand voor de verticale stroming door het veen:

$$c_1 = \frac{D_1}{k_1} = \frac{h - \phi_2}{U_2 + U_4 + U_6} = \frac{0,12 \text{ m}}{0,00029 \text{ m/d}} = 415 \text{ d}$$

Naarmate het veenpakket dikker en de gliede beter ontwikkeld mag worden verwacht dat daarmee een grotere weerstand voor de verticale stroming samengaat. In dit verband kan worden gewezen op een onderzoek van het Engbertsdijksveen, gelegen 3 km ten noorden van Vriezenveen, waar in een 4 meter dik veenpakket rond 20 maal hogere weerstanden werden gevonden (TER HOEVE, 1965). Dit onderzoek leverde tevens op dat 70% van de totale weerstand door een ruim 30 cm dikke smeerslaag werd veroorzaakt.

De veenkaart en gliedekaart (fig. 2 en 3) tonen aan dat voor een groot deel van de zuidelijke rand de dikte weinig afwijkt van het gemiddelde. De gevonden gemiddelde c -waarde van rond 400 dagen zal daarom bij de volgende berekeningen, die vooral op dit deel van het reservaat betrekking hebben, vrijwel steeds worden gebruikt. Fig. 2 laat echter ook duidelijk zien waar de grootste afwijkingen zijn. Langs de Veenwijk bij buis 31 ontbreekt het veen, terwijl onder de vloeivelden en ten oosten van het Esmeer een relatief grote veendikte werd gevonden.

Voor een bepaling van de weerstand bij verticale stroming door de keileem (formatie van Drenthe) waren zoveel meer gegevens beschik-

baar, dat van het stijghoogteverschil over deze slecht doorlatende lagen wel een kaart kan worden samengesteld (fig. 15). Deze kaart toont dat het stijghoogteverschil vanuit de kern van het Fochtelooërveen afneemt in de richting van het agrarische gebied ten westen en ten zuiden en in de richting van de Schaaphokswijk. Voor de omgeving van het Esmeer is het wat minder duidelijk. Daar is alleen een afneming geconstateerd naar het zuiden toe. Er lijkt dus toch wel een duidelijke samenhang te zijn met de drainerende werking van het waterlopenstelsel in het lagere buitengebied.

In fig. 16 is het stijghoogteverschil grafisch uitgezet tegen de leemdikte. Deze figuur toont aan, wat ook zichtbaar is bij vergelijking van de fig. 5 en 15, dat een lineaire relatie tussen beide grootheden als eerste benadering vrij goed aannemelijk is. Bij een constante doorlaatfaktor van de leem zou hieruit volgen dat de wegzijging ook constant is. Ten aanzien van het vermoeden, dat bij de kleinere dikte van de leemlagen langs de randen van het gebied een wat grotere doorlaatfaktor behoort en daarmee een evenredig grotere wegzijging, staan nauwelijks enige concrete gegevens ter beschikking.

Hieruit volgt, dat alleen de mogelijkheid openblijft voor een bepaling van de gemiddelde c -waarde van de ondiepe leem in de twee gebieden, waarvoor in hoofdstuk 5 de waarde van U_4 werd berekend. Voor het westelijke gebied is het stijghoogteverschil gemiddeld rond 50 cm; voor het oostelijke gebied wordt een iets grotere waarde gevonden, namelijk 60 cm. Een en ander is echter niet als een betrouwbaar verschil te beschouwen, dat voor het verdere betoog van groot belang is.

Resumerend volgt hieruit als gemiddelde c -waarde van de leemlaag bij een dikte van 80 cm:

$$c_3 = \frac{D_3}{k_3} = \frac{\phi_2 - \phi_4}{U_4 + U_6} = \frac{0,55 \text{ m}}{0,00027 \text{ m/d}} = 2000 \text{ d}$$

De zwakke wegzijging door de potklei, zoals aannemelijk gemaakt in hoofdstuk 6 ($U_6 \approx 0,02 \text{ mm/d}$), gaat niet op voor een vrij brede strook langs de Schaaphokswijk. Dit is duidelijk te zien aan de afnemende gradiënten van de grondwaterstanden in de formatie van Eindhoo-

ven (fig. 10 en 12). De Schaaphokswijk heeft geen diepe zijsloten met een voldoende laag peil en ook de drainage door de wijk zelf (zie hfdst. 8) is onvoldoende om deze afneming te verklaren.

Het gat in de potklei kan hiervoor in principe wel een verklaring geven. De vorm van het grondwaterstandsoppervlak wijst echter vooral op een versterkte wegzijging in een 500 m brede strook aan de zuidwestelijke kant van de Schaaphokswijk en dit komt niet goed overeen met de vorm van het gat in de potklei, zoals aangegeven in fig. 6.

In het TNO-rapport over het geo-elektrische onderzoek van het Fochteloërveen wordt enig voorbehoud gemaakt ten aanzien van de opgegeven aanwezigheid van de potklei zuid-oostelijk van het Bankenbosch. De relatief lage grondwaterstanden, die daar worden gevonden kunnen hiermee in zekere mate worden verklaard, zoals tevoren reeds werd opgemerkt. De invloed van het slotenstelsel werd echter niet onderzocht. Of in dit gebied de potklei al of niet aanwezig is, kan weinig invloed hebben op de grondwaterstandsveranderingen door peilverlaging in het zuidelijke agrarische gebied, gezien de grote afstand tot dit gebied (≈ 2000 m).

Hoe dit ook mag zijn, uit de isohypsenkaart (fig. 10) kan worden afgeleid, dat de specifieke afvoeren U_2 en U_4 in een ongeveer 350 ha groot gebied tussen de verbindingslijn van de buizen 2 en 44 ten zuidwesten en de Schaaphokswijk ten noordoosten, uiteindelijk voor het overgrote deel door wegzijging naar de formaties van Urk en Harderwijk moeten verdwijnen.

Deze wegzijging gebeurt in een deel van het beschouwde gebied, in eerste benadering $1/3$ maal zo groot (breedte van voedingsgebied en wegzijgingsgebied respectievelijk 1500 en 500 m). Op de wegzijging moet een kleine reductie worden toegepast wegens de afvoer naar de Schaaphokswijk en ondergrondse doorvoer naar de sloten bij buis 19. Als gemiddelde voor het stijghoogteverschil werd een bedrag gevonden van 0,7 m. Hieruit volgt tenslotte voor de verticale weerstand van het gat in de potklei:

$$c_5 = \frac{1}{3} \times \frac{0,7 \text{ m}}{0,00025 \text{ m/d}} = 930 \text{ d}$$

Wat betreft de doorlatendheid van de formatie van Peelo in de omgeving van het Esmeer, waar met stelligheid geen potklei is gevon-

den. is nog minder zekerheid te geven. Het stijghoogteverschil in het meest oostelijke deel van het reservaat ligt tussen 0,5 m en 1 m. Volgens het rapport Regionaal Geohydrologisch Onderzoek in de Provincie Drenthe is het stijghoogteverschil tussen het freatisch water en het diepe grondwater buiten het natuurreservaat aan de oostkant duidelijk hoger dan er binnen. Dit geeft een aanwijzing voor hogere weerstanden in de omgeving van de buurtschap Norgervaart.

Om de gevolgen van een eventuele peilverlaging niet te onderschatten, zal bij de berekeningen in hoofdstuk 12 een iets lagere waarde worden ingevoerd, namelijk $c_5 = 700$ d. Op de uitwerking, die een foutieve parameterwaarde op de uitkomsten van de berekening kan hebben, zal nader worden ingegaan in hoofdstuk 13.

8. DEBIETMETINGEN IN DE BODEM VAN DE SCHAAPHOKSWIJK

De Schaapshokwijk heeft zijn bodem in de formatie van Drenthe (fig. 18) maar over 1800 m lengte ontbreken daarin de leemlagen (fig. 5). Op grond hiervan zou men dus verwachten, dat de Schaapshokwijk een goede afvoer zou moeten geven van grondwater uit de formatie van Eindhoven. De isohypsenkaart laat zien dat er van beide kanten toestroming mogelijk is. Met behulp van de grondwaterstandsbuizen, die het dichtst bij de Schaaphokswijk zijn geplaatst, werd een gemiddelde gradiënt van 0,002 gevonden. Het debiet per strekkende meter bij een kD -waarde van $60 \text{ m}^2/\text{d}$ zou dus moeten zijn:

$$q_o = 2kD \frac{\Delta h}{\Delta x} = 2 \times 60 \times 0,002 = 0,24 \text{ m}^2/\text{d}$$

De debietmetingen in de bodem van de wijk hebben uitkomsten opgeleverd, die hiervan nogal sterk afwijken. Hoe dit moet worden verklaard is momenteel nog niet duidelijk.

Bij de eerste serie metingen in 1976 verschilden de uitkomsten van dag tot dag op eenzelfde meetplek zo sterk dat hiervan verder geen gebruik gemaakt is.

De tweede serie van 3 metingen (april 1978, ligging zie fig. 19) toonde een veel grotere regelmaat. Onderling hadden de gemiddelde waarden voor de uittreesnelheid een opvallend klein verschil.

$$\text{Gemiddelde uittreesnelheid } v_o = \frac{15,9 + 15,3 + 17,0}{3} = 16,1 \text{ mm/d.}$$

Bij een natte omtrek van 6 meter volgt hieruit voor het debiet per strekkende meter:

$$q_o = B_{wp} v_o = 6 \times 0,0161 = 0,097 \text{ m}^2/\text{d}$$

Vervolgens werd in maart 1979 een derde serie metingen uitgevoerd, waarbij de meetpunten veel verder uit elkaar waren gelegen (zie fig. 19). Meting 2 gaf hierbij een zo lage uitkomst, dat dit niet werd meegerekend bij de hier opgegeven gemiddelde waarden voor uittreesnelheid en debiet per strekkende meter:

$$v_o = \frac{11,2 + 12,4 + 10,0 + 3,7}{4} = 9,3 \text{ mm/d}$$

$$q_o = 6 \times 0,0093 = 0,056 \text{ m}^2/\text{d}$$

Tevens moet hierbij worden opgemerkt, dat april 1978 een iets drogere toestand heeft gegeven dan maart 1979. In laatstgenoemde periode stonden de buizen op wat grotere afstand van de wijk 35 cm hoger, de buizen dicht bij de wijk 18 cm hoger en was het peil in de wijk 12 cm hoger. Op grond hiervan zou dus voor maart 1979 een iets hogere uitkomst moeten worden verwacht dan voor april 1978. De discrepantie wordt nog sterker, wanneer alleen die metingen met elkaar zouden worden vergeleken, die wat betreft meetplek dicht bij elkaar hebben gelegen.

Wat betreft het verschil tussen de uitkomsten verkregen met de debietmetingen in de bodem van de wijk en de uitkomsten verkregen via de kD-waarde kan tenslotte worden opgemerkt, dat in principe de mogelijkheid niet kan worden uitgesloten, dat de taluds van de Schaaphokswijk beter doorlatend zijn dan de bodem (verg. fig. 18) en dat afhankelijk van de gelaagdheid van de bovenste grondlagen door de taluds een meer of minder sterke uitstroming moet plaatsvinden.

Daar een nader onderzoek van dit verschil praktisch niet meer uitvoerbaar was binnen de termijn die voor afronding van dit onderzoek beschikbaar was, moet verder worden gerekend met de mogelijkheid, dat zowel de hoge als de lage waarde voor q_o goed kunnen zijn

Een en ander heeft tot gevolg dat ook twee waarden voor de radiale weerstand moeten worden opgegeven.

De formule voor de radiale weerstand luidt:

$$\Omega = \frac{\Delta\phi_{\text{rad}}}{q_o}$$

Als gemiddeld stijghoogteverschil ($\Delta\phi_{\text{rad}}$) voor de radiale stroming werd uit de grondwaterstandswaarnemingen (zie ook fig. 12, profiel AA') een bedrag van 20 cm gevonden. Dit leidt tenslotte tot de volgende uitkomsten:

$$\Omega = \frac{0,20}{0,24} = 0,8 \text{ d/m}$$

$$\text{en } \Omega = \frac{0,20}{0,0765} = 2,6 \text{ d/m}$$

Om niet te komen tot een mogelijk onjuiste afzwakking van de vermoedelijke gevolgen van een peilverlaging in de Schaaphokswijk zal bij de verdere berekening ook voor de weerstand Ω de lage waarde worden gebruikt.

9. DE BERGINGSCOËFFICIËNT VAN HET VEEN

Om te kunnen bepalen hoe sterk de grondwaterstands daling in het natuureservaat over de zomerperiode zal toenemen tengevolge van een peilverlaging in het agrarische gebied, is het nodig niet alleen de toeneming van de wegzijging te kennen, maar ook de grootte van de bergingscoëfficiënt.

Onder de bergingscoëfficiënt μ wordt verstaan de verhouding van de verandering in waterberging W en de verandering in het freatisch niveau h :

$$\mu = \frac{\Delta W}{\Delta h}$$

De bergingsverandering ΔW kan worden gevonden door optelling van neerslag, verdamping en afvoer. De volgende berekening heeft betrekking op de perioden 28 april-29 augustus 1978 en 29 augustus-30 oktober 1978, waarbij geen afvoer over het oppervlak of door ondiepe bodemlagen is opgetreden.

De waarnemingen van de neerslag door het KNMI te Veenhuizen, hebben voor deze beide perioden respectievelijk opgeleverd 227 en 168 mm. Na vermenigvuldiging met een coëfficiënt 1,04 voor het windeffect wordt dit 242 en 175 mm. Voor de Penman-verdamping (Eelde) wordt opgegeven 394 en 75 mm. Na vermenigvuldiging als tevoren met 0,75 volgt voor de werkelijke verdamping 295 en 56 mm.

Voor de wegzijging gedurende deze beide perioden volgt, bij aanhouden van dezelfde gemiddelde waarde, die in de hoofdstukken 5 en 6 werd afgeleid ($U_2 + U_4 + U_6 = 0,3$ mm), en waarbij het niet nodig is het kleine verschil tussen jaargemiddelde en zomergemiddelde in rekening te brengen, als uitkomsten respectievelijk 36 en 18 mm. Optelling van deze posten voorzien van het juiste plus-of min-teken levert tenslotte op - 95 mm en + 100 mm.

In fig. 20 wordt het grondwaterstandsverloop van de buizen 3, 19, 23 en 27 getoond. Hierin is duidelijk te zien, dat voor deze gevallen de bepaling van de fluctuatie over de gekozen periode geen enkele moeilijkheid geeft.

Men kan zich afvragen of in dit relatief kleine gebied, waar vrij grote verschillen in eigenschappen van de grond voorkomen, alle

grondwaterstandsbuizen zich op gelijksoortige wijze gedragen. Om een meer of minder regelmatig gedrag van grondwaterstandsbuizen te controleren, eventuele afwijkingen op te sporen en ontbrekende waarnemingen te interpoleren, wordt dikwijls gebruik gemaakt van fluctuatiediagrammen.

In fig. 21 vindt men hiervan een zestal voorbeelden. De keuze van de buizen is zodanig gebeurd, dat een buis uit het westelijke deel van het reservaat (nr 5), een buis uit het oostelijk gedeelte (nr 39) en een buis uit het zuidelijke agrarische gebied (nr 27) met elkaar kunnen worden vergeleken. Bovendien zijn voor twee van deze meetplekken en voor nr 14 (de grondwaterstanden volgens de buizen 27 en 27A verschillen zo weinig - zie fig. 20 - dat een fluctuatiediagram weinig interessante informatie geeft) telkens een diepe buis (formatie van Eindhoven) en een ondiepe buis (formatie van Twenthe) tegen elkaar uitgezet.

Uit fig. 21 blijkt duidelijk, dat er veel kleine onregelmatigheden zijn. De oorzaak van een en ander is niet te achterhalen. Belangrijker is dat over het droge jaar 1976 vrij sterke faseverschuivingen in de jaarlijkse fluctuatie ontstaan (ellipsachtige krommen) en dat de daling zich niet over alle buizen naar verhouding gelijkmatig voortzet. Dit doet vermoeden dat voor normale en zeer droge zomers verschillende bergingscoëfficiënten zouden moeten worden gebruikt. Daar de reductiecoëfficiënt voor de verdamping van hoogveen in 1976 wel eens veel lager dan 0,75 zou kunnen zijn geweest en een andere bepaling van de verdamping teveel moeilijkheden geeft is hierop niet nader ingegaan.

Eventueel met gebruik van bovenstaande hulpmiddelen is voor alle buizen de fluctuatie van de stijghoogte voor de formatie van Eindhoven en voor de formatie van Twenthe bepaald. Een overzicht van deze waarden na middeling over de perioden 28 april-29 augustus 1978 en 29 augustus-30 oktober 1978 wordt gegeven in de fig. 22 en 23.

Zoals tevoren reeds werd opgemerkt (hfdst. 6), is het niet uitgesloten, dat wegens het gebruik van ondiepe grondwaterstandsbuizen, die meestal het filter in de formatie van Twenthe hebben, er uitkomsten zijn verkregen, die in het algemeen enkele cm beneden het freatisch niveau liggen. Echter gezien de vrij goede overeenkomst tussen

de fig. 22 en 23 mag worden verwacht, dat dit geen groot bezwaar is en dat ook de fluctuatie van het freatisch oppervlak met goede benadering uit fig. 23 kan worden afgelezen.

Hieruit is dus af te leiden, dat de grondwaterspiegelfluctuatie voor het met heide bedekte veengebied voor deze zomerperiode ligt tussen 15 en 35 cm, voor het bos tussen 40 en 70 cm. Wordt verder gerekend met een bergingsverschil van 98 mm, dan volgt hieruit onmiddellijk dat de uitkomst voor de bergingscoëfficiënt ligt respectievelijk tussen 0,65 en 0,28 en tussen 0,24 en 0,14.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat als in zeer droge zomers nog hogere bergingscoëfficiënten zouden gelden dan hierboven genoemd, dit zou inhouden dat voor dergelijke gevallen de versterking van de grondwaterstands daling over de zomerperiode minder zal zijn dan in hoofdstuk 14 zal worden berekend.

10. FORMULES VOOR DE TWEEDIMENSIONALE BEREKENING VAN STATIONAIRE VERANDERINGEN IN DE GRONDWATERSTAND

Het onderzoek heeft aangetoond, dat de geohydrologische toestand vrij ingewikkeld is. Zou men hiermee zo volledig mogelijk willen rekening houden, dan is daarvoor een vrij omvangrijke bewerking nodig, bijvoorbeeld door toepassing van een elektrisch model of met behulp van differentiemethoden.

Een wat eenvoudigere en nog vrij handzame methode is echter mogelijk door gebruik te maken van de volgende benaderende veronderstellingen. In sterk gelaagde pakketten met grote verschillen in doorlatendheid, wordt meestal aangenomen dat in de goed doorlatende lagen de stroming uitsluitend horizontaal is, in de slecht doorlatende uitsluitend vertikaal. Als er twee gebieden zijn met verschillende eigenschappen die door een rechtlijnige gemeenschappelijke grens worden gescheiden, dan is bovendien nog aan te nemen, dat er een parallel-stroming is en dat het probleem kan worden teruggebracht tot de beschouwing van wat zich afspeelt in een verticale doorsnede loodrecht op genoemde grens.

Dit leidt ertoe van het volgende stelsel differentiaalvergelijkingen gebruik te maken:

$$k_2 D_2 \frac{d^2 \phi_2}{dx^2} = \frac{\phi_2 - h_0}{c_1} + \frac{\phi_2 - \phi_4}{c_3}$$

$$k_4 D_4 \frac{d^2 \phi_4}{dx^2} = \frac{\phi_4 - \phi_2}{c_3} + \frac{\phi_4 - \phi_6}{c_5}$$

$$k_6 D_6 \frac{d^2 \phi_6}{dx^2} = \frac{\phi_6 - \phi_4}{c_5}$$

ϕ_i = stijghoogte van het grondwater in laag i

h_0 = gegeven freatisch niveau, meestal horizontaal verondersteld

Indien er geen horizontaal freatisch oppervlak mag worden verondersteld, maar wel geldt dat er in de grondwaterspiegel vrijwel geen

verandering of slechts een verschuiving ontstaat, die overal even groot is en geen overwegende verandering in de waarde van c_1 veroorzaakt (D_1/k_1 onveranderd), dan zijn bovenstaande formules ook heel goed te gebruiken door onder ϕ_i en h_0 de veranderingen ten opzichte van de oorspronkelijke toestand te verstaan. Dit is ook nog toelaatbaar als de oorspronkelijke toestand niet-stationair is en op grond van bovengenoemde veronderstellingen mag worden aangenomen dat de verandering als een stationaire ingreep is te beschouwen.

De oplossing van voorgaand stelselvergelijkingen kan in de volgende vorm worden geschreven (ERNST, 1962, pag. 107):

$$\begin{aligned}\phi_2 &= A_1 e^{\alpha_1 x} + A_2 e^{\alpha_2 x} + A_3 e^{\alpha_3 x} + \\ &+ A'_1 e^{-\alpha_1 x} + A'_2 e^{-\alpha_2 x} + A'_3 e^{-\alpha_3 x} + h_0 \\ \phi_4 &= A_1 \beta_1 e^{\alpha_1 x} + A_2 \beta_2 e^{\alpha_2 x} + A_3 \beta_3 e^{\alpha_3 x} \\ &+ A'_1 \beta_1 e^{-\alpha_1 x} + A'_2 \beta_2 e^{-\alpha_2 x} + A'_3 \beta_3 e^{-\alpha_3 x} + h_0 \\ \phi_6 &= A_1 \gamma_1 e^{\alpha_1 x} + A_2 \gamma_2 e^{\alpha_2 x} + A_3 \gamma_3 e^{\alpha_3 x} + \\ &+ A'_1 \gamma_1 e^{-\alpha_1 x} + A'_2 \gamma_2 e^{-\alpha_2 x} + A'_3 \gamma_3 e^{-\alpha_3 x} + h_0\end{aligned}$$

De coëfficiënten $\pm \alpha_1$, $\pm \alpha_2$, $\pm \alpha_3$ (algemeen symbool $\pm \alpha_k$) kunnen gevonden als de zes wortels van een zesde-graads-vergelijking

$$\alpha^6 - (v_1 + \dots + v_5) \alpha^4 + \left[v_3(v_1 + v_5) + (v_1 + v_2)(v_4 + v_5) \right] \alpha^2 - v_1 v_3 v_5 = 0$$

waarbij onder v_1, \dots, v_5 dient te worden verstaan:

$$v_1 = (k_2 D_2 c_1)^{-1}$$

$$v_2 = (k_2 D_2 c_3)^{-1}$$

$$v_3 = (k_4 D_4 c_3)^{-1}$$

$$v_4 = (k_4 D_4 c_5)^{-1}$$

$$v_5 = (k_6 D_6 c_5)^{-1}$$

Voor de zes coëfficiënten β_1, \dots, γ_3 gelden de volgende vrij eenvoudige betrekkingen:

$$\beta_k = 1 + c_3 c_1^{-1} - k_2 D_2 c_3 \alpha_k^2$$

$$\gamma_k = \beta_k (1 - k_6 D_6 c_5 \alpha_k^2)^{-1}$$

Tenslotte moet van de randvoorwaarden worden gebruik gemaakt om uit zes vergelijkingen van de eerste graad de onbekende coëfficiënten A_1, \dots, A_3 te vinden.

In vele gevallen en zo ook hier (verg. fig. 28) is het nodig om in het betrokken gebied twee, drie of mogelijk zelfs meer verschillende delen te onderscheiden. Daarbij moeten dus alle grenzen evenwijdig zijn en loodrecht op het beschouwde profiel staan. Het aantal onbekende coëfficiënten zal hierdoor in het algemeen naar evenredigheid moeten toenemen. Afgezien van bijzondere omstandigheden worden deze dus 2 of 3 maal enz. groter in aantal.

Er moeten voor gevallen als in fig. 28 afgebeeld dus ook twee of drie maal zoveel vergelijkingen worden gebruikt. Dit geeft geen principiële moeilijkheden. Uit dezelfde vergelijking (van de derde graad in α^2), maar met de bijbehorende parameterwaarden vindt men telkens drie stellen wortels voor $\pm \alpha_{kj}$, waarbij j de index is voor het gebied en k nodig is om de drie waarden van α binnen een homogeen gebied te kunnen onderscheiden. Bij elk drietal kan men als tevoren de coëfficiënten β_{kj} en γ_{kj} bepalen.

Het aantal coëfficiënten A_k en A'_k kan maximaal gelijk worden aan 6 maal het aantal gebieden. De benodigde eerste-graads-vergelijkingen worden verkregen door aan de uiteinden van het beschouwde gebied bij elke goed doorlatende laag een gegeven waarde voor de stijghoogte of voor de stroomsterkte in te voeren en op de inwendige grenzen de onbekende stijghoogte en de onbekende stroomsterkte komende van links en komende van rechts aan elkaar gelijk te stellen.

Er zijn ook eenvoudigere gevallen denkbaar, waarbij wel meerdere gebieden moeten worden onderscheiden, maar men toch onmiddellijk op een kleiner aantal vergelijkingen kan overgaan. Dit is met name het geval, wanneer het alleen gaat om verschillen in het peil h_{oj} van de onderscheiden gebieden en daarbij verondersteld wordt, dat elke laag in de ondergrond over het gehele gebied homogeen is. In dergelijke gevallen kan met met een drietal voor de α -waarden, voor de β -waarden en voor de γ -waarden volstaan. Deze dienen tenslotte in de randvoorwaarden te worden gesubstitueerd, die dan wel groter in aantal kunnen zijn. Ook daarbij zijn echter bijzondere omstandigheden denkbaar, waardoor het rekenwerk vrij beperkt kan blijven. In die gevallen immers dat er wordt verondersteld, dat een gebied zich in een richting tot in het oneindige uitstrekt (dus op grote afstand geen bijzondere invloeden), dan moet substitutie van $x = \infty$ of $x = -\infty$ opleveren, dat de waarden voor $\phi_{ij} - h_{oj}$ tot nul naderen. De bijbehorende coëfficiënten A_{kj} en A'_{kj} kunnen dan dus onmiddellijk ook gelijk nul worden gesteld.

11. DE GROOTTE VAN WEERSTANDEN BEREKEND VOLGENS HOOFDSTUK 10

- a. De weerstand bij de grondwaterstroming met scheve symmetrie tussen een gebied met hoog peil en een gebied met laag peil

De methode, die in het vorige hoofdstuk werd beschreven, geeft de mogelijkheid om vrij ingewikkelde toestanden te berekenen. Daarbij kan echter niet afgeweken worden van de veronderstelling dat een twee-dimensionale beschouwing gebruikt mag worden. Dit laatste houdt in, dat elke doorsnede loodrecht op de grenslijn eenzelfde toestand moet laten zien en dit zowel wat betreft de randvoorwaarden (gegeven peilen of grondwaterstanden), als wat betreft de gelaagdheid van de ondergrond.

Het is duidelijk, dat in werkelijkheid de toestand aanzienlijk ingewikkelder kan zijn, maar dat hiermee toch nog niet kan worden gezegd in hoeverre de gekozen methode tekort schiet. Om een beter inzicht te krijgen in wat met deze methode kan worden bereikt, lijkt het zelfs nuttig om te beginnen met een beschouwing van het eenvoudigste geval, dat nog de essentiële eigenschappen van het probleem bezit.

Het gaat om de grondwaterstroming in een gelaagd pakket, tussen een hoog gebied met peil h_{01} naar een gebied met laag peil h_{02} . De volgende vereenvoudigingen kunnen hierbij nog worden ingevoerd. Elke laag heeft een constante kD -waarde of een constante waarde voor de verticale weerstand, dus gelijk voor het hoge en voor het lage gebied; daarbij wordt dan ook nog verondersteld, dat het hoge gebied zich uitstrekt van $x = 0$ tot $x \rightarrow -\infty$ en het lage gebied van $x = 0$ tot $x \rightarrow +\infty$ (fig. 24).

Daar de gevonden kD -waarden in betrouwbaarheid aanzienlijk beter zijn, dan de verticale weerstanden werden een aantal gevallen doorge-rekend, waarbij steeds werd genomen:

$$k_2 D_2 = 6 \text{ m}^2/\text{d} ; k_4 D_4 = 60 \text{ m}^2/\text{d} ; k_6 D_6 = 3000 \text{ m}^2/\text{d}$$

terwijl in de c-waarden (weerstand bij verticale stroming) een vrij grote variatie werd aangebracht.

Voor elk geval werd de totale stroomsterkte $q(0)$ per strekkende meter (dimensie $l^2 \cdot t^{-1}$) berekend met behulp van de volgende formule:

$$q(0) = q_2(0) + q_4(0) + q_6(0) = - \sum_{i=2}^6 k_i D_i \left(\frac{d\phi_i}{dx} \right)_{x=0}$$

Daar de stroomsterkte $q(0)$ echter evenredig is met het gegeven peilverdich $h_{01} - h_{02}$ is het beter onmiddellijk over te gaan op een andere grootte, die als profielweerstand Ω_p kan worden aangeduid en eenvoudig kan worden afgeleid uit de volgende formule:

$$\Omega_p = \frac{h_{01} - h_{02}}{q(0)}$$

De resultaten van de berekeningen* zijn weergegeven in de fig. 25a en 25b. Hieruit blijkt dat de invloed van de verticale weerstand op $q(0)$ betrekkelijk bescheiden is. Weliswaar liggen de hoogste en de laagste waarde van Ω_p in deze beide figuren ver uiteen (5,1: 0,7 = 7,2), de quotiënten voor de waarden van c_1 , c_3 en c_5 gaan daar ver bovenuit. Ziet men af van het grote onderscheid in de twee waarden voor c_5 gebruikt, dan blijkt dat de gevoeligheid van Ω_p voor de c_i -waarden niet ver uiteenloopt. In eerste benadering kan hier een exponentieel verband worden gezien. De exponenten daarin liggen niet ver uit elkaar met voor c_1 een wat hogere waarde:

*Het rekenwerk voor de hoofdstukken 11, 12 en 13 werd uitgevoerd door J.R. Maassen en K. Oostindie door middel van een FORTRAN-programma en een door IWIS-TNO ontwikkelde subroutine

$$\Omega_p : c_1^{0,25} \approx \text{constant}$$

Vervolgens kan er hier nog op worden gewezen, dat wegens de symmetrie, de wegzijging uit het hoge gebied bij $x \approx 0$ onmiddellijk kan worden gegeven als $v_z(0) = 0,5(h_{01} - h_{02}) c_1^{-1}$. Bij een gegeven waarde van c_1 hangt de waarde van Ω_p tevens af van c_3 en c_5 . De daarmee samenhangende kleinere of grotere waarden van Ω_p moeten dus worden gezien als een meer of minder grote spreiding in de wegzijging beginnende met de gegeven $v_z(0)$.

Op de invloed van de kD -waarden, wat hier nog geheel buiten beschouwing is gebleven, zal in het kort worden ingegaan in hoofdstuk 13.

b. D e w e e r s t a n d b i j d e s y m m e t r i s c h e
t o e s t r o m i n g v a n g r o n d w a t e r n a a r e e n
k a n a a l m e t v e r l a a g d p e i l

Uit een vergelijking van de fig. 24 en 26 wordt onmiddellijk duidelijk, dat in het onderhavige geval voor $x = 0$ andere randvoorwaarden moeten worden gebruikt. Terwijl in het vorige geval kon worden gesteld $\phi_2(0) = \phi_4(0) = 0,5(h_{01} + h_{02})$ moet hier worden gebruik gemaakt van gegeven waarden voor $q_i(0)$.

Afhankelijk van de diepte van insnijding (verg. 26a met 26b) moet er nog verschil zijn in deze randvoorwaarden.

Voor een uitstroming q_o per strekkende meter in fig. 26a geldt:

$$q_o = 2 \left| q(0) \right| = 2k_2 D_2 \left| \frac{d\phi_2}{dx} \right|_{x=0} = \frac{\phi_2(0) - h_{00}}{\Omega_{\text{rad}}}$$

Evenzo voor fig. 26b:

$$q_o = 2 \left| q(0) \right| = 2k_2 D_2 \left| \frac{d\phi_2}{dx} \right|_{x=0} + 2k_4 D_4 \left| \frac{d\phi_4}{dx} \right|_{x=0}$$

$$\text{met } 2k_4 D_4 \left| \frac{d\phi_4}{dx} \right|_{x=0} = \frac{\phi_4(0) - h_{00}}{\Omega_{\text{rad}}}$$

Voor beide gevallen geldt vrijwel gelijk aan fig. 24:

$$\Omega_p = \frac{h_{01} - h_{00}}{q_0}$$

Bij de berekeningen zijn dezelfde kD-waarden als tevoren gebruikt, Voor de weerstand bij de radiale stroming werd ingevoerd $\Omega_{rad} = 0,8 \text{ d/m}$. Uit een beschouwing van fig. 26b blijkt, dat de randvoorwaarden bij $x = 0$ gelegenheid geven om tegemoet te komen aan de moeilijkheden, die in hoofdstuk 8 werden ondervonden.

De uitkomsten van de berekeningen zijn uitgezet in twee grafieken (fig. 27a en 27b). Ook hier blijkt de invloed van de c-waarden niet erg groot te zijn. Ondanks het verschillende karakter van de grondwaterstromingen, die in het eerste en tweede deel van dit hoofdstuk zijn behandeld, kan het toch van belang zijn, de weerstanden met elkaar te vergelijken. De uitkomsten voor Ω_p volgens fig. 27a liggen ongeveer gelijk met fig. 25b, terwijl fig. 27b in eerste benadering overeenkomt met fig. 25a.

12. DE GRONDWATERSTANDSVERLAGING IN HET NATUURRESERVAAT

a. De gevolgen van een peilverlaging in het agrarische gebied

Voor de uitvoering van de berekeningen zoals behandeld in de hoofdstukken 10 en 11 zou het aanbrengen van profielen loodrecht op de grenslijn tussen natuurreservaat en agrarisch gebied de fraaiste oplossing geven. Tegelijkertijd is het echter nodig met de eigenschappen van de ondergrond rekening te houden in het bijzonder met de aanwezigheid of afwezigheid van de potklei. Nu is het onmogelijk aan beide eisen geheel te voldoen. Daarom is een middenweg gekozen met de plaatsing van de profielen I, II en III (fig. 28). Het eerste profiel heeft geen potklei binnen het reservaat (althans niet over de eerste 1500 m), maar wel in het agrarische gebied. Het tweede profiel heeft overal potklei; het derde profiel heeft nergens potklei. Als complicatie moet ook nog worden aangemerkt dat het eerste profiel midden door de vloeivelden loopt, waarvan de bodem vermoedelijk een relatief lage doorlatendheid heeft.

De ingevoerde kD - en c -waarden zijn reeds in de hoofdstukken 5 en 7 behandeld. Alleen ten aanzien van de waarde van c_1 voor het agrarische gebied moet nog een opmerking worden geplaatst. Feitelijk zou hier iets als een drainageweerstand moeten worden gebruikt of beter nog het produkt $L\Omega$, waarbij L de gemiddelde slootafstand is en Ω de radiale weerstand bij deze sloten. Voor het slotenstelsel in het agrarische gebied geldt $L = 500$ m. Wordt verder aangenomen dat de slootbodem op 1,5 m onder maaiveld ligt, in een iets minder goed doorlatend deel van de formatie van Twenthe ($k \approx 1$ m/d), dan volgt $\Omega = 0,4$ d/m (zie ERNST, 1962). Dit geeft als uitkomst voor het hierboven genoemde produkt: $L\Omega = 200$ dagen, wat als c_1 -waarde in elk van de profielen I, II en III ter rechterzijde werd opgenomen.

Zoals reeds eerder aangegeven, werd bij de berekeningen steeds met 30 cm peilverlaging in het agrarische gebied gewerkt. Daar de gebruikte formules lineair zijn, geeft dit geen enkele moeilijkheid. Bij andere waarden voor de peilverlaging behoort een effect, dat naar evenredigheid groter of kleiner is.

Uitgaande van de formules in hoofdstuk 10 behandeld werden de grondwaterstands dalingen en de afstroming voor de profielen I, II en III berekend*. Fig. 29 geeft een grafische voorstelling van de grondwaterstands dalingen in elk van de drie watervoerende lagen.

De uitkomsten voor de afstroming van het noordelijke naar het zuidelijke gebied worden getoond in tabel 3. Deze waarden liggen veel lager dan de gemiddelde totale wegzijging in de tegenwoordige toestand. Wordt voor de noord-zuid doorsnede van het natuurreservaat genomen: $B = 3000$ m dan volgt voor deze wegzijging:

$$q = (U_2 + U_4 + U_6) B = 0,3 \times 10^{-3} \times 3000 = 0,9 \text{ m}^2/\text{d}.$$

De oneindig grote gebiedsafmetingen, welke tot nu toe steeds zijn gehanteerd, zijn feitelijk onjuist. Vooral voor het agrarische gebied met peilverlaging zou het beter zijn geweest een eindige afmeting in te voeren. De gebruikte methode kan daarin heel goed voorzien en geeft daarbij alleen een wat omslachtiger rekenwerk, waarin eventuele vergissingen moeilijker zijn op te sporen.

Echter door een eenvoudige superpositie (het verschil tussen de gegeven oplossing en dezelfde oplossing na een verschuiving, bijvoorbeeld over 2 km) kan worden aangetoond, dat deze onvolkomenheid geen overwegende bezwaren in zich houdt. Een verbeterde oplossing zou voor v_z weinig verandering betekenen, maar $q(0)$ zou wel iets minder worden.

Fig. 30 geeft een overzicht van de te verwachten daling van de grondwaterstand in de formatie van Twenthe bij 30 cm peilverlaging in het gebied met arcering. In deze figuur worden ook enkele waarden gegeven voor de toename van de wegzijging v_z , waarvoor de volgende formule werd gebruikt:

$$v_z = - \frac{h_{01} - \phi_2}{c_1}$$

Volgens de uitgevoerde berekeningen is de grondwaterdaling in het belangrijke centrale deel van het hoogveenreservaat zeer klein

*Zie voetnoot pag. 31

Tabel 3. Ondergrondse afvoer per strekkende meter gesommeerd over de drie goed doorlatende lagen ($q = q_2 + q_4 + q_6$) bij 30 cm peilverlaging in het zuidelijke, agrarische gebied

Profiel I	x = 750 m	$q = 0,008 + 0,034 + 0,038 = 0,080 \text{ m}^2/\text{d}$
	x = 0	$q = 0,003 + 0,003 + 0,067 = 0,073 \text{ m}^2/\text{d}$
Profiel II	x = 0	$q = 0,019 + 0,032 + 0,026 = 0,077 \text{ m}^2/\text{d}$
Profiel III	x = 0	$q = 0,019 + 0,019 + 0,172 = 0,210 \text{ m}^2/\text{d}$

en wel grotendeels beneden 1 cm (verg. profiel I). Ditzelfde geldt ook voor de gronden oostelijk van de Schaaphokswijk (profiel II). Alleen de omgeving van het Esmeer (profiel III) ondergaat wat meer verandering, maar ook daar blijft het bij enkele cm's.

b. Gevolgen van een peilverlaging in de Schaaphokswijk

De berekeningen van symmetrische grondwaterstromingen naar een kanaal met verlaagd peil zoals gegeven in het tweede deel van hoofdstuk 11, kunnen hier onmiddellijk worden overgenomen. De grondwaterstandsverlagingen zijn voor het meest waarschijnlijke profiel uitgezet in fig. 31.

Een grondwaterstandsverlaging van 1 cm in de formatie van Twenthe blijkt pas voor te komen op 400 m afstand van de Schaaphokswijk. In grootte-orde komt dit overeen met wat tevoren voor de profielen I en II werd gevonden bij 30 cm peilverlaging in het agrarische gebied.

Als bijbehorende waarde voor de afstroming (zie ook * in fig. 27b) werd gevonden:

$$q_0 = 2\{q_2(0) + q_4(0) + q_6(0)\} = 0,223 \text{ m}^2/\text{d}$$

Deze vrij hoge waarde voor q_0 is wel begrijpelijk. Men moet immers in aanmerking nemen, dat in dit geval voor c_3 een waarde werd ingevoerd, die beduidend lager is dan wat in tabel 3 bij profiel III werd gebruikt. Verder is hier voor Ω_{rad} een waarde ingevoerd vergelijkbaar met de laagste Ω_p -waarden in de fig. 25a en b.

13. DE INVLOED VAN BEPAALDE kD- EN c-WAARDEN OP DE UITKOMSTEN VAN HOOFDSTUK 12

De gemiddelde waarden, die bij hydrologisch onderzoek voor doorlaatfactoren en weerstanden worden bepaald, blijven in vele gevallen aan een zekere twijfel onderhevig. Om na te gaan hoe sterk de uitkomsten veranderen als in één of meer van de bodemconstanten een verandering wordt aangebracht is een zogenaamde gevoeligheidsanalyse nodig, die in het algemeen bestaat uit een differentiatie van de gebruikte formules.

Als een relatie $y = f(x, a)$ als gegeven is te beschouwen, volgt uit het differentiaalquotient dy/da , in welke mate y verandert door een kleine verandering in de parameter a . Dit kan worden uitgerekend voor elke x -waarde, die voor het onderzoek van belang is.

Een andere methode, waarbij het differentiëren van mogelijk vrij ingewikkelde formules wordt vermeden en niet veel meer rekenwerk hoeft te worden uitgevoerd, bestaat hierin dat men steeds twee uitkomsten voor y bij verschillende waarden van de parameter a met elkaar vergelijkt:

$$y_2(x) - y_1(x) = f(x, a_2) - f(x, a_1)$$

Deze methode is toegepast op de gevallen, die in hoofdstuk 12 zijn behandeld. De diverse waarden die in de profielen I, II en III zijn aangenomen, zijn daarbij met een faktor 0,5 vermenigvuldigd (soms 0,25) als het om de c -waarden gaat en met een faktor 2 vermenigvuldigd als het om de kD -waarden gaat.

De uitkomsten van deze berekeningen vindt men in tabel 4. Hierin zijn verwerkt de veranderingen in de waarde van de afstroming per strekkende meter $q(0)$.

Beperken we ons tot veranderingen met een faktor 0,5 of 2 voor alle c -waarden of kD -waarden in eenzelfde formatie, dan volgt voor profiel I, dat de stroomsterkte daar vooral gevoelig is voor de verticale weerstand in de formatie van Peelo en de kD -waarde in de formatie van Urk-Harderwijk (quotient in kolom 5 maximaal $\approx 1,25$). Voor profiel II ligt de gevoeligheid vooral in de doorlatendheid van het veen en de kD -waarde van de formatie van Eindhoven (quotient in ko-

lom 9 \approx 1,20). Voor profiel III ligt de grootste gevoeligheid in de vertikale weerstand van de keileem en in de formatie van Urk-Harderwijk (quotient in kolom 13 resp. \approx 1,15 en \approx 1,35).

Deze uitkomsten tonen aan, dat er op dit punt geen grote bezwaren tegen de methode kunnen worden aangevoerd. Bij een enkele onjuiste bepaling van een c-waarde of kD-waarde blijft de invloed vrij gering. Wel is het zonder meer duidelijk, dat als in werkelijkheid alle doorlaatfactoren 2 maal groter zijn dan bij dit onderzoek bepaald, de berekende verandering in wegzijging en diepe afvoer ook met een faktor 2 moet worden vermenigvuldigd. Bij een zo eenvoudig voor te stellen verandering volgt echter ook onmiddellijk dat dan de grondwaterstandsdeling onveranderd blijft. Om een sterke vergroting van de grondwaterstandsdalingen in ϕ_2 , ϕ_4 en ϕ_6 te verkrijgen, is het nodig belangrijk grotere kDc-waarden te veronderstellen.

Eenzelfde berekeningsmethode werd ook gebruikt ten aanzien van de veranderingen, die in de toestroming naar de Schaaphokswijk kunnen ontstaan door zekere peilveranderingen in deze wijk. De grootste gevoeligheid $\sqrt{\quad}$ wordt hier gevonden in de gebruikte waarden voor de vertikale weerstand van het veen en de kD-waarde van de formatie van Eindhoven (quotienten \approx 1,20).

$\sqrt{\quad}$ (zie tabel 5)

Tabel 4. Berekende waarden voor de stroomsterkte $q(0)$ bij $h_{01} - h_{02} = 0,3$ m

Profiel I				Profiel II				Profiel III				
(1)	$q(0) = 80,4$			(5)	(6)	$q(0) = 77,2$		(9)	(10)	$q(0) = 210,7$		(13)
(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	
$c_{11} = 400$	200	81,5	1,013	$c_{11} = 400$	200	83,9	1,087	$c_{11} = 400$	200	220,8	1,048	
$c_{12} = 200$	100	83,0	1,031	$c_{12} = 200$	100	82,3	1,066	$c_{12} = 200$	100	217,7	1,033	
				$c_{11} = 400$	200	} 90,7	1,175	$c_{11} = 400$	200	} 229,6	1,089	
				$c_{12} = 200$	100			$c_{12} = 200$	100			
$c_{31} = 1500$	750	82,9	1,030	$c_{31} = 1500$	750	82,0	1,062	$c_{31} = 1500$	750	231,0	1,096	
$c_{32} = 200$	100	} 81,9	1,018	$c_{32} = 100$	50	78,0	1,010	$c_{32} = 500$	250	219,7	1,043	
$c_{33} = 200$	100			$c_{31} = 1500$	750	} 83,0	1,075	$c_{31} = 1500$	750	} 242,2	1,150	
		$c_{32} = 100$	50	$c_{32} = 500$	250							
$c_{51} = 700$	350	} 86,5	1,076					$c_{51} = 700$	350	217,1	1,030	
$c_{53} = 700$	350									$c_{52} = 700$	350	219,8
$c_{12} = 10^5$	$\frac{1}{2} \cdot 10^5$	91,0	1,132									
$c_{51} = 700$	350	} 99,0	1,230	$c_{51} = 10^5$	$\frac{1}{2} \cdot 10^5$	} 87,2	1,130	$c_{51} = 700$	350	} 227,0	1,078	
$c_{53} = 700$	350			$c_{52} = 10^5$	$\frac{1}{2} \cdot 10^5$			$c_{52} = 700$	350			
$c_{52} = 10^5$	$\frac{1}{2} \cdot 10^5$			$c_{51} = 10^5$	$1 \cdot 10^5$	85,2	1,104					
				$c_{52} = 10^5$	$\frac{1}{2} \cdot 10^5$	85,4	1,106					
$c_{52} = 10^5$	$\frac{1}{2} \cdot 10^5$	104,2	1,298	$c_{51} = 10^5$	$\frac{1}{2} \cdot 10^5$	} 100,7	1,304					
				$c_{52} = 10^5$	$\frac{1}{2} \cdot 10^5$							
$k_2 D_2 = 6$	12	82,7	1,029	$k_2 D_2 = 6$	12	83,7	1,084	$k_2 D_2 = 6$	12	217,3	1,035	
$k_4 D_4 = 60$	120	93,0	1,157	$k_4 D_4 = 60$	120	92,5	1,198	$k_4 D_4 = 60$	120	215,9	1,025	
$k_6 D_6 = 3000$	6000	100,7	1,252	$k_6 D_6 = 3000$	6000	88,0	1,140	$k_6 D_6 = 3000$	6000	287,1	1,362	

- (1) Met de waarden van c en kD als opgegeven in fig. 28 berekend en vervolgens met 10^3 vermenigvuldigde uitkomsten voor $q(0) - m^2/\text{dag}$
- (2), (6), (10) Oude waarden van c en kD - dagen en m^2/dag
- (3), (7), (11) Nieuwe waarden van c en kD - dagen en m^2/dag
- (4), (8), (12) Nieuwe $q(0)$ -waarden - m^2/dag ($\times 10^3$)
- (5), (9), (13) Quotient van nieuwe en oude $q(0)$ -waarden
- Voor de indices van c_{ij} , zie fig. 28

Tabel 5. Berekende waarden voor q_o bij $h_{01} - h_{00} = 0,3$ m

$c_1 = 400$ dagen
 $k_2 D_2 = 6$ m²/dag
 $c_3 = 100$ dagen
 $k_4 D_4 = 60$ m²/dag
 $c_5 = 700$ dagen
 $k_6 D_6 = 3000$ m²/dag

$$q_o = 0,206 \text{ m}^2/\text{dag}$$

	(1)	(2)	(3)	(4)
$c_1 = 400$	400	200	0,250	1,212
$k_2 D_2 = 6$	6	12	0,232	1,125
$c_3 = 100$	100	50	0,212	1,029
$k_4 D_4 = 60$	60	120	0,244	1,185
$c_5 = 700$	700	350	0,224	1,088
$k_6 D_6 = 3000$	3000	6000	0,208	1,010

(1) Oude waarden van c en kD - dagen en m²/dag

(2) Nieuwe waarden van c en kD - dagen en m²/dag

(3) Nieuwe uitkomsten voor q_o - m²/dag

(4) Quotiënt van nieuwe en oude uitkomsten voor q_o

14. DE TOENEMING VAN DE DALING VAN DE GRONDWATERSPIEGEL IN DE ZOMER

Een eerste benadering van de sterkere daling van de grondwaterspiegel over de zomerperiode geeft vrijwel geen moeilijkheden. Hier-voor kan immers onmiddellijk de volgende formule worden gegeven:

$$\delta h = \frac{v_z \cdot t_s}{\mu}$$

met μ = bergingscoëfficiënt

t_s = duur van de zomerperiode

v_z = verschil tussen de versterkte wegzijging veroorzaakt door het hogere peil in het agrarische gebied en de oorspronkelijke waarde

δh = toeneming van de grondwaterspiegeldaling

Zowel uit fig. 20 als uit gegevens door Jansen in zijn rapport verstrekt blijkt dat er gemiddeld over vijf zomermaanden een duidelijke grondwaterspiegeldaling optreedt. In hoofdstuk 9 werd als grootte-orde voor de bergingscoëfficiënt van het veen gevonden:

$$\mu = 0,5.$$

Tenslotte blijkt uit fig. 30, dat een versterking van de wegzijging v_z van 0,125 mm/dag maar weinig overschreden wordt (zie zuid-oostelijk randgebied).

Substitutie van deze waarden in bovenstaande formule levert op:
 $\delta h = 0,000125 \times 150 : 0,5 = 0,0375$ m. Daaruit volgt ook, dat voor het overgrote deel van het natuurreservaat de toeneming van de grondwaterspiegeldaling beneden 1 cm blijft.

15. DE INVLOED VAN FLUCTUATIES IN HET PEIL VAN DE SCHAAPHOKSWIJK

Het is bekend, dat de peilfluctuaties in het open water (b.v. eb en vloed aan de kust en hoge afvoeren in het bijzonder op de grote rivieren) een golfvoortplanting in het grondwater geven, welke golf een zekere demping en naijling te opzichte van het open water moet tonen.

Ook voor de Schaaphokswijk zijn zekere peilfluctuaties niet als uitgesloten te beschouwen, bijvoorbeeld bij sterke regenbuien ofwel door een hoger winterpeil ten opzichte van het zomerpeil. Omdat het nu om een tijdsafhankelijk proces gaat, is een wat ingewikkelder rekenschema nodig dan in hoofdstuk 10 werd uiteengezet. De benodigde differentiaalvergelijkingen zijn echter ook nu weer lineair in de onafhankelijk variabelen ϕ_i , die alle zowel van de plaatscoördinaat x als van de tijd t moeten afhangen. In het algemeen kan de oplossing geschreven worden als een produkt van een e -macht en een goniometrische functie, eventueel een som van dergelijke produkten (zie tabel 6 en verder ERNST, 1962).

Om het rekenwerk wat te beperken werd hier toepassing gezocht op een vereenvoudigd profiel. Daar niet te verwachten is dat er een belangrijke uitwerking op zeer grote afstand is, wordt de diepste watervoerende laag verwaarloosd. Bovendien worden de eerste en de tweede watervoerende laag te zamen genomen. Dan zijn er nog 4 bodemconstanten over die voor de oplossing van het probleem van belang zijn.

De radiale weerstand : $\Omega_{rad} = 0,8 \text{ d/m}$

De verticale weerstand voor de bovenlaag : $c = 400 \text{ d}$

De formaties van Twenthe en Eindhoven te zamen: $kD = 70 \text{ m}^2/\text{d}$

De bergingscoëfficiënt voor het veen $\mu = 0,5$.

Omdat bij langzame fluctuaties de golfbeweging het verste doorwerkt (kleine demping) zal de berekening worden toegepast op een enkelvoudig sinusvormige jaarfluctuatie ($t_j = 365 \text{ d}$) en een amplitude voor het peil van open water gelijk $0,2 \text{ m}$ (dus hoog water 40 cm boven laag water).

Substitutie in de diverse formules levert op:

$$\lambda = 167 \text{ m} ; a = 3,44 ; \gamma = 172 \text{ m} ; t' = 75 \text{ d}$$

Tabel 6.

$$\phi(x,t) = \phi(0,0) e^{-\frac{x}{\gamma}} \cos\left(\frac{2\pi t}{t_j} + \frac{x}{\beta}\right)$$

$$h(x,t) = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}} \phi(0,0) e^{-\frac{x}{\gamma}} \cos\left(\frac{2\pi t}{t_j} + \frac{x}{\beta} - \frac{2\pi t'}{t_j}\right)$$

$$\frac{h_{oo}(t)}{\phi(0,0)} = 2\Omega_{\text{rad}} \frac{\lambda^2}{c} \left(\frac{1}{\gamma} \cos \frac{2\pi t}{t_j} - \frac{1}{\beta} \sin \frac{2\pi t}{t_j} \right) + \cos \frac{2\pi t}{t_j}$$

$$\gamma = \lambda \sqrt{\frac{2(a^2 + 1)(\sqrt{a^2 + 1} - a)}{a}} \quad \beta = -\lambda \sqrt{\frac{2(a^2 + 1)(\sqrt{a^2 + 1} + a)}{a}}$$

$$\lambda = \sqrt{kDc}$$

$$a = \frac{2\pi\mu c}{t_j}$$

$$\cos \frac{2\pi t'}{t_j} = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

$$\text{Amplitude } h_{oo} \approx \left(1 + \frac{2\Omega_{\text{rad}} \lambda^2}{c\gamma}\right) \phi(0,0)$$

$$\text{Amplitude } \phi(0,t) = \phi(0,0)$$

$$\text{Amplitude } h(0,t) = \frac{\phi(0,0)}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

De andere uitkomsten zijn:

amplitude $h_{oo} = 20$ cm; amplitude $\phi(0,t) = 12$ cm; amplitude $h(0,t) = 3,4$ cm. De damping is gelijk aan $\exp(-x/\gamma)$ en kan gemakkelijk in een grafische voorstelling worden uitgezet (fig. 32). Daaruit blijkt dat ondanks de vrij grote amplitude van 20 cm op 200 m afstand in de grondwaterspiegel daarvan nog maar 1 cm over is. Bij een wat kleinere bergingscoëfficiënt (b.v. $\mu = 0,3$), wat niet uitgesloten is bij hysteresis tussen vochtgehalte en vochtspanning, wordt een wat grotere fluctuatie gevonden: amplitude $h(0,t) = 5,4$ cm.

De uitkomsten voor een langzame golfbeweging zullen in het algemeen niet sterk afwijken van die voor een stationaire toestand. Dit blijkt bijvoorbeeld uit een vergelijking van het verschil tussen de lijn voor de formatie van Eindhoven en de nullijn in fig. 31 met het verschil tussen de lijnen voor het freatisch oppervlak en voor de stijghoogte in de formatie van Eindhoven als gegeven in fig. 32.

Bij een veel kortere duur van de periode met hoog water (b.v. door een sterke regenval gedurende een week) zal de golfbeweging in de formatie van Eindhoven niet belangrijk verminderd zijn. Voor de formatie van Twenthe geldt dit wat minder, maar voor het freatisch oppervlak gelegen in het veenpakket is een veel kleinere fluctuatie te verwachten. De reductie is in eerste benadering gelijk te stellen aan de verhouding van de periodelengten, dus als

$t_j = 365 \text{ d} \rightarrow t_w = 14 \text{ d}$, wordt amplitude $h(0,t)$ gelijk aan 0,15 cm.

De afstand, waarover het water vanuit de Schaaphokswijk door ongewenste peilveranderingen in de grond kan doordringen, zal niet meer dan enkele meters kunnen zijn. Dit geldt ook voor langzame fluctuaties (zie geringe hoogte van onderste kromme in fig. 32). Een en ander is in overeenstemming met de lage waarden voor v_0 welke zijn gemeten in de Schaaphokswijk (zie hfdst. 8).

16. DISCUSSIE

Een van de bezwaren, die tegen de gebruikte methode kan worden aangevoerd, is dat de toestand als stationair wordt voorgesteld, met een onveranderd peil voor de grondwaterspiegel in het natuurreserveaat. Daar er geen belangrijke vermindering in de oppervlakte-afvoer te verwachten is (vergelijk de tegenwoordige gemiddelde waarde voor de oppervlakte-afvoer volgens tabel 2 met de waarden van v_z volgens fig. 30), zal de wintertoestand zeer weinig veranderen. Afhankelijk van de weersgesteldheid zal gedurende deze periode en dat vooral voor het centrale westelijke deel van het reserveaat er een afwisseling zijn van water op het grondoppervlak en zeer ondiepe grondwaterstanden. Het voorjaar begint met een nauwelijks veranderde toestand, maar daarna ontstaat in de loop van de zomer een grondwaterstands-daling, die iets sterker zal zijn dan onder de oorspronkelijke omstandigheden.

Uit voorgaande beschouwingen is gebleken, dat de grondwaterstandsverandering in de formatie van Twenthe in het algemeen niet meer dan enkele cm's is. Voor de toeneming van de daling van het freatisch oppervlak over de zomerperiode kan ook de volgende formule worden gebruikt:

$$\delta h = \frac{t_s \phi_2}{\mu c_1} = \frac{150 \times \phi_2}{0,5 \times 400} = \frac{3}{4} \phi_2$$

Hieruit volgt, dat δh aan het einde van de zomer nog relatief klein is. Dit geldt nog sterker, wanneer het gaat om de gemiddelde waarde van δh over de zomerperiode. Op het constant gedachte peilverschil $h_{01} - h_{02}$ zou deze δh in vermindering moeten worden gebracht. Dit zou een aanzienlijke uitbreiding van rekenwerk met zich brengen en ^{op} het resultaat zo weinig invloed hebben (nog iets kleinere effecten), dat dit tot nu toe verwaarloosd werd.

Het feit, dat de metingen in de Schaaphokswijk niet tot bevredigende resultaten hebben geleid, houdt in dat nagegaan zou moeten worden, of het aangenomen 6-lagen-profiel niet anders zou moeten worden geïnterpreteerd. De waarde van Ω_{rad} is van invloed bij een

vergelijking van profielweerstanden Ω_p , zoals met de figuren 25 en 27 kan worden gedaan. Al naar gelang van de invoering van een zeer lage of zeer hoge waarde voor Ω_{rad} (zie hfdst. 8). zou de invloed van de Schaaphokswijk op de aangrenzende delen van het natuurgebied kunnen worden omschreven als matig of klein. Door Ω_{rad} van 0,8 te verhogen tot 2,6 d/m volgt uit fig. 27a een reductie met 30 tot 50%.

Van de profielweerstanden Ω_p is hier gebruik gemaakt om de relatieve invloed van het ondergrondse geleidend vermogen of de ondergrondse weerstand per laag te schatten. De fig. 25 en 27 hebben immers betrekking op een uitwisseling, respectievelijk tussen twee half oneindige, homogene gebieden en tussen een leiding en een oneindig groot gebied met homogene eigenschappen. Daarmee te verkrijgen waarden voor $q(0)$ mogen dus niet worden gezien als een wegzijging, die werkelijk door het natuurreservaat wordt geleverd, daar verderaf gelegen gebieden (b.v. ten noorden en ten zuiden als het om fig. 25 of 29 gaat) ook van invloed zijn.

De werkelijke gebiedsafmetingen zouden in de profielen moeten worden ingevoerd, bijvoorbeeld 3000 m voor het natuurreservaat, 750 m voor de vloeivelden, 2000 m voor het ontwateringsbehoefte gebied met vervolgens invoering van de eigenschappen van de nog verderaf gelegen gebieden. Het aantal coëfficiënten A_k en A'_k zou dan stijgen van 24 tot 48. Het daaraan verbonden rekenwerk is wegens de omvang tot nu toe achterwege gebleven. Hieraan zou tenslotte kunnen worden toegevoegd, dat uitbreiding van waarnemingsmateriaal momenteel belangrijker lijkt, dan uitbreiding van berekeningen.

Uit het onderzoek is gebleken, dat voor het grootste deel van het natuurreservaat (zie fig. 30 ten noord-westen van de lijn voor $\phi_2 = 1$ cm) de ondergrondse afvoer door de watervoerende lagen ($U_2 + U_4 + U_6$) met minder dan 9 mm/jaar zal toenemen, als in het zuidelijke agrarische gebied het peil met 30 cm zal worden verlaagd. Volgens tabel 2 kan de oppervlakte-afvoer van 200 mm/jaar dus maximaal met 4,5% afnemen. Aangenomen, dat de gemiddelde intensiteit van de oppervlakte-afvoer daardoor hoogstens met 2% zal afnemen, houdt dit in dat de gemiddelde duur hoogstens 1 dag per jaar minder wordt. Afdamming van slotjes en greppels, zoals in voorgaande jaren reeds uitgevoerd, heeft ook de bedoeling gehad enige verlaging van inten-

siteit te verkrijgen, maar daarmee wel een veel belangrijkere verlenging van de duur van de oppervlakte afvoer.

17. SAMENVATTING

Het onderzoek heeft opgeleverd, dat een goed overzicht van grondwaterstanden, afvoeren en weerstanden in het betrokken gebied is verkregen. De kennis van de hydrologie van hoogveengebieden heeft hiermee een vrij belangrijke uitbreiding ontvangen. Weliswaar is de doorlatendheid en de bergingscoëfficiënt van het veen nog maar matig bekend. Ook wat betreft de omvang en de tijdsduur van het onder water staan van het centrale deel van het natuurgebied moet voortzetting van het onderzoek in samenhang met diverse andere aspecten worden aanbevolen.

Bij het vrij ingewikkelde zes-lagen-profiel gaf de gebruikte rekenmethode een goed middel om tot een redelijk betrouwbare voorspelling te komen van de invloed van een peilverlaging in het agrarisch gebied. Alleen aan de randen van het natuurreservaat zal in een betrekkelijk smalle strook een grondwaterstandsverandering van enkele cm's ontstaan. Op meer dan 500 m afstand is te verwachten dat de daling ongeveer 1 cm of kleiner zal zijn. Door het ontbreken van potklei in de omgeving van het Esmeer is daar een iets sterkere beïnvloeding te verwachten. Ten aanzien van het centrale westelijke deel van het natuurreservaat (noordwestelijk van de grondwaterstandsbuizen 16 en 23), waar nog levend hoogveen wordt gevonden, kan met vrij grote zekerheid de verwachting worden uitgesproken dat de grondwaterstandsverlaging, die vanuit het zuidelijke agrarische gebied te weeg gebracht kan worden, tijdens normale zomers beneden 1 cm zal blijven. De grondwaterstandsdiepte ligt in het grootste deel van het gebied westelijk van de Schaaphokswijk aan het einde van de zomer tussen -0,25 en -0,5 m. Een toeneming van de daling van een grondwaterstand over de zomerperiode met rond 1 cm of minder mag wel als van weinig belang worden beschouwd. Bij extreem lange en droge zomers zal het effect vermoedelijk naar evenredigheid van de periodeduur toenemen en is daarmee dus ook als weinig belangrijk te beschouwen.

Met betrekking tot de oppervlakte-afvoer (200 mm/jaar volgens tabel 2) kan worden gesteld, dat daarin een kleine vermindering te verwachten is door de versterkte wegzijging. Bij de gestelde waarde voor

de verticale weerstand van het veen ($c_1 = 400$ d) en bij de gevonden geringe waarden voor de grondwaterstands daling in de formatie van Twenthe (b.v. $\phi_2 = 1$ cm) volgt een vermindering in de oppervlakte-afvoer van in grootte-orde 10 mm/jaar.

Wat betreft de invloed van het peil van de Schaaphokswijk op de grondwaterstanden in het natuurreserveaat moet enig voorbehoud worden gemaakt, gezien de moeilijkheden die zijn opgetreden bij het verklaren van de debietmetingen uitgevoerd in de bodem van de Schaaphokswijk. Wordt voor de radiale weerstand van de Schaaphokswijk een relatief lage waarde (in ieder geval ^{veel} lager dan hetgeen uit de debietmetingen volgt) aangenomen, dan leidt dit tot een matige invloed bij een 30 cm peilverlaging in de Schaaphokswijk. Het is duidelijk, dat een zekere overschatting van de mogelijke gevolgen op dit punt niet mag worden uitgesloten.

LITERATUUR

- EGGELSMANN, R. Die Verdunstung der Hochmoore und derer hydrographische Einflusz.
Deutsche Gewässerk. Mitteil. 8, 1964, 138-147.
- ERNST, L.F. Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen.
Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht, 1962.
- GISCHLER, C.E. A semi qualitative study of the hydrogeology of the North Netherlands, Verh. Kon. Ned. Geol. en Mijnbouwk. Genootsch., Geologische serie, deel 24, 1967.
- HOEVE, TER J. Over de waterhuishouding van een hoogveenreservaat in de Engbertsdijksvenen.
Cultuurtechn. Tijdschr., 5, 1965/'66, 169-179.
- JANSEN, J.M.H. Het Fochteloërveen, een onderzoek naar de mogelijkheden tot herstel en behoud van de veengroei in het hoogveenreservaat. Rapport van de Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland, 1975 (scriptie L.H. Wageningen).
- K.N.M.I. Klimaatatlas van Nederland.
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1972.
- STAVENGA, T. en J.L. TERWEY. Rapport inzake een geo-elektrisch onderzoek in het Fochteloërveen.
Dienst Grondwaterverkenning, T.N.O., 1977
- UHDEN, O. Niederschlags- und Abflusz beobachtungen auf unberührten, vorentwässerten und kultivierten Teilen eines Nordwestdeutschen Hochmoores der Esterweger Dose am Küstenkanal bei Papenburg.
Verlag Wasser und Boden, Heft 15 I, 1967.
- WEE, TER M.W. Geologische opbouw van Drenthe.
Rijksgeologische Dienst, rapport nr 877, 1972.
- WERKGROEP REGIONAAL GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK IN DE PROVINCIE DRENTHÉ.
Rapport B betreffende de geohydrologie van Drenthe, 1976.
- WILLEMS, W.J. Hydrologisch onderzoek in het hoogveengebied van Zuidoost-Drenthe. Scriptie Instituut voor Aardwetenschappen, V.U. Amsterdam, 1976.

LIJST VAN FIGUREN

- Fig. 1. Hoogtekaart
- Fig. 2. Veendikte kaart
- Fig. 3. Gliededikte kaart
- Fig. 4. kD-waarde kaart voor formatie van Twenthe
- Fig. 5. Leemdikte kaart
- Fig. 6. Formatie van Eindhoven en potklei
- Fig. 7. Hydrogeologisch profiel
- a. volgens rapport Jansen
 - b. volgens boringen LD en ICW
- Fig. 8. Peilen van open water (peilschalen 1, 3, 5, 6, 7 en 8)
- Fig. 9. Overzichtskaart
- Fig. 10. Grondwaterstanden van 28-4-1978 in de formatie van Eindhoven
- Fig. 11. Stijghoogte van het diepe grondwater in de formatie van Urk-Harderwijk
- Fig. 12. Hydrologische profielen AA', BB', CC' en DD'
- Fig. 13. Grondwaterstandsdiepte in de winter
- Fig. 14. Grondwaterstandsdiepte in de zomer
- Fig. 15. Stijghoogteverschil tussen formaties van Twenthe en Eindhoven
- Fig. 16. Verband tussen het stijghoogteverschil Twenthe-Eindhoven en de leemdikte
- Fig. 17. Stijghoogteverschil tussen formaties van Eindhoven en Urk-Harderwijk
- Fig. 18. Dwarsprofiel op Schaaphokswijk ten noorden van Pompwijk
- Fig. 19. Situatie van de meetpunten in de Schaaphokswijk
- Fig. 20. Grondwaterstandswaarnemingen over 1976-1979
(buizen 3, 3A, 3B, 19, 19A, 23, 23A, 23B, 27 en 27A)
- Fig. 21. Fluctuatiediagrammen voor de buizen 5-39, 5-27, 39-27, 5-5A, 14-14A en 39-39A over de periode april 1976 - april 1978
- Fig. 22. De fluctuatie van de grondwaterstand in de formatie van Eindhoven, 28 april - 29 augustus - 30 oktober 1978
- Fig. 23. De fluctuatie van de grondwaterstand in de formatie van Twenthe, 28 april - 29 augustus - 30 oktober 1978

- Fig. 24. Schematisch profiel voor de berekening van een scheef-symmetrische grondwaterstroming
- Fig. 25. De profielweerstand Ω_p berekend voor fig. 24 met $k_2 D_2 = 6 \text{ m}^2/\text{d}$, $k_4 D_4 = 60 \text{ m}^2/\text{d}$ en $k_6 D_6 = 3000 \text{ m}^2/\text{d}$ en variable c_1 en c_3 :
- Bij afwezigheid van potklei ($c_5 = 700$ dagen)
 - Bij aanwezigheid van potklei ($c_5 = 10^5$ dagen)
- Fig. 26. Schematisch profiel voor de berekening van een symmetrische toestroming naar een kanaal met verlaagd peil:
- Kanaalbodem in de eerste watervoerende laag
 - Kanaalbodem dicht boven de tweede watervoerende laag
- Fig. 27. De profielweerstand Ω_p berekend voor de symmetrische toestroming naar een kanaal:
- Kanaalbodem in de eerste watervoerende laag
 - Kanaalbodem dicht boven de tweede watervoerende laag
- Fig. 28. De vereenvoudigde geohydrologische profielen I, II en III
- Fig. 29. De berekende verlaging van de stijghoogte voor elk van de drie watervoerende lagen bij 30 cm peilverlaging in het agrarische gebied voor de profielen I, II en III
- Fig. 30. Grondwaterstandsveranderingen in de formatie van Twenthe en veranderingen in de wegzijging uit het veen, geëxtrapoleerd uit fig. 29
- Fig. 31. Berekende grondwaterstandsveranderingen bij 30 cm peilverlaging in de Schaaphokswijk
- Fig. 32. De grootte van de amplitude van de grondwaterstandsfluctuaties veroorzaakt door een sinusvormig fluctuerend peil in de Schaaphokswijk (vereenvoudigd profiel)

BRUIN, DE H.A.R. The accuracy of measuring areal precipitation with
a rain gauge network. Versl. Meded. Comm. Hydr. Onderz. T.N.O.
No. 23, Den Haag, 1977.

FIG.1

HOOGTEKAART
IN M+N.A.P.

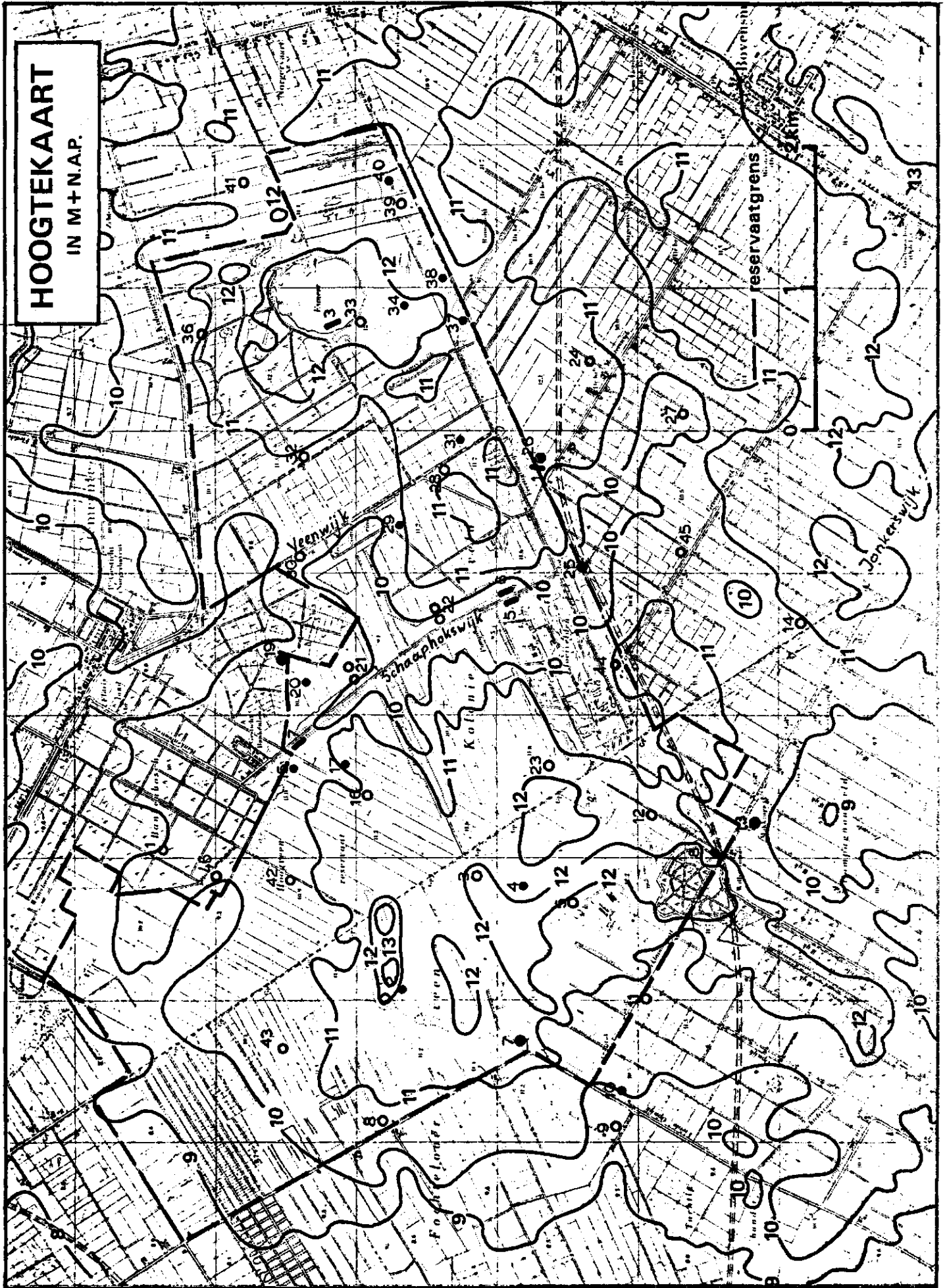


FIG. 2

VEENDIKTE KAART

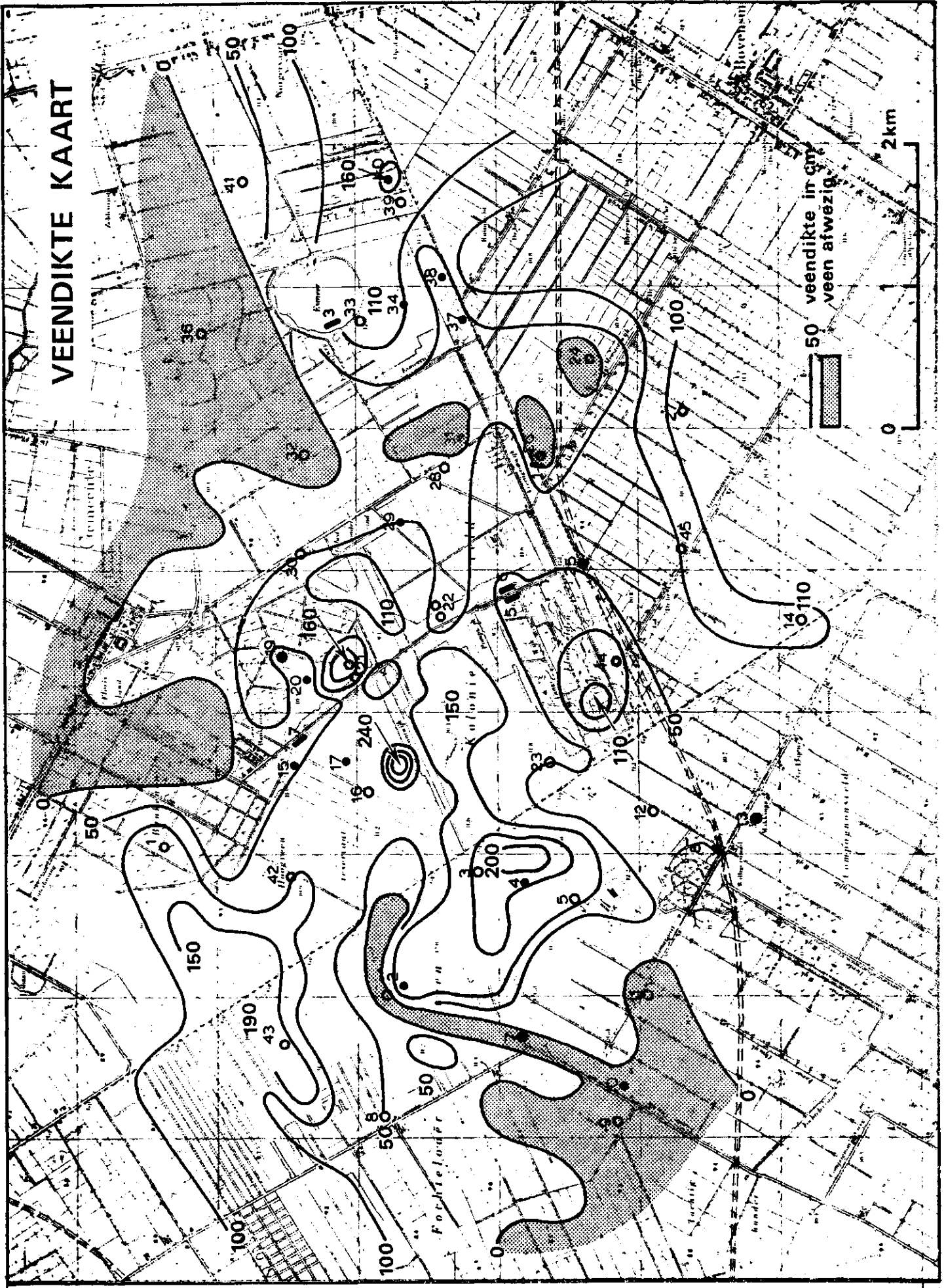


FIG.3

GLIEDEDIKTE KAART

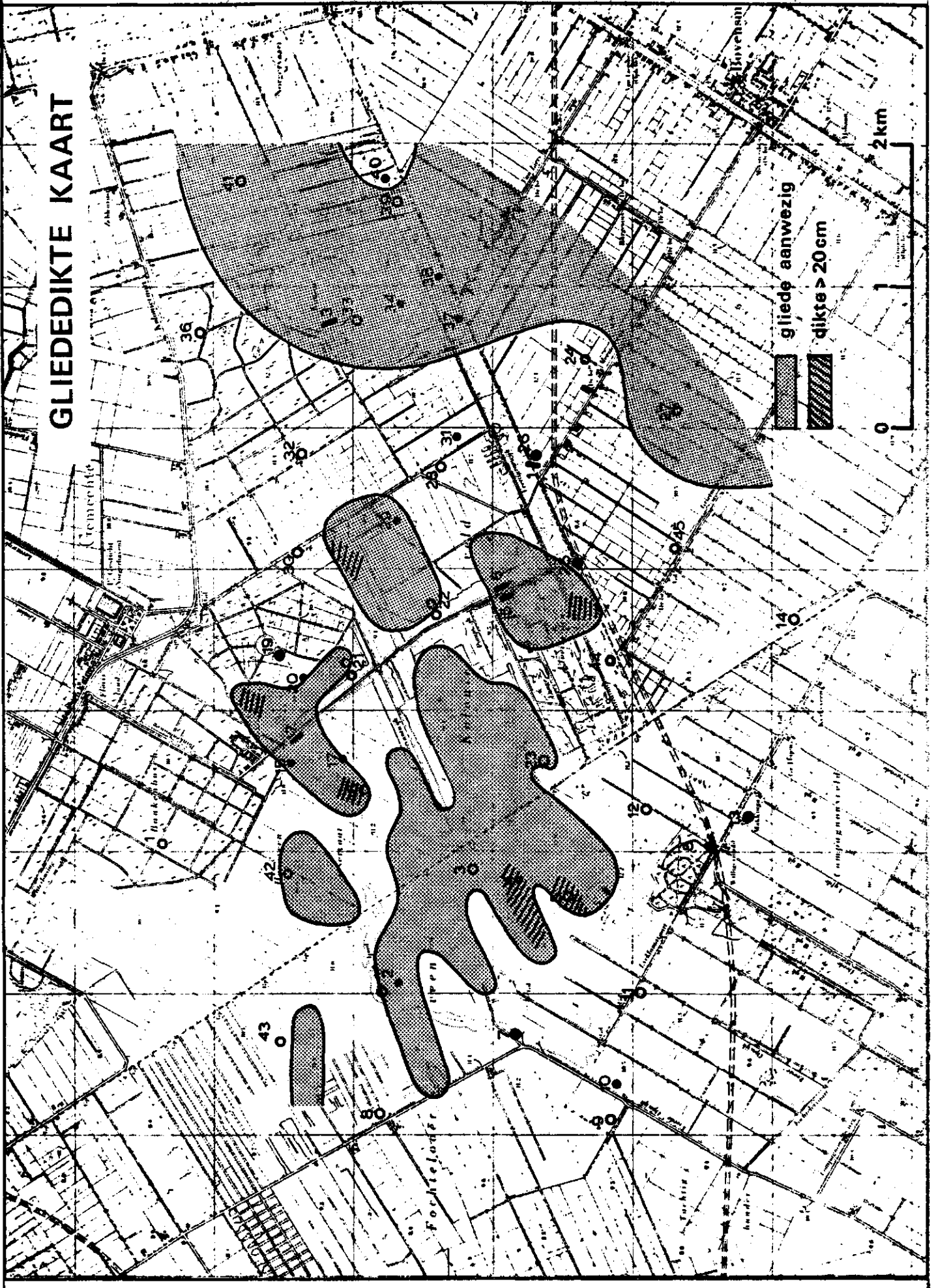
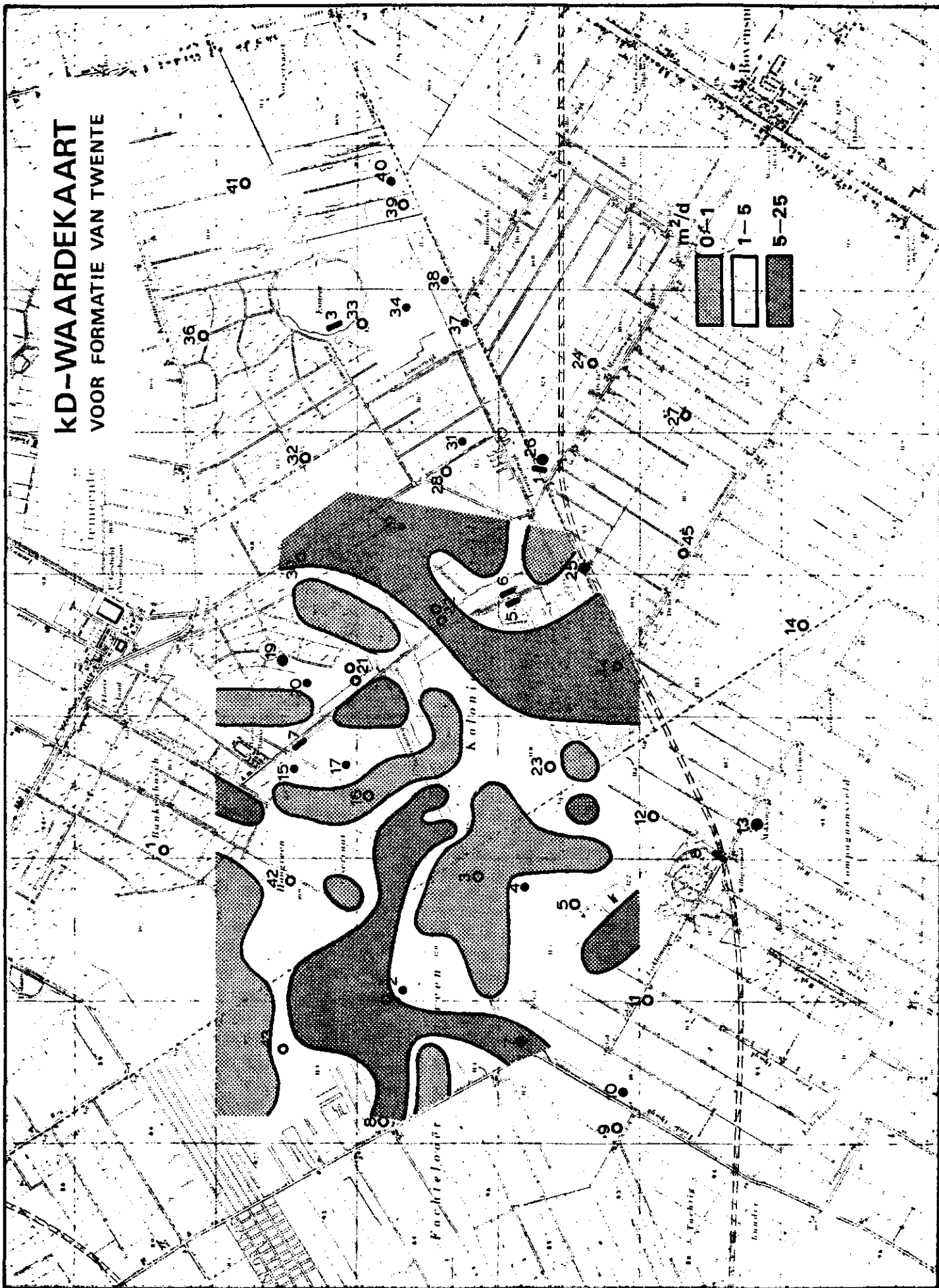
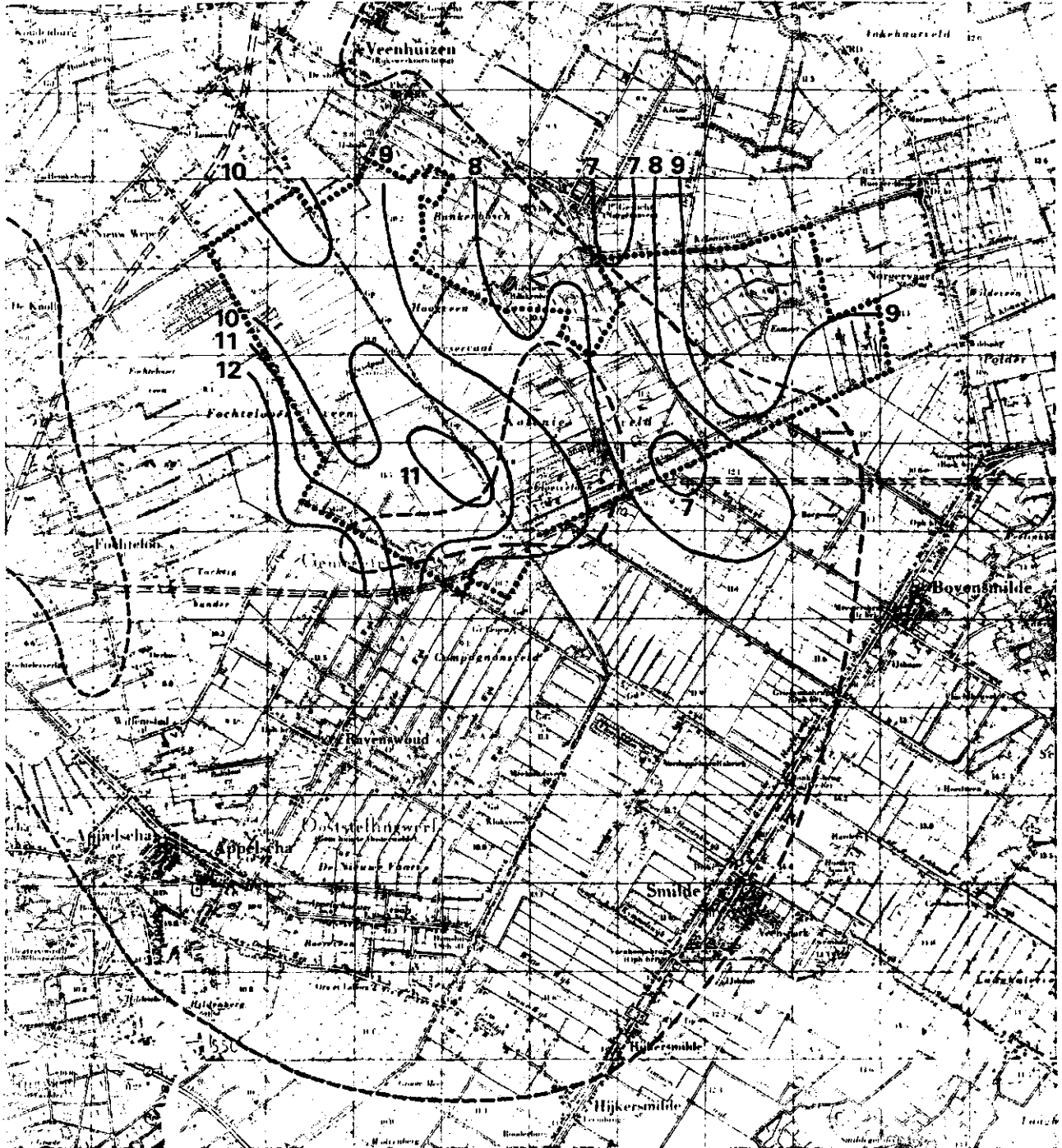


FIG.4

KD-WARDEKAART VOOR FORMATIE VAN TWENTE



ONDERZOEK NATUURRESERVAAT FOCHTELOOERVEEN-KOLONIEVELD fig.6
 formatie van Eindhoven en potklei



- grens potkleigebied
- dikte formatie van Eindhoven
- grens reservaat

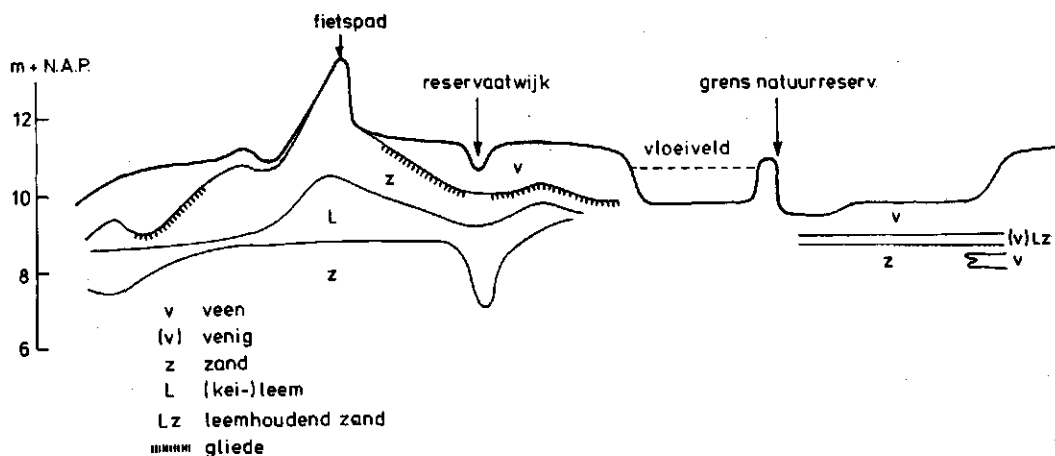


Fig. 7a. Hydrologisch profiel volgens rapport Jansen

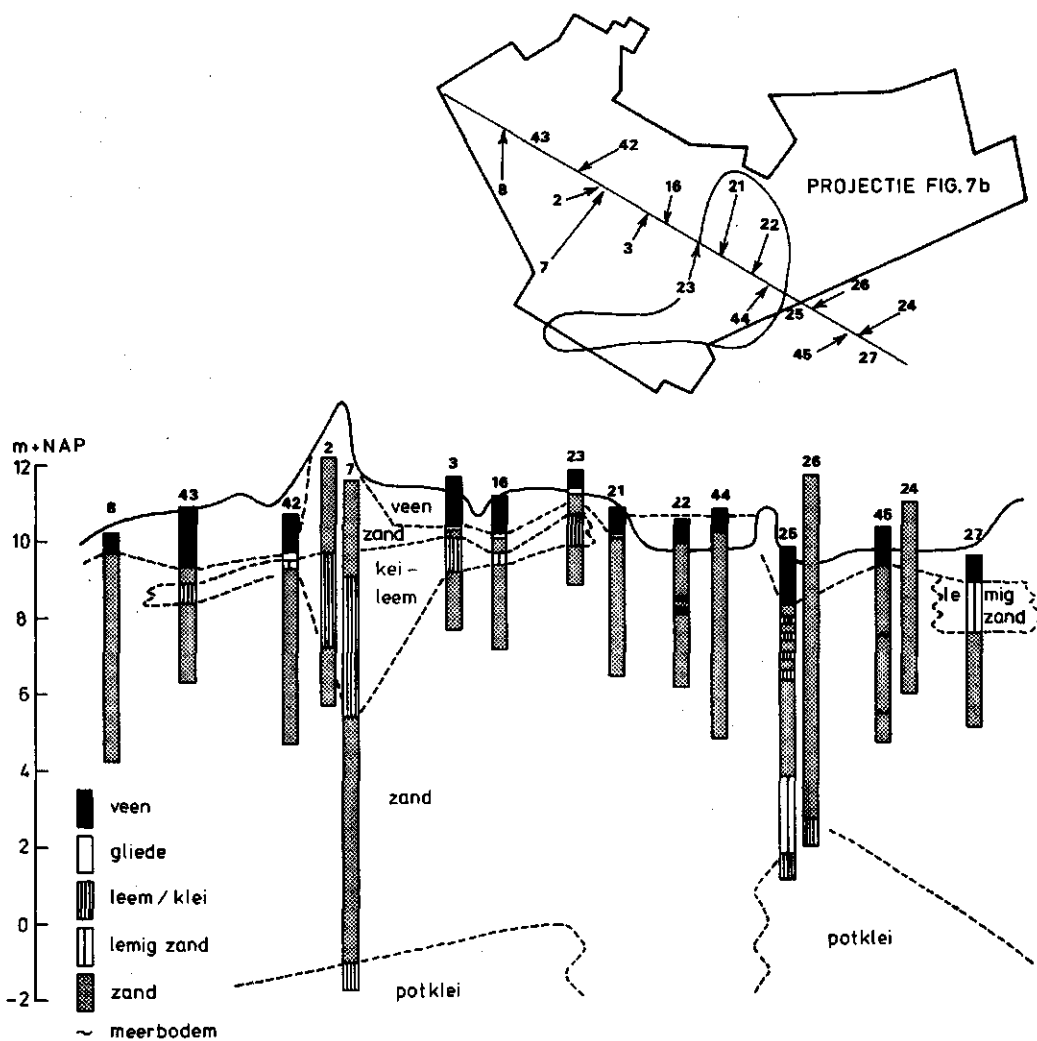


Fig. 7b. Hydrologisch profiel volgens boringen L.D. en I.C.W.

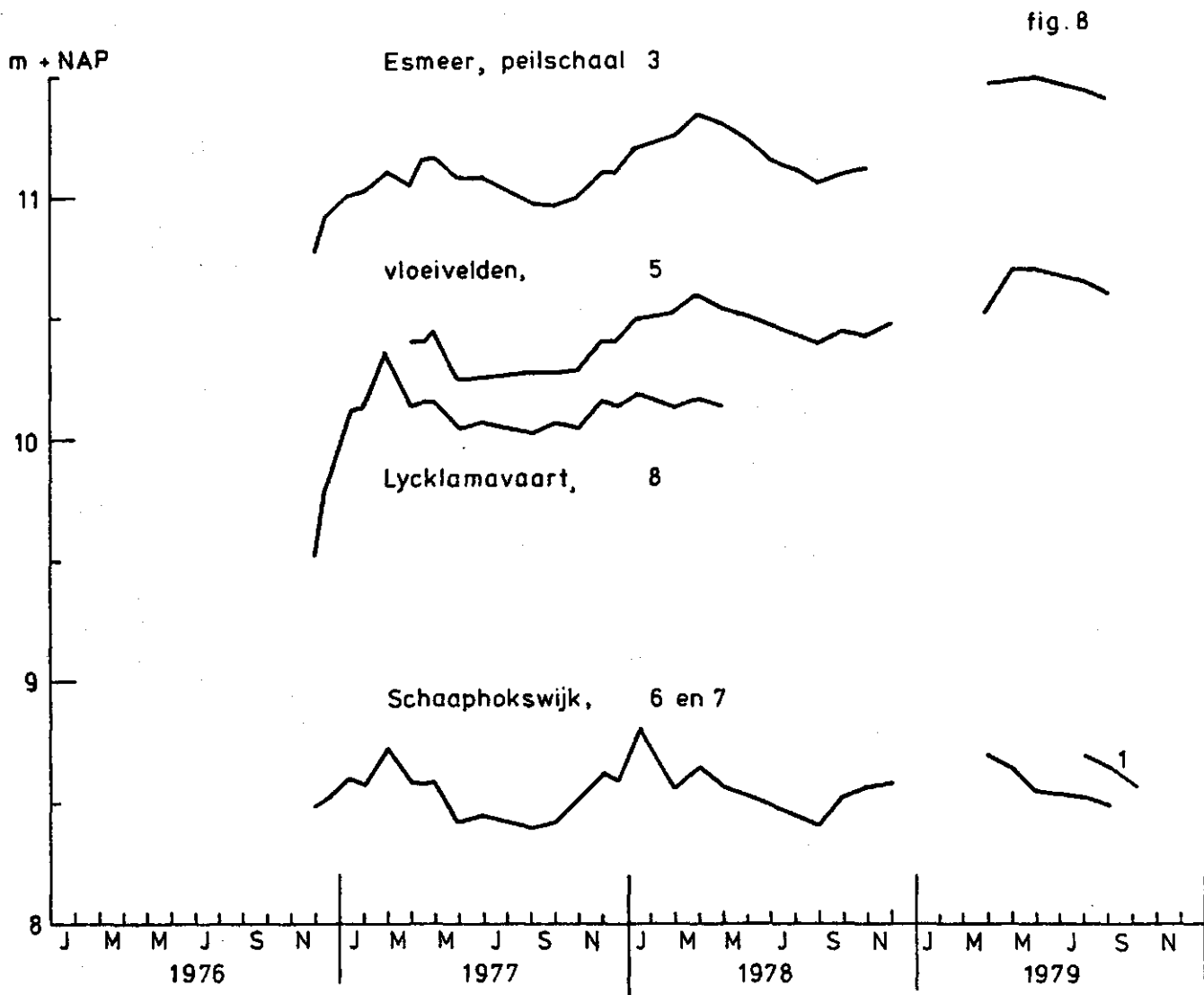


Fig. 8. Peilen van open water

FIG. 9

OVERZICHTSKAART

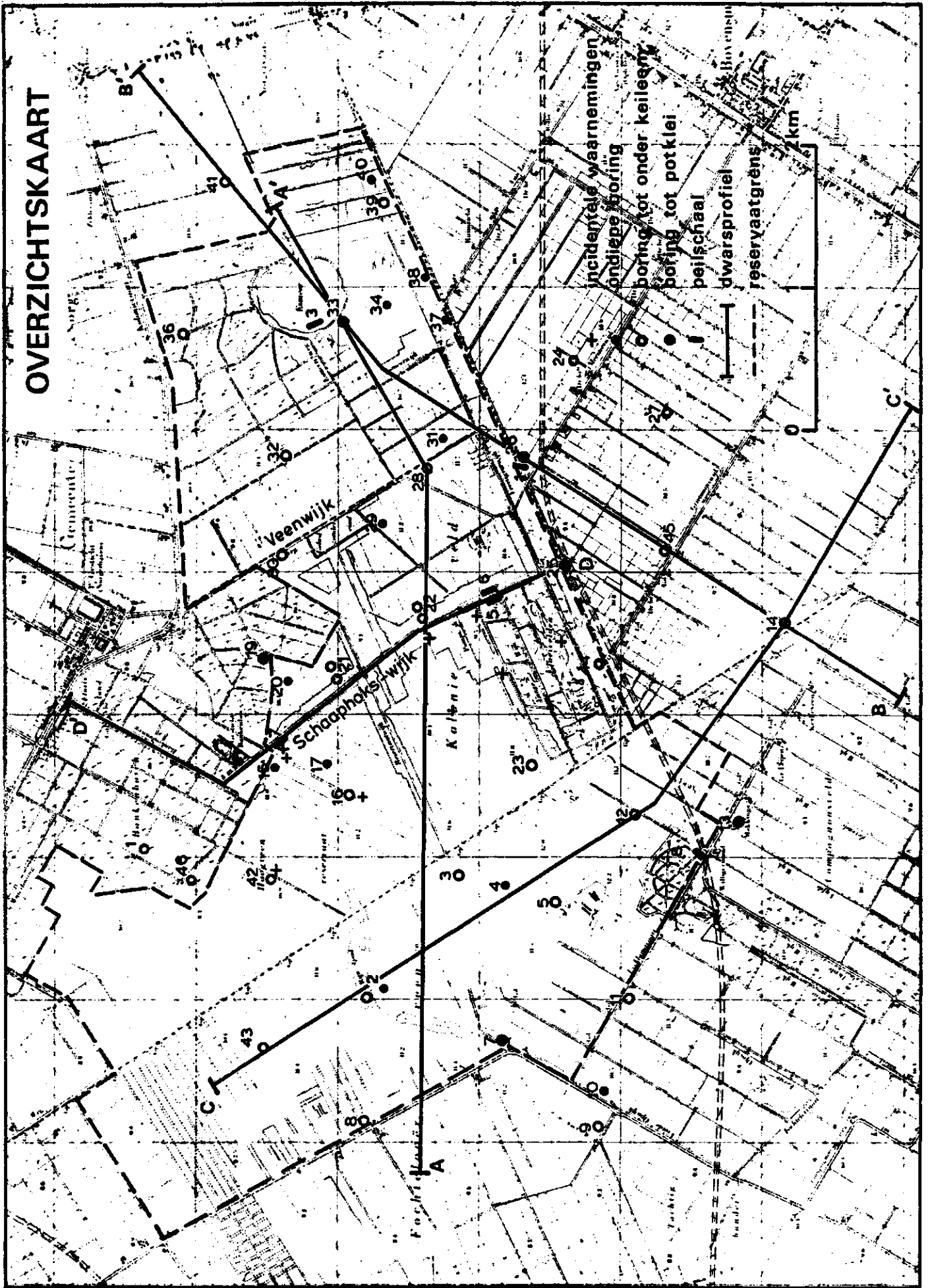


FIG.10

GRONDWATERSTANDEN 28-4-1978

FORMATIE VAN EINDHOVEN

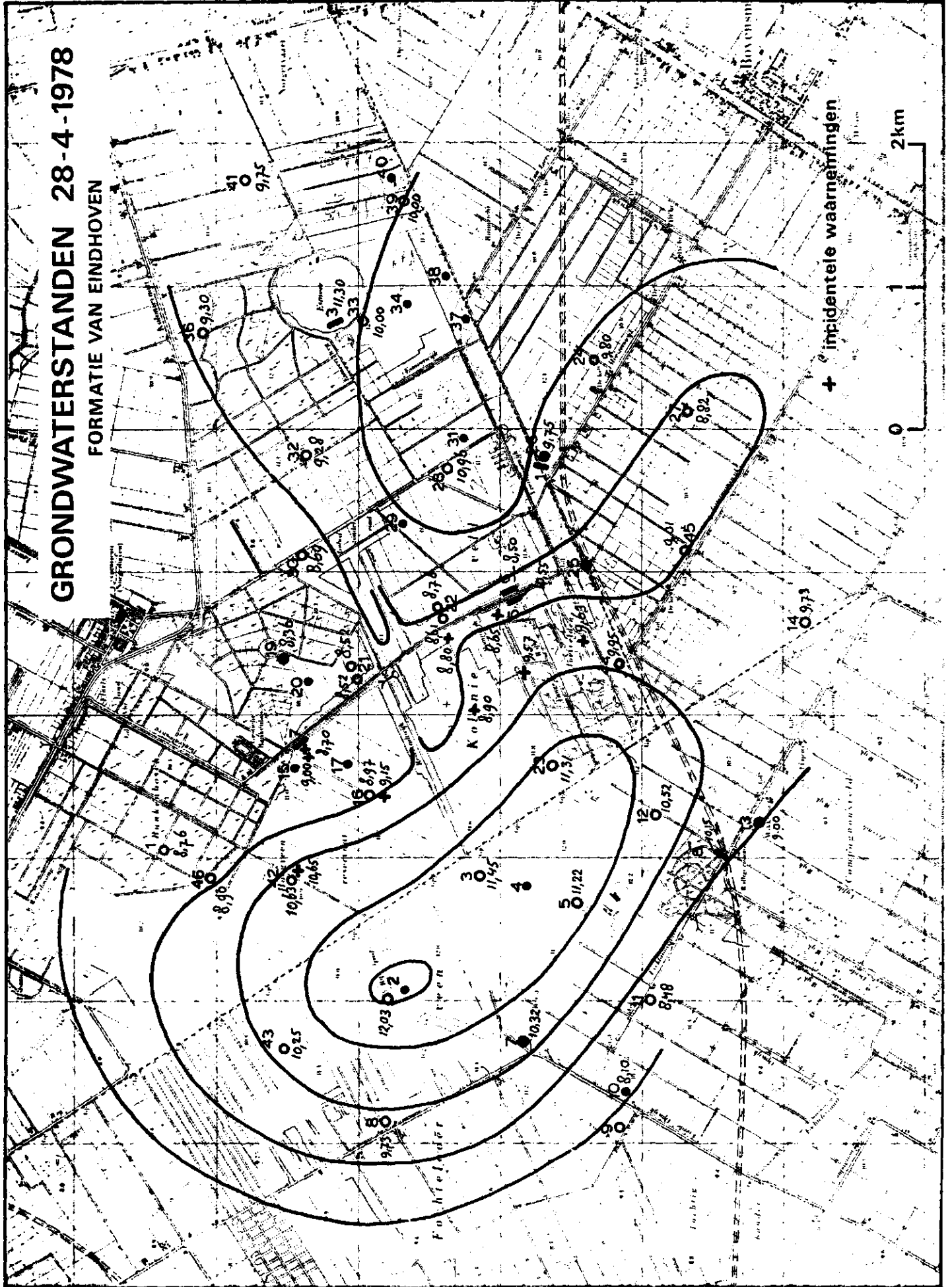
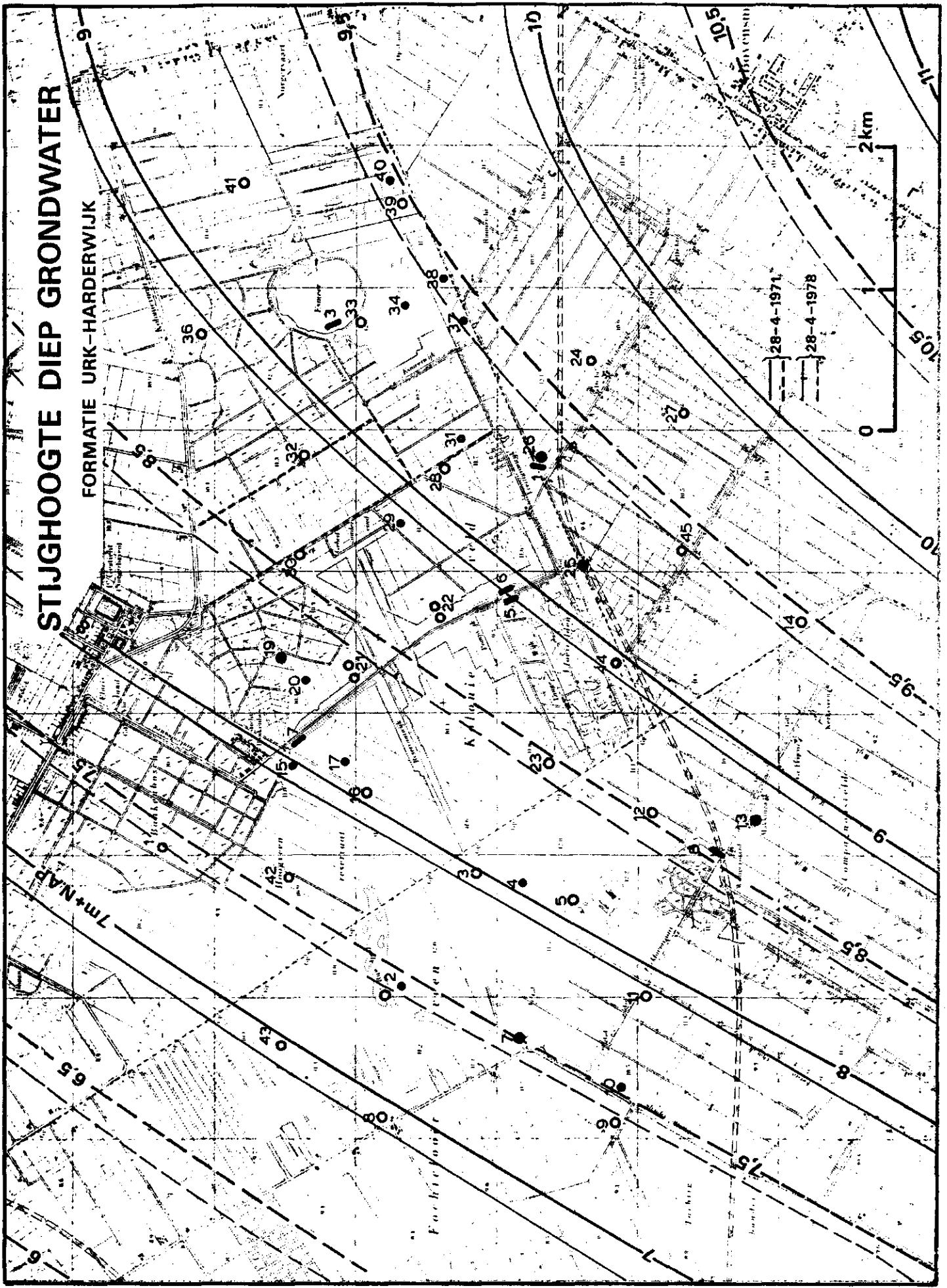


FIG.11

STIJGHOOGTE DIEP GRONDWATER

FORMATIE URK-HARDERWIJK



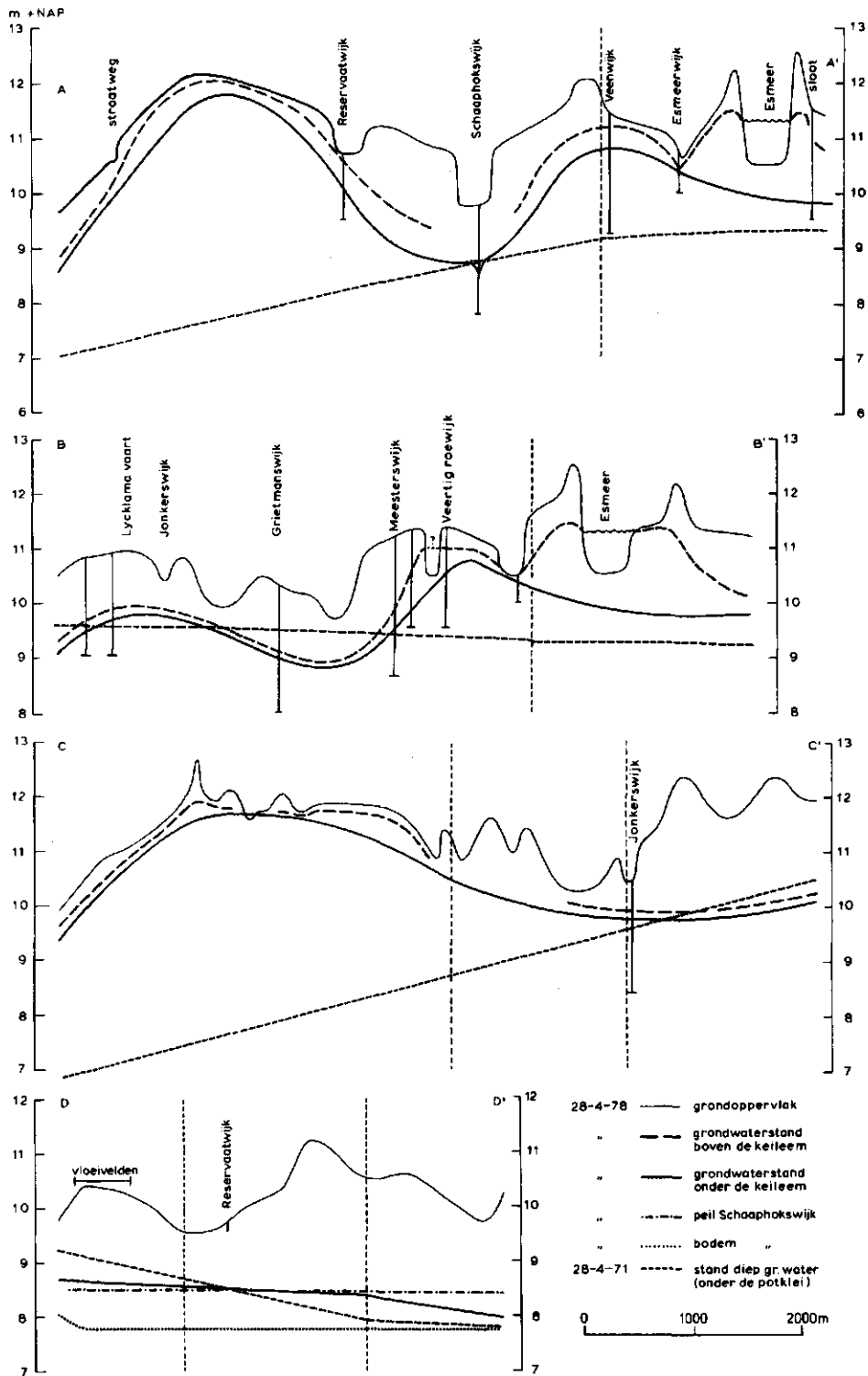


Fig. 12. Hydrologische profielen AA', BB', CC' en DD'

FIG13

GRONDWATERSTANDSDIEPTE IN DE WINTER

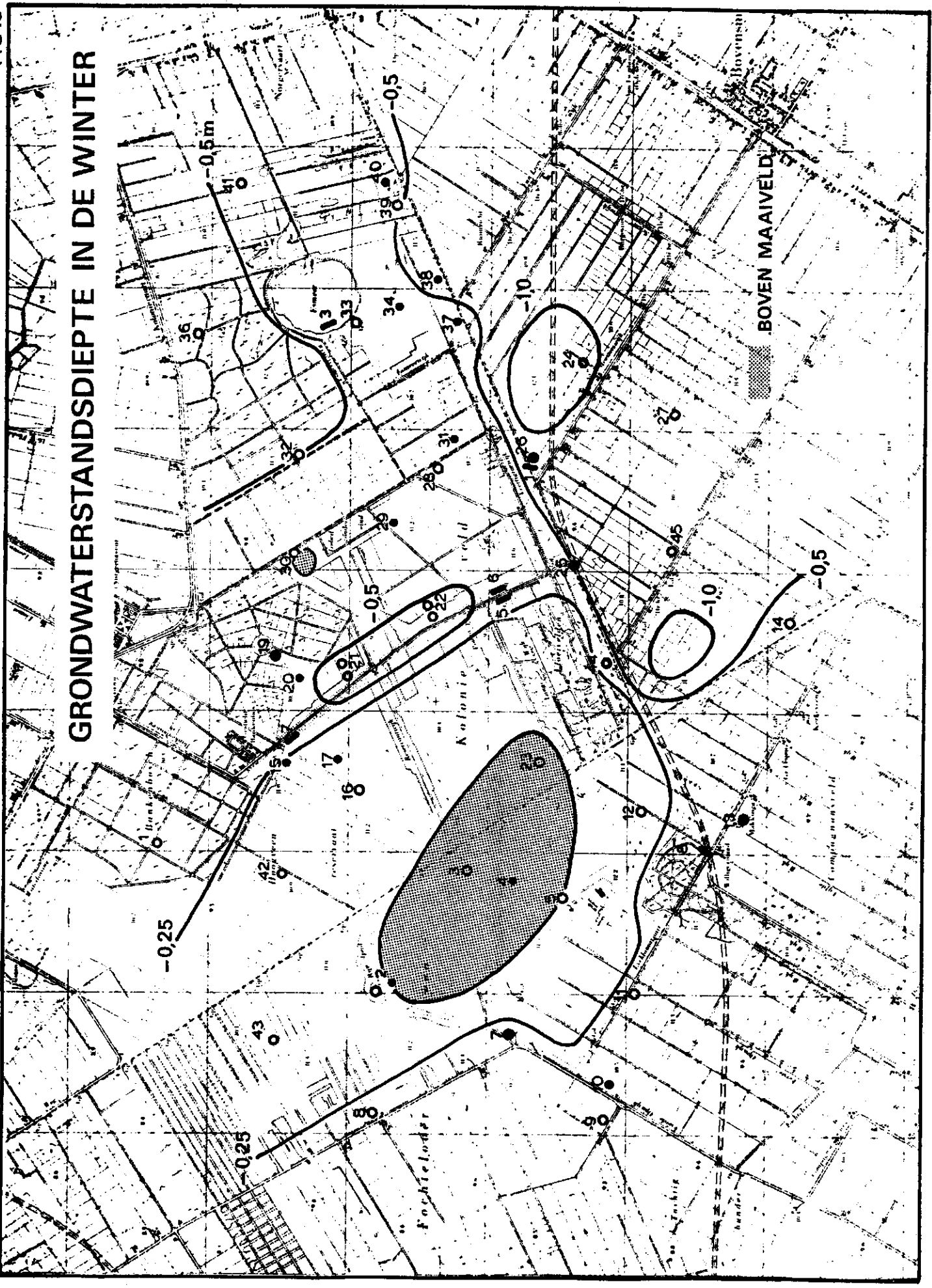


FIG 14

GRONDWATERSTANDSDIEPTE IN DE ZOMER

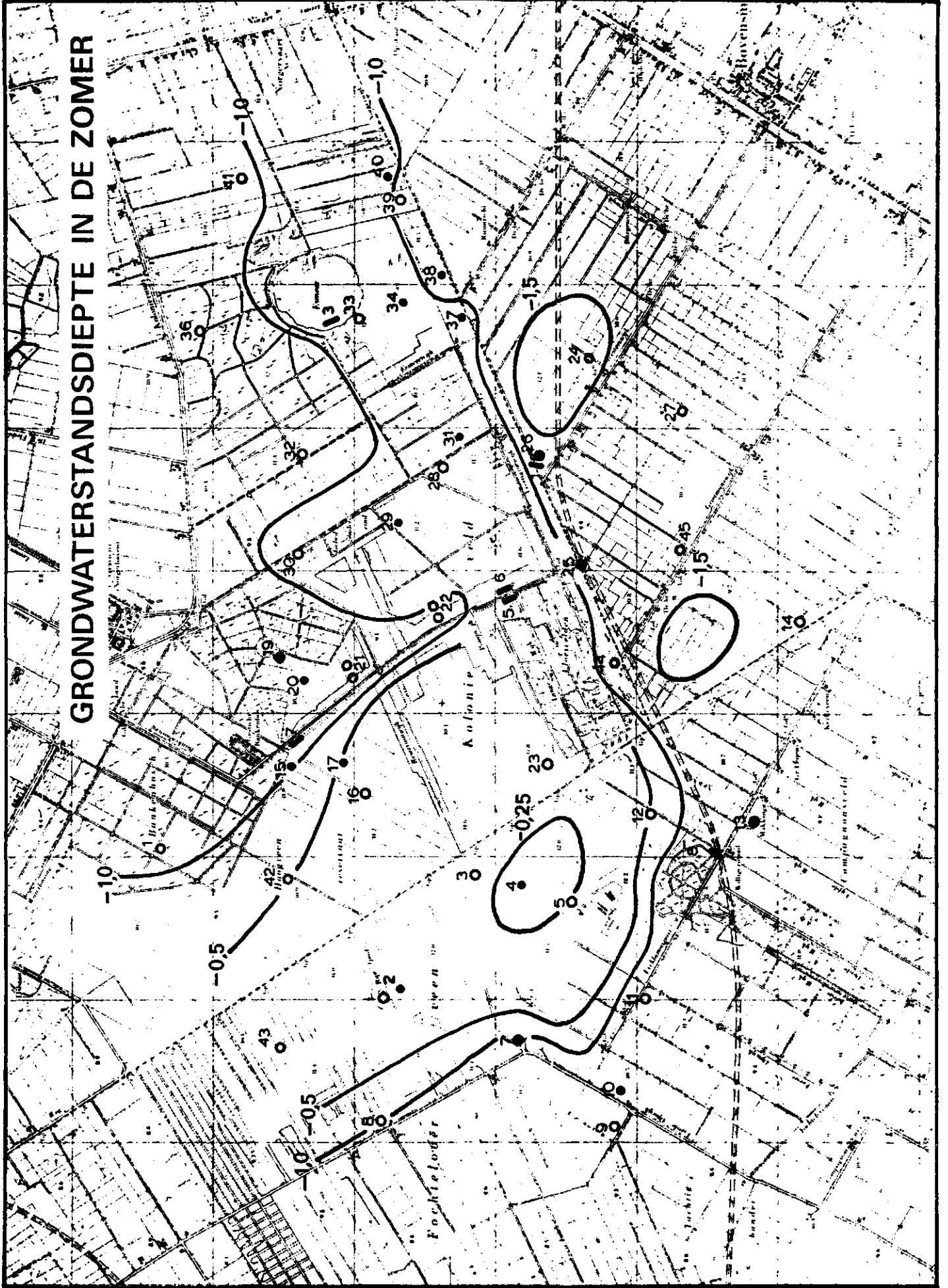
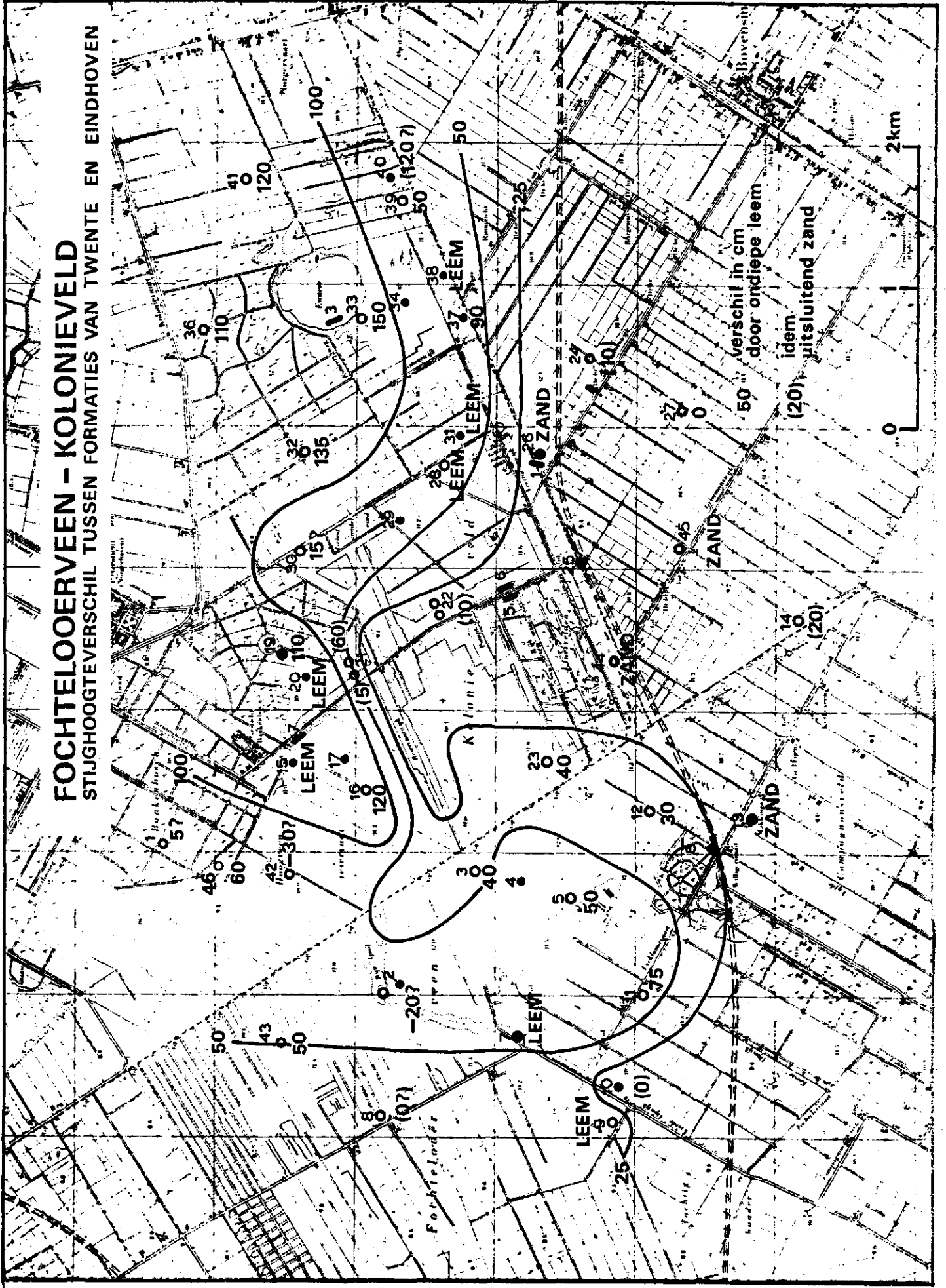


FIG 15

FOCHTELOERVEEN - KOLONIEVELD

STIJGHOOGTEVERSCHIL TUSSEN FORMATIES VAN TWENTE EN EINDHOVEN



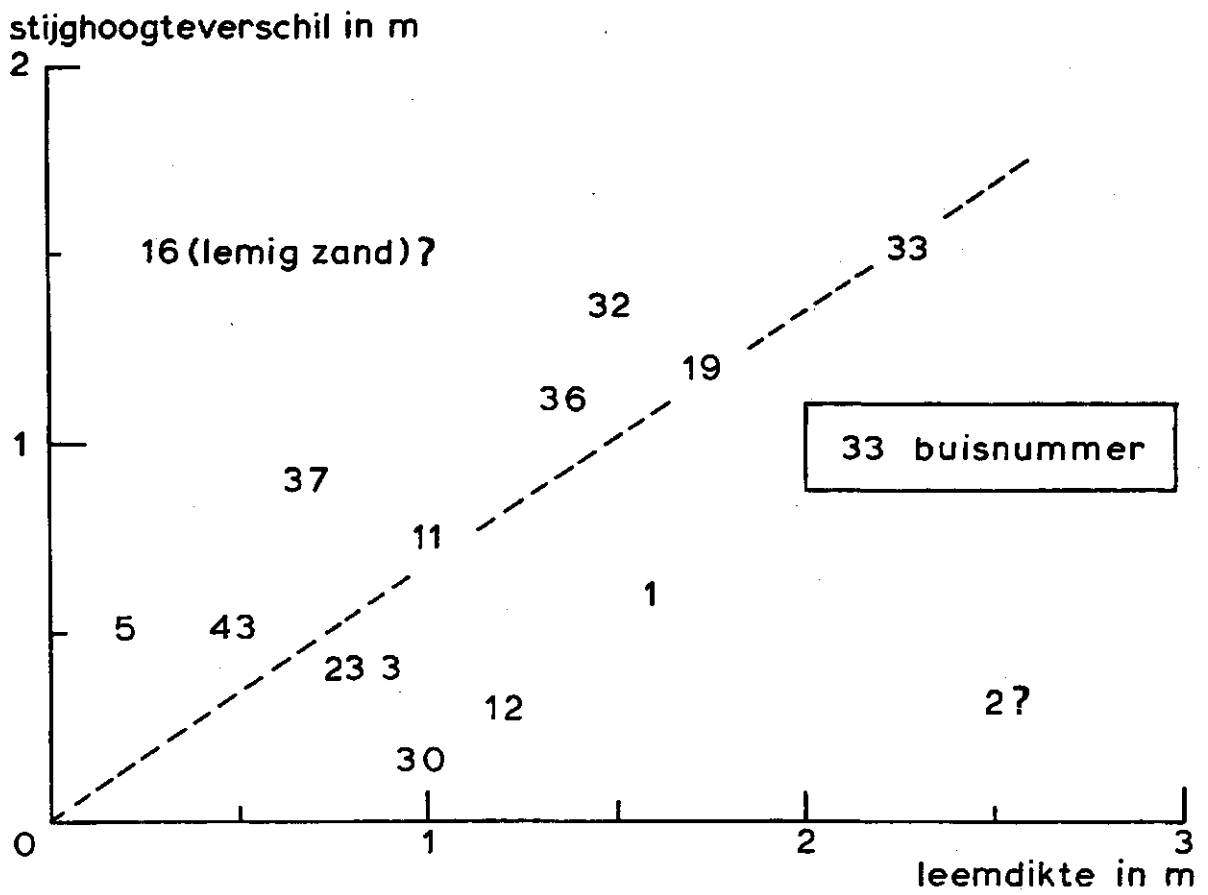


Fig. 16. Verband tussen het stijghoogteverschil Twenthe-Eindhoven en de leemdikte

FIG 17

FOCHTELOOERVEEN - KOLONIEVELD
STIJGHOOGTEVERSCHIL TUSSEN FORMATIES VAN
EINDHOVEN EN URK-HARDERWIJK

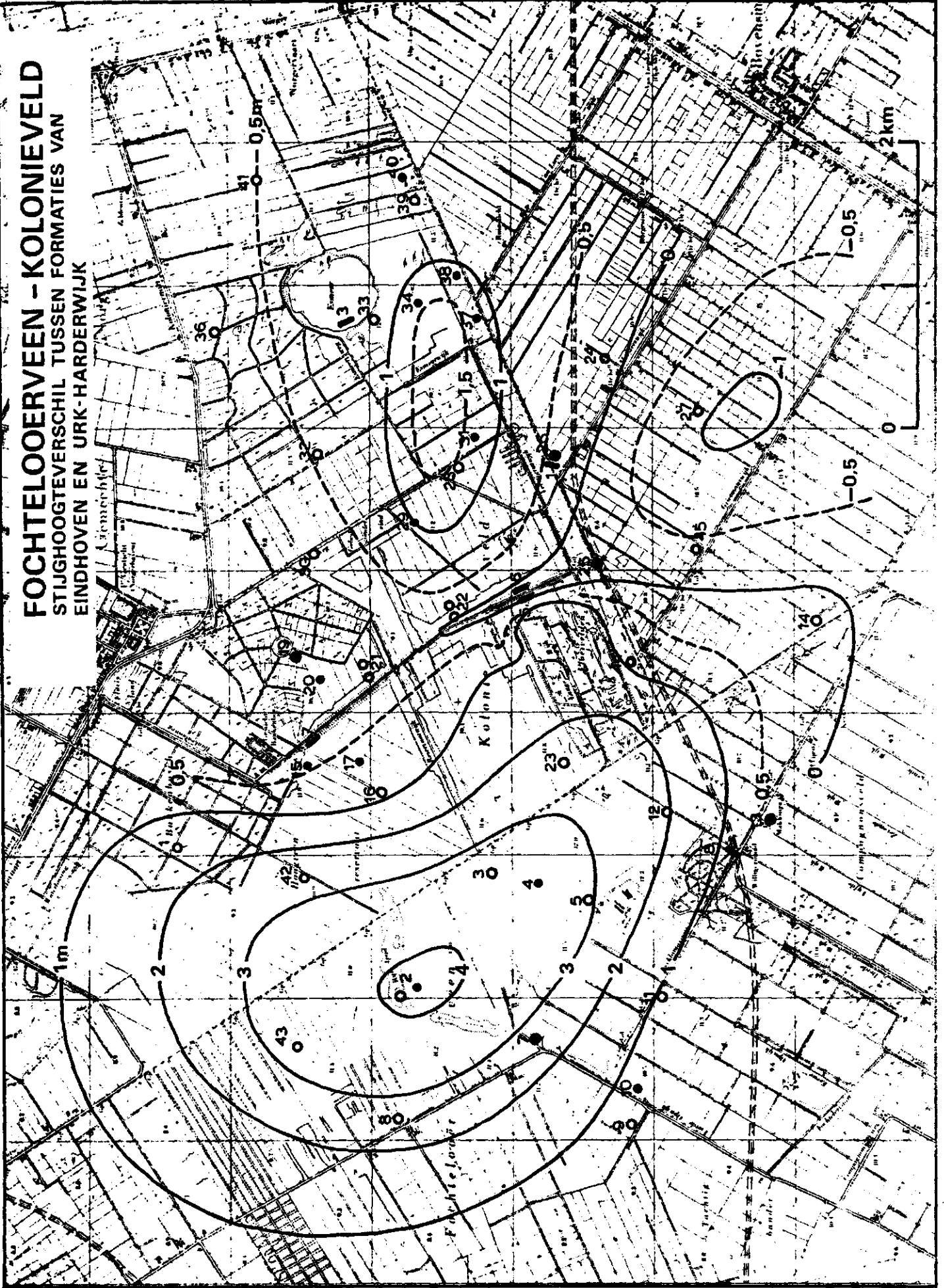
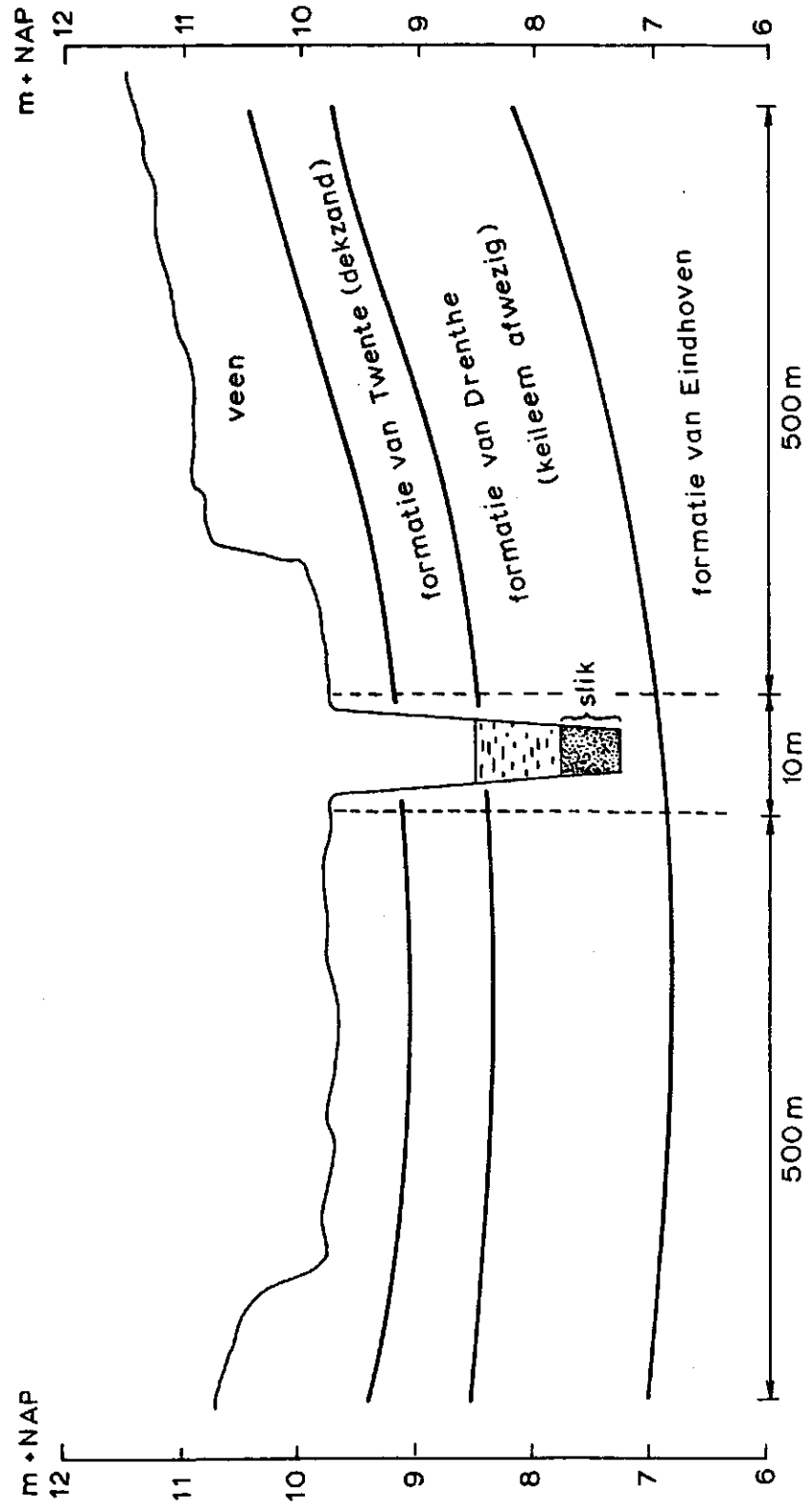


FIG 18

DWARSPROFIEL OP SCHAAPHOKSWJK TEN NOORDEN VAN POMPWIJK



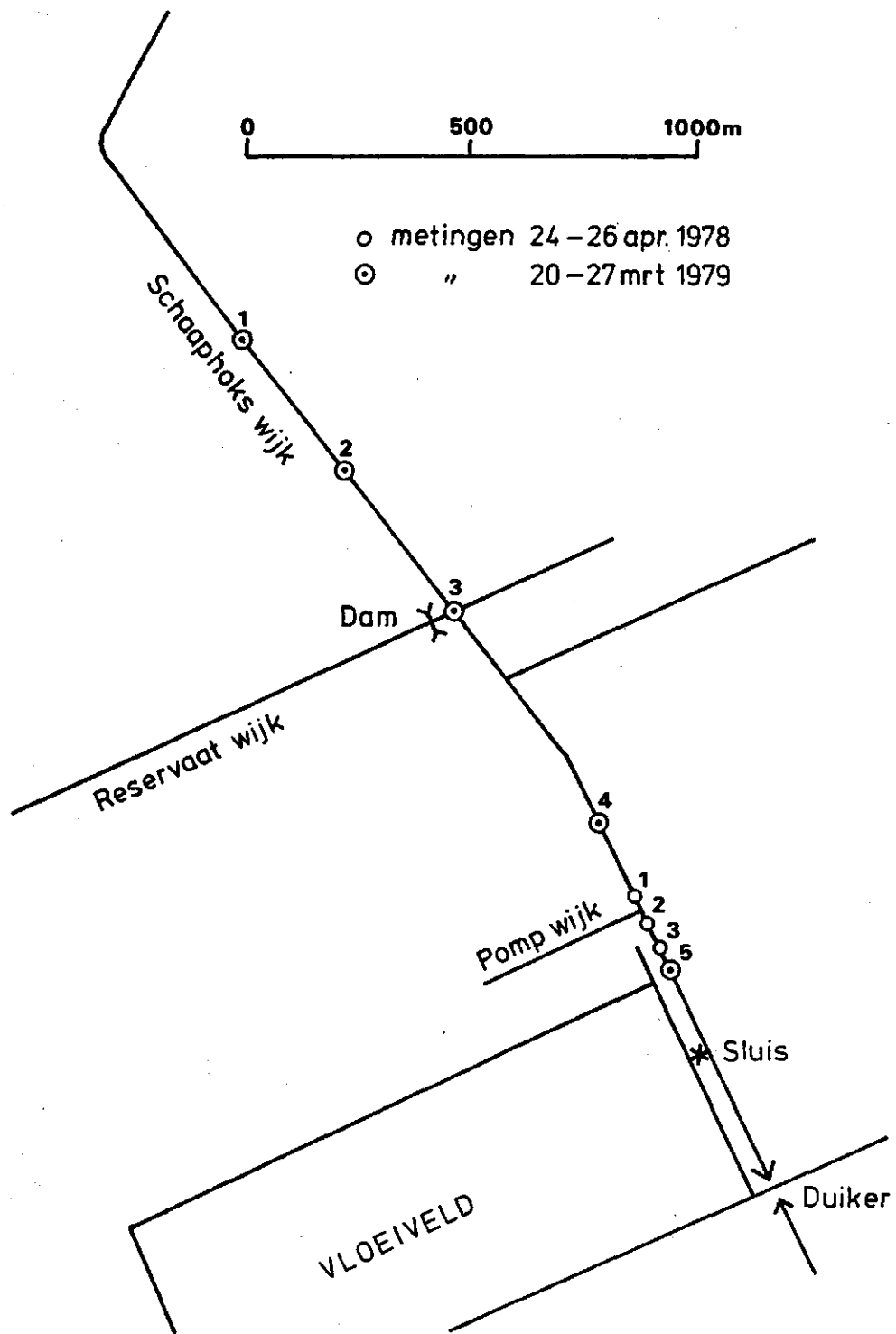


Fig. 19. Situatie van de meetpunten in de Schaaphokswijk

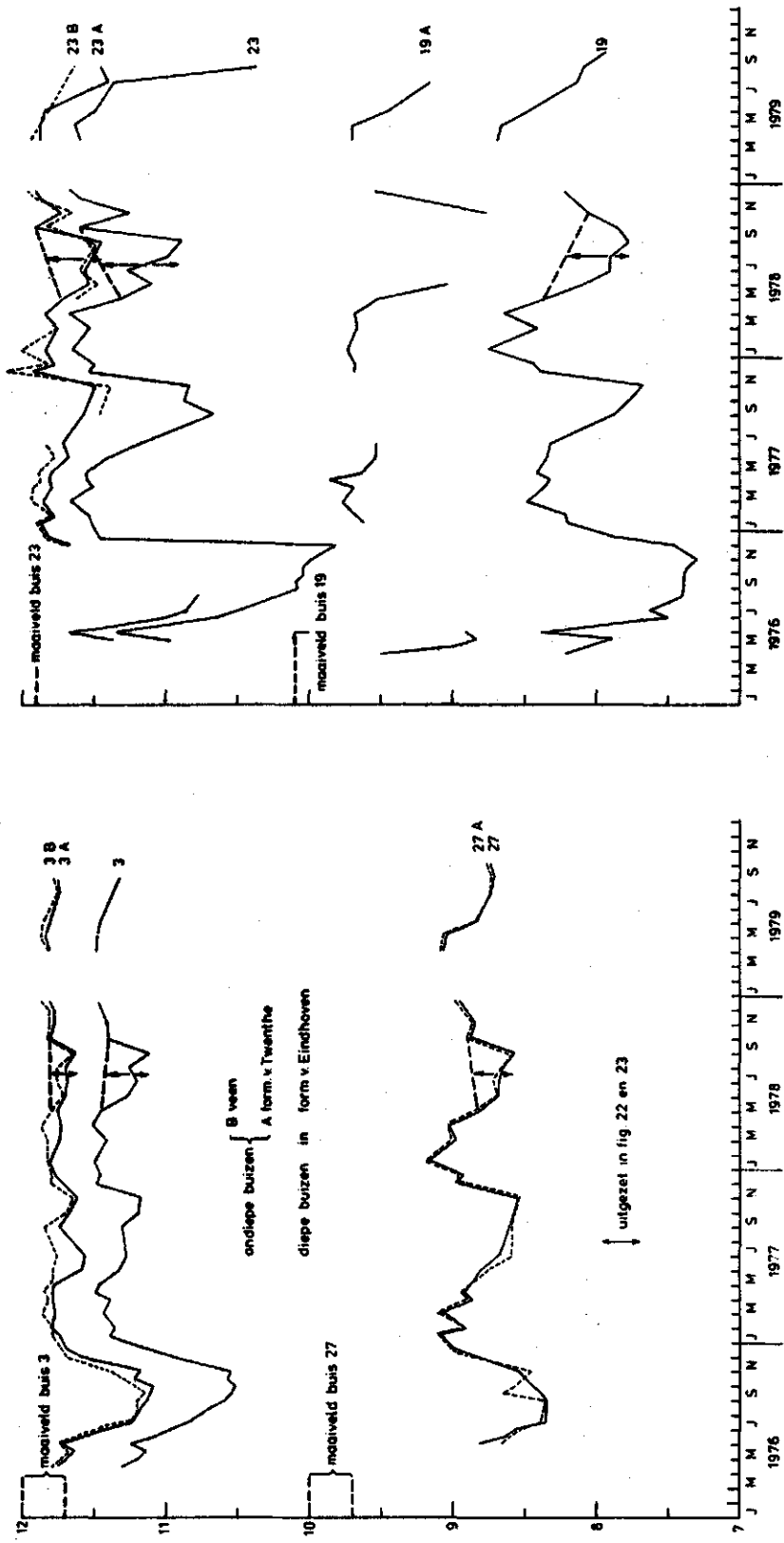


Fig. 20. Verloop van grondwaterstanden volgens waarnemingen in enkele buizen over de periode juni 1976-september 1979

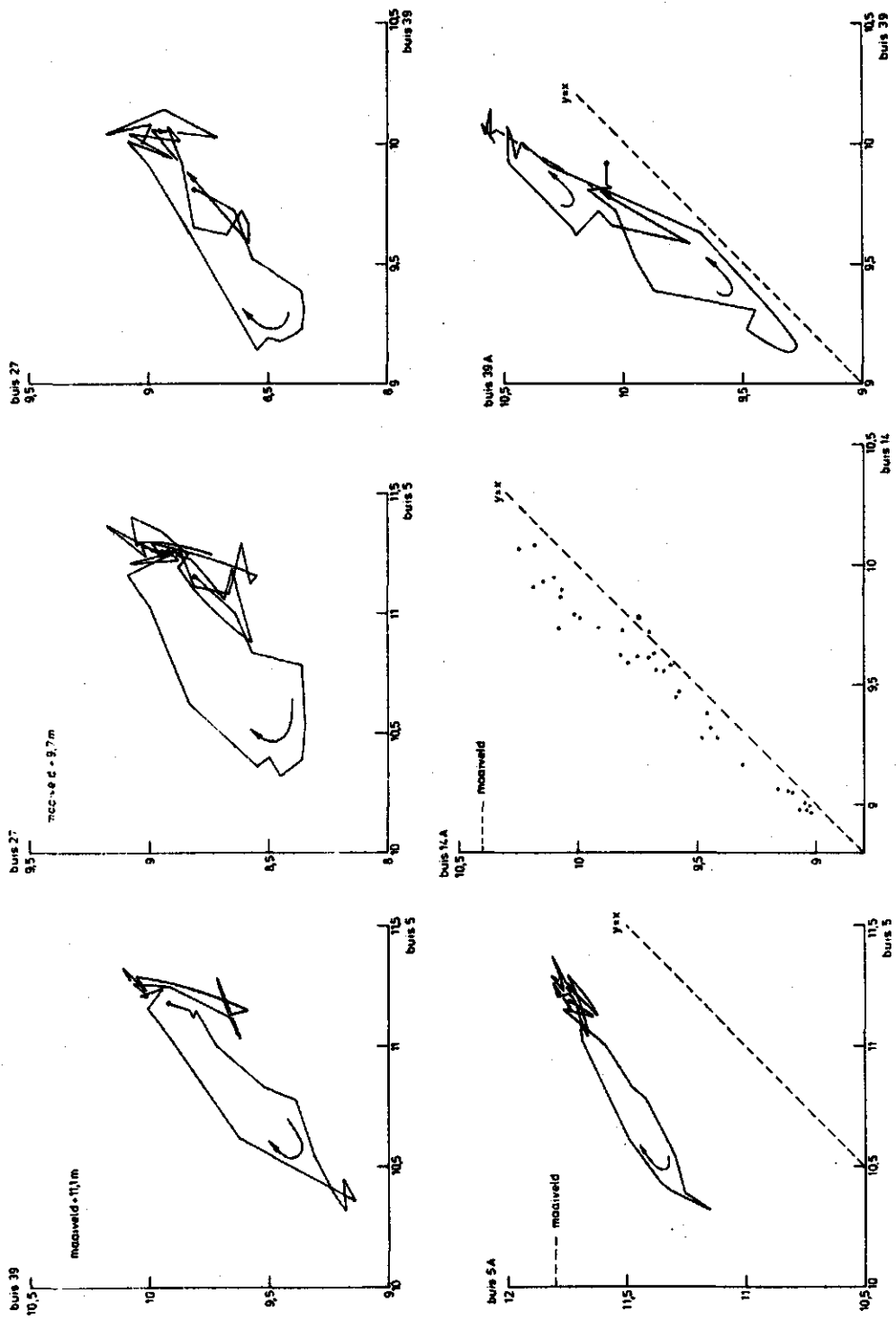
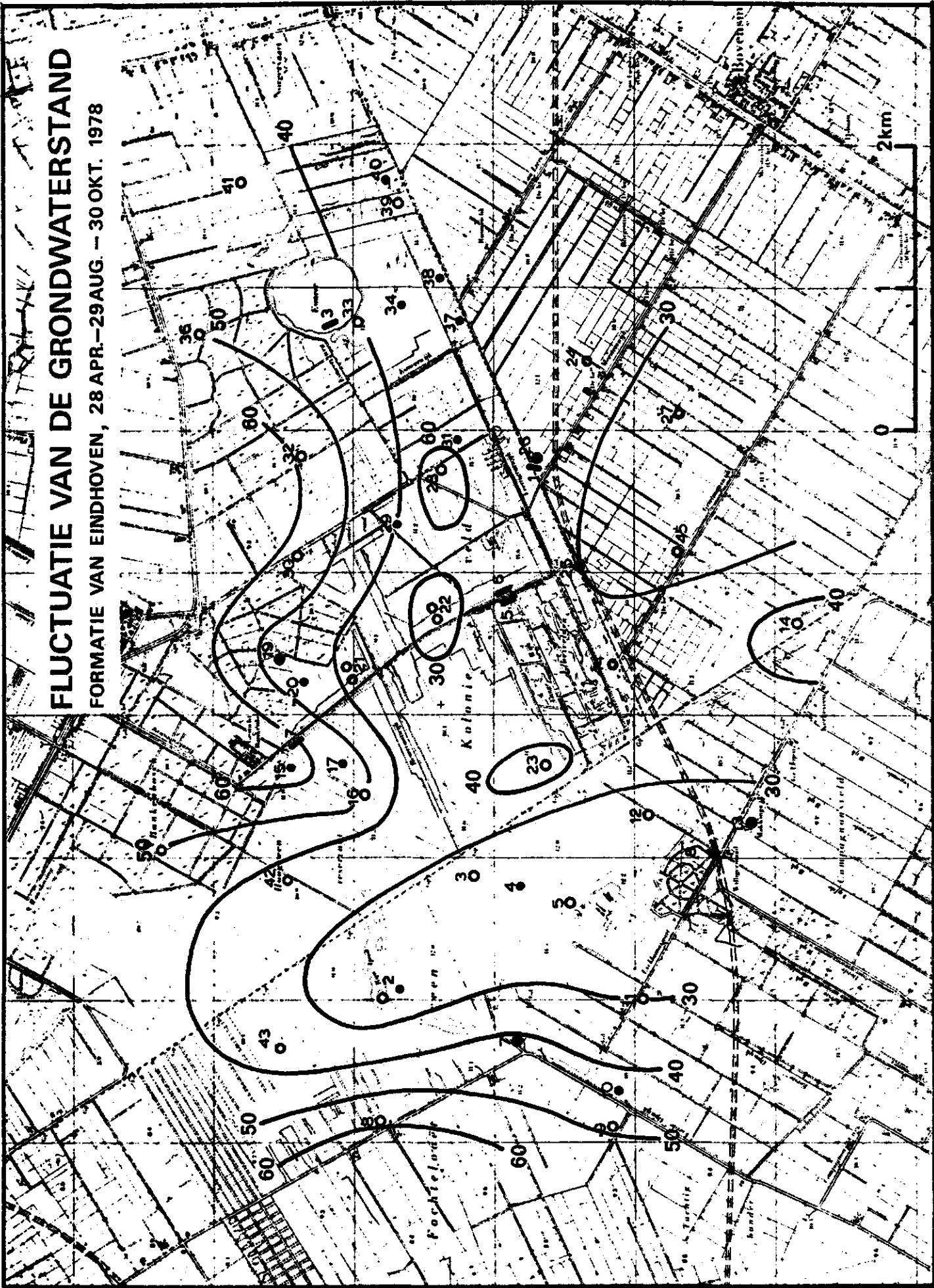


Fig. 21. Fluctuatiedigrammen voor enkele grondwaterstandsbuizen over de periode april 1976-april 1978

FIG 22

FLUCTUATIE VAN DE GRONDWATERSTAND

FORMATIE VAN EINDHOVEN, 28 APR.-29 AUG. - 30 OKT. 1978



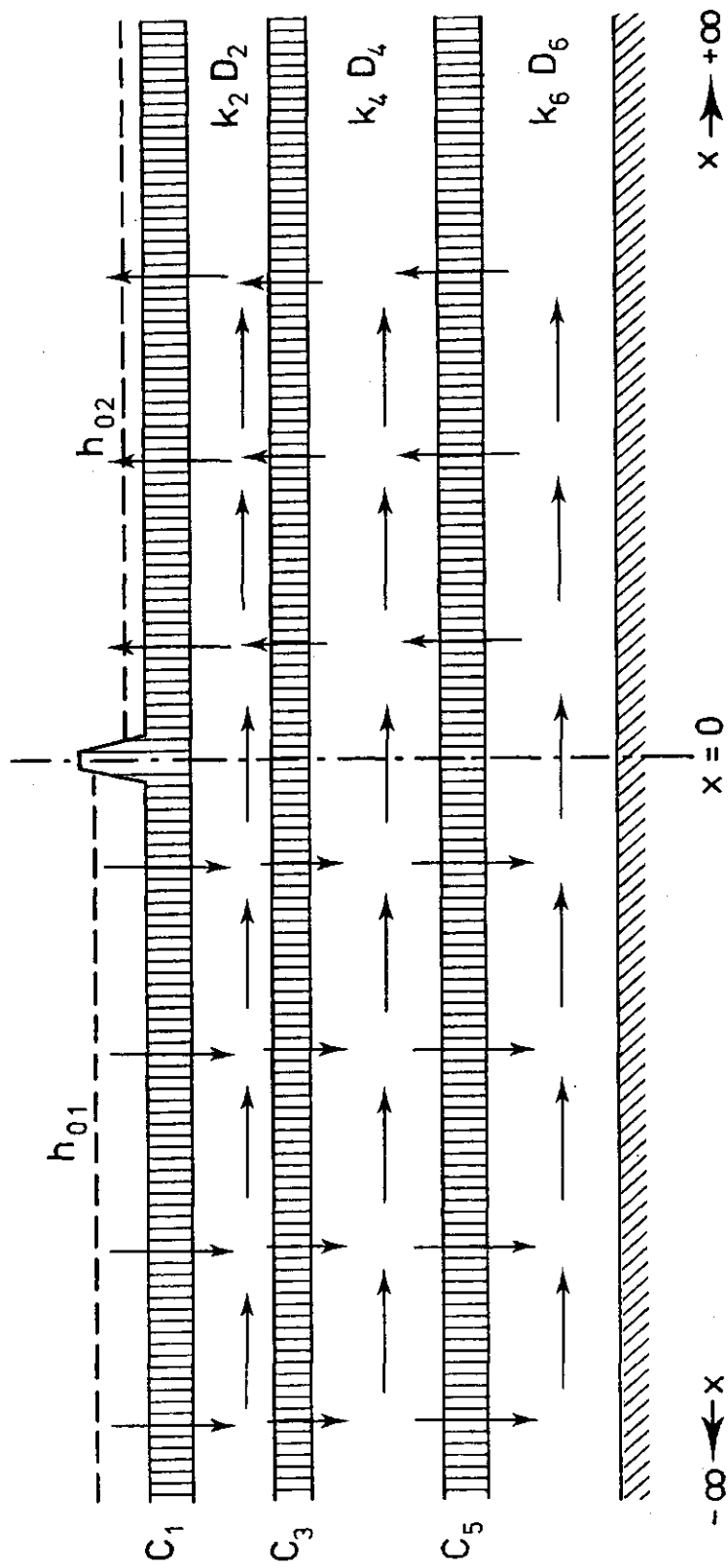


Fig. 24. Schematisch profiel voor de berekening van een scheef-symmetrische grondwaterstroming

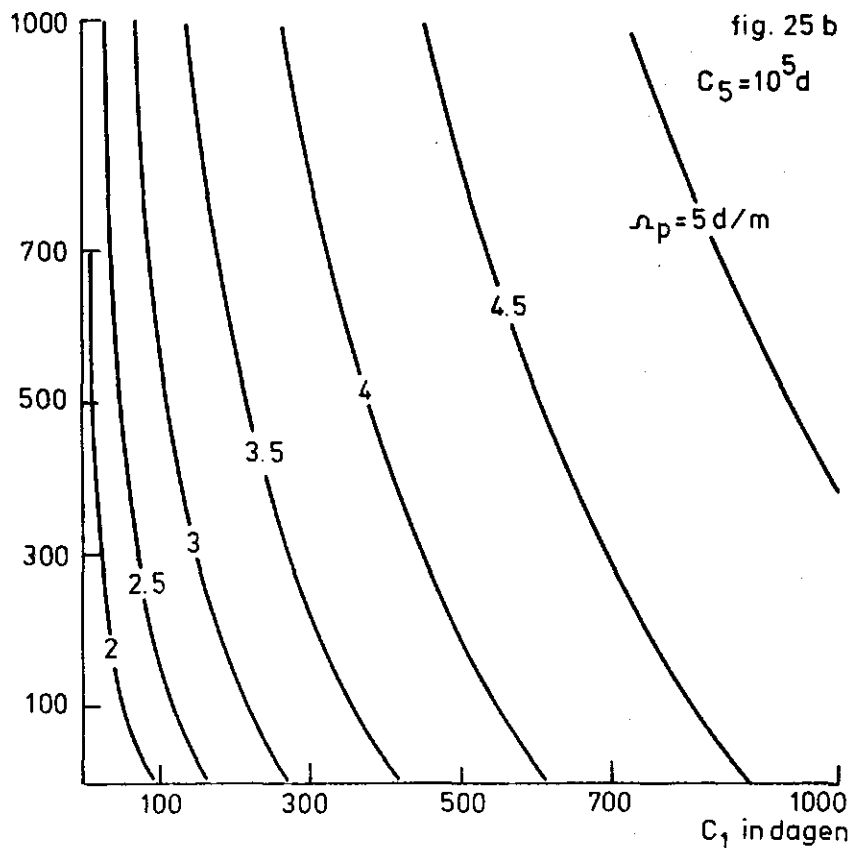
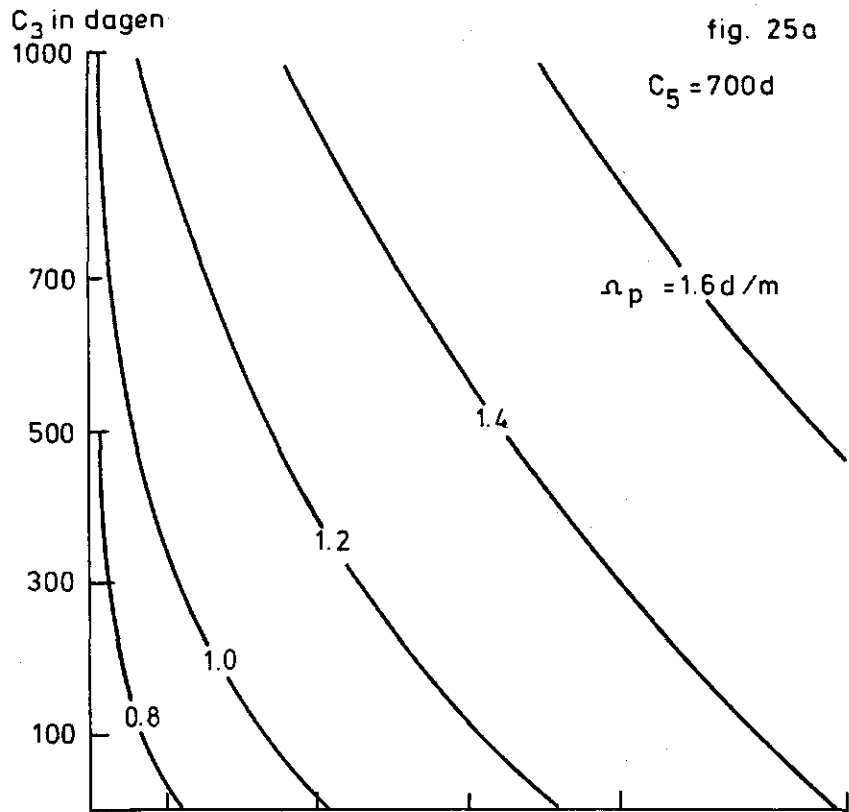


Fig. 25. De weerstand Ω_p (zie pag. 31) voor fig. 24 berekend met $k_2 D_2 = 6 \text{ m}^2/d$, $k_4 D_4 = 60 \text{ m}^2/d$ en $k_6 D_6 = 3000 \text{ m}^2/d$:
 a. bij afwezigheid van potklei : $c_5 = 700 \text{ d}$
 b. bij aanwezigheid van potklei : $c_5 = 10^5 \text{ d}$

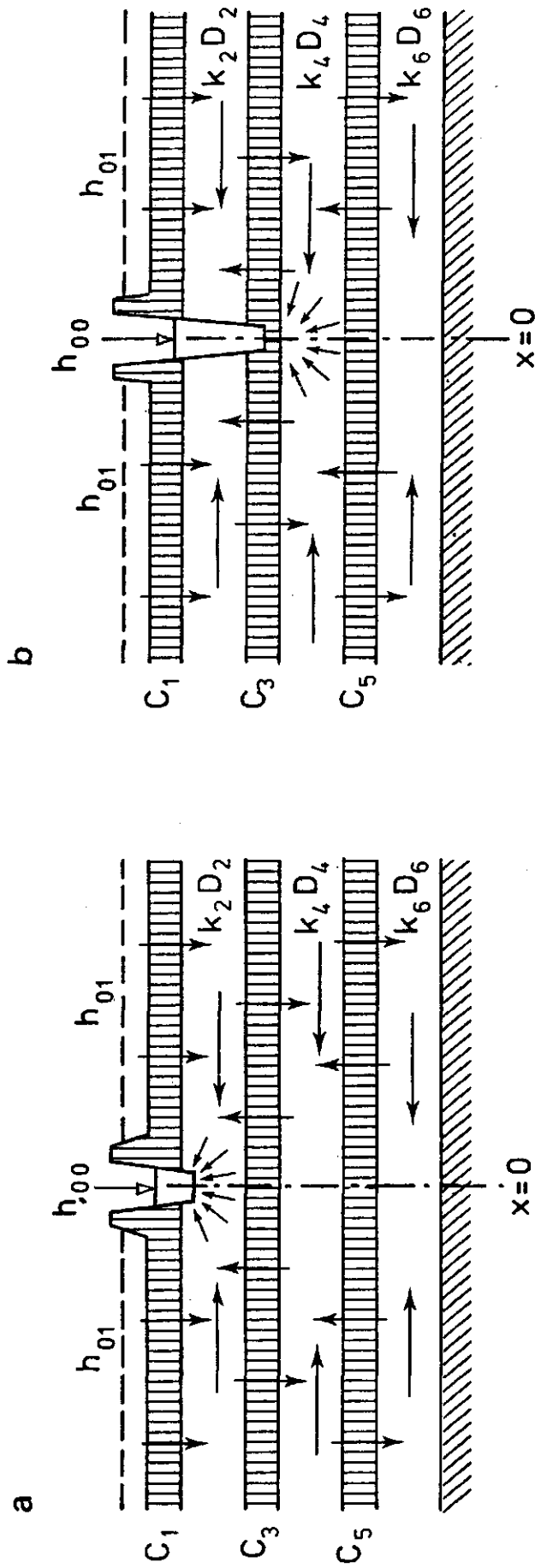


Fig. 26. Schematisch profiel voor de berekening van een symmetrische toestroming naar een kanaal met verlaagd peil:

- a. De bodem van het kanaal ligt in de eerste watervoerende laag
- b. De bodem van het kanaal ligt dicht boven de tweede watervoerende laag

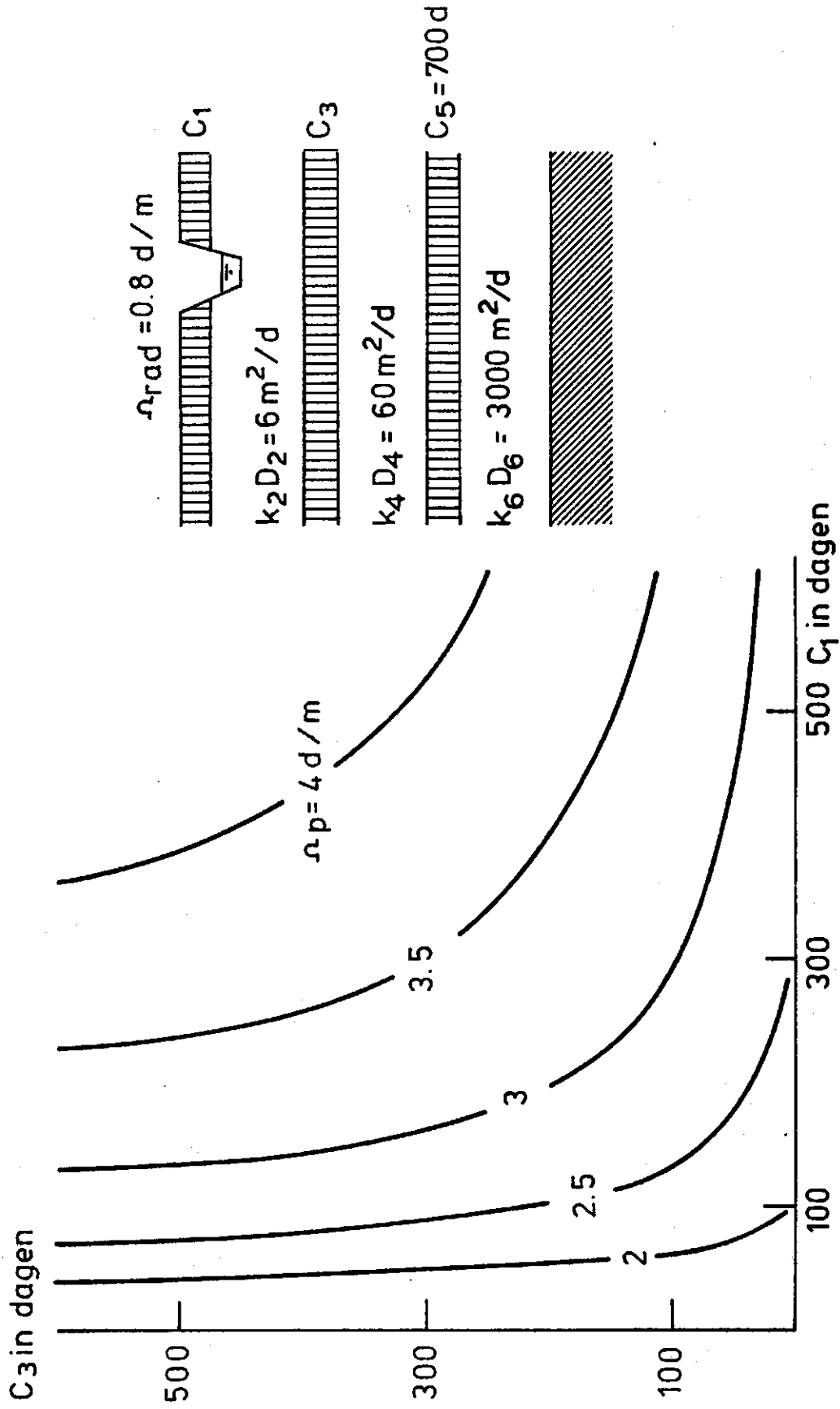


Fig. 27a. De weerstand Ω_p (zie pag. 33) berekend voor de symmetrische toestroming naar een kanaal met bodem in de eerste watervoerende laag

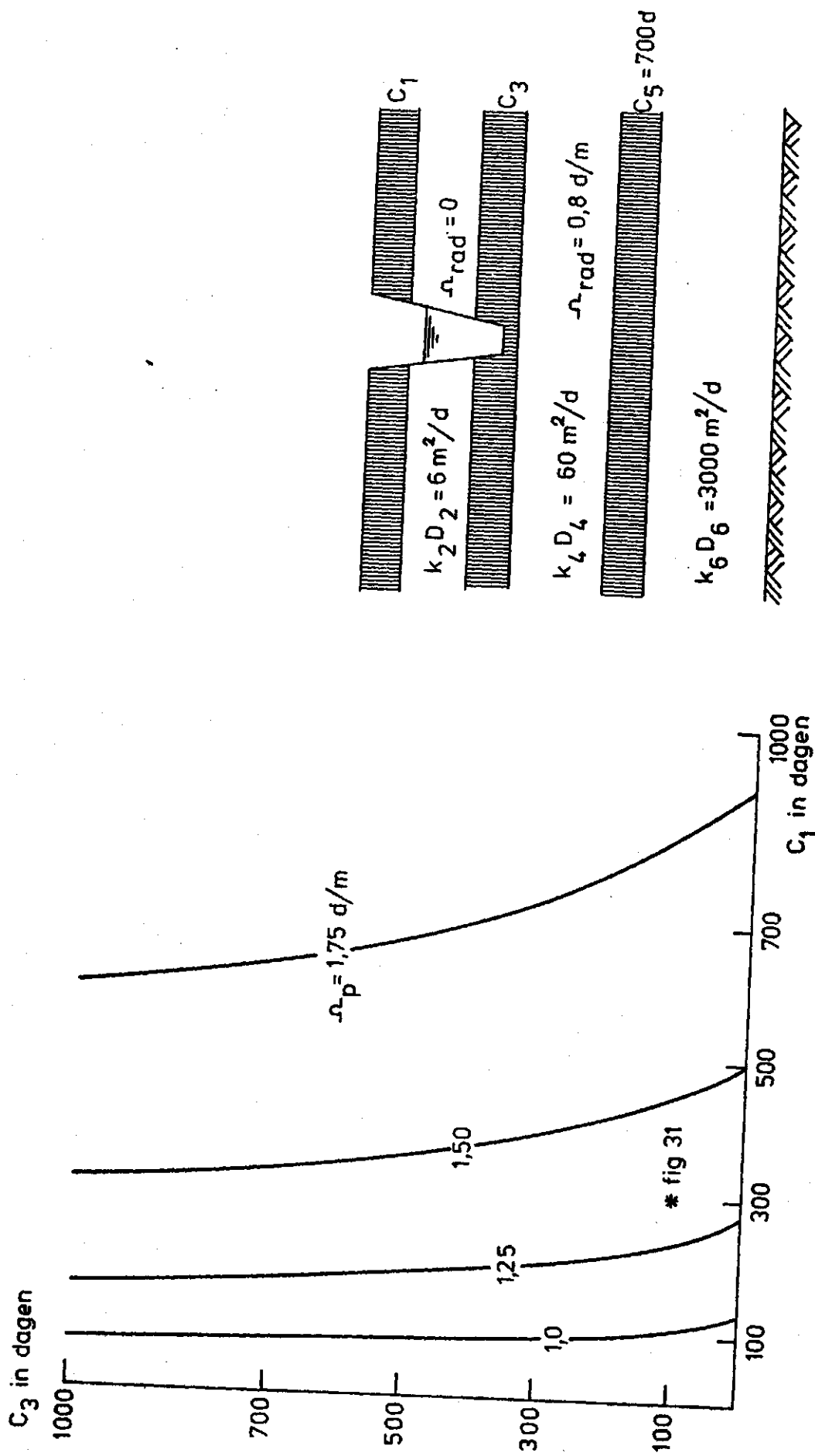


Fig. 27b. De weerstand Ω_p (zie pag. 33) berekend voor de symmetrische toestroming naar een kanaal met bodem dicht boven de tweede watervoerende laag

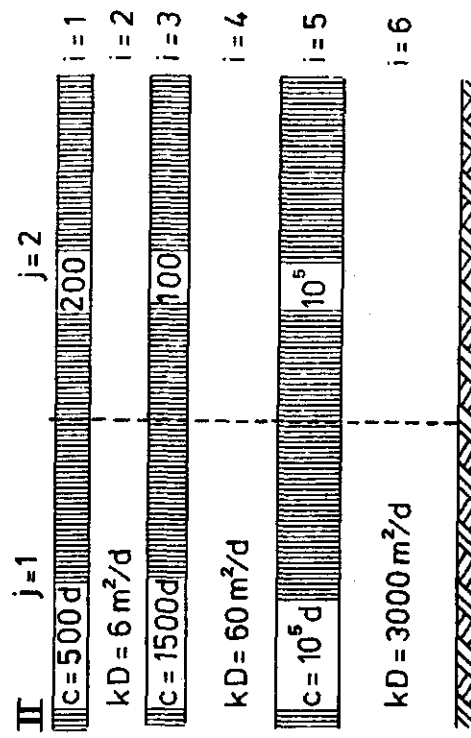
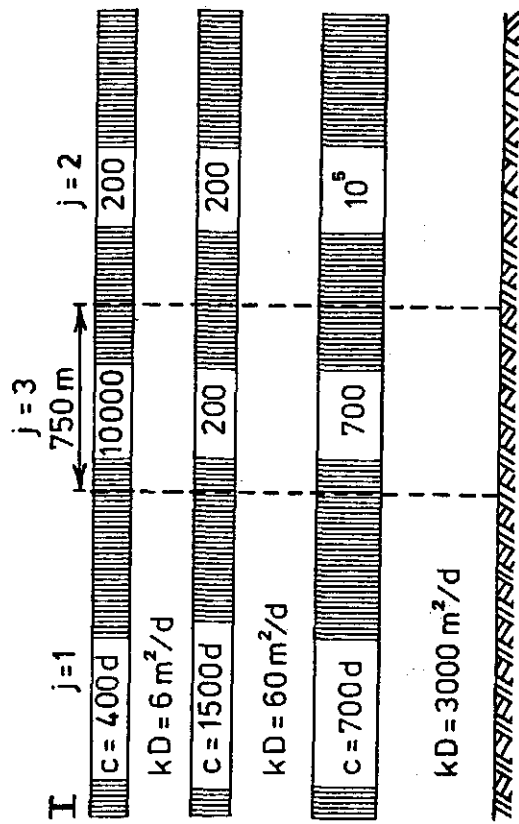
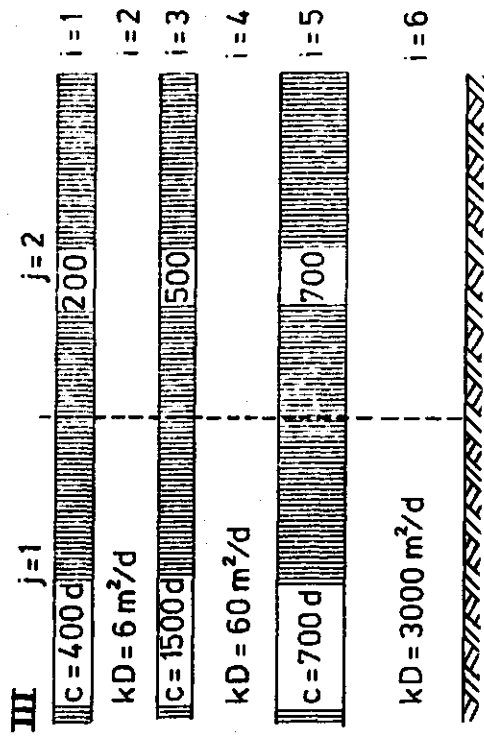
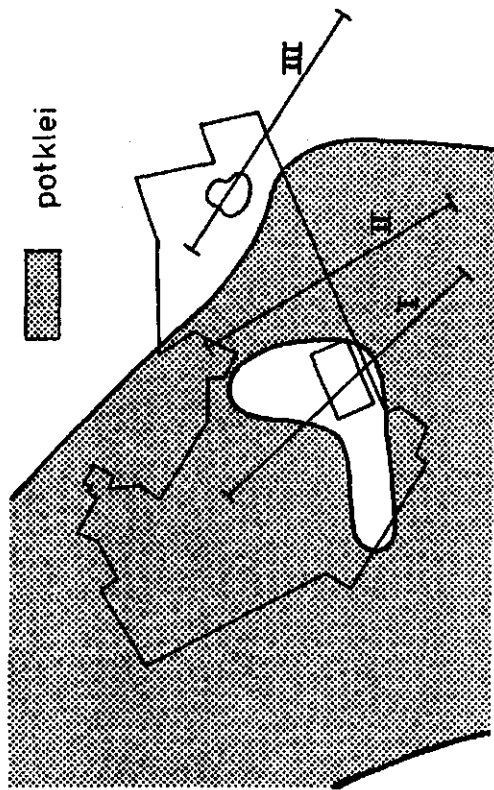


Fig. 28. De vereenvoudigde geohydrologische profielen I, II en III

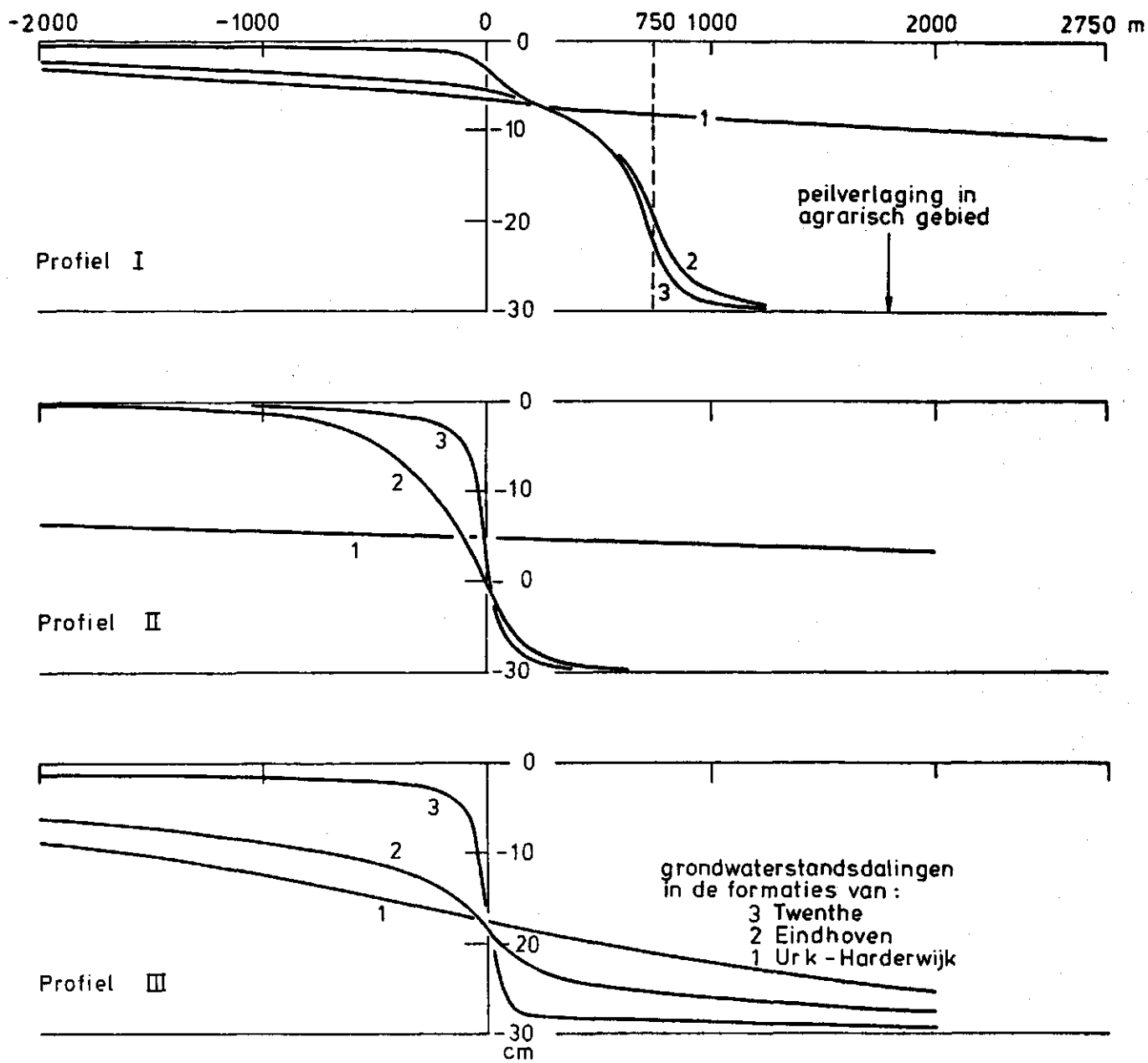
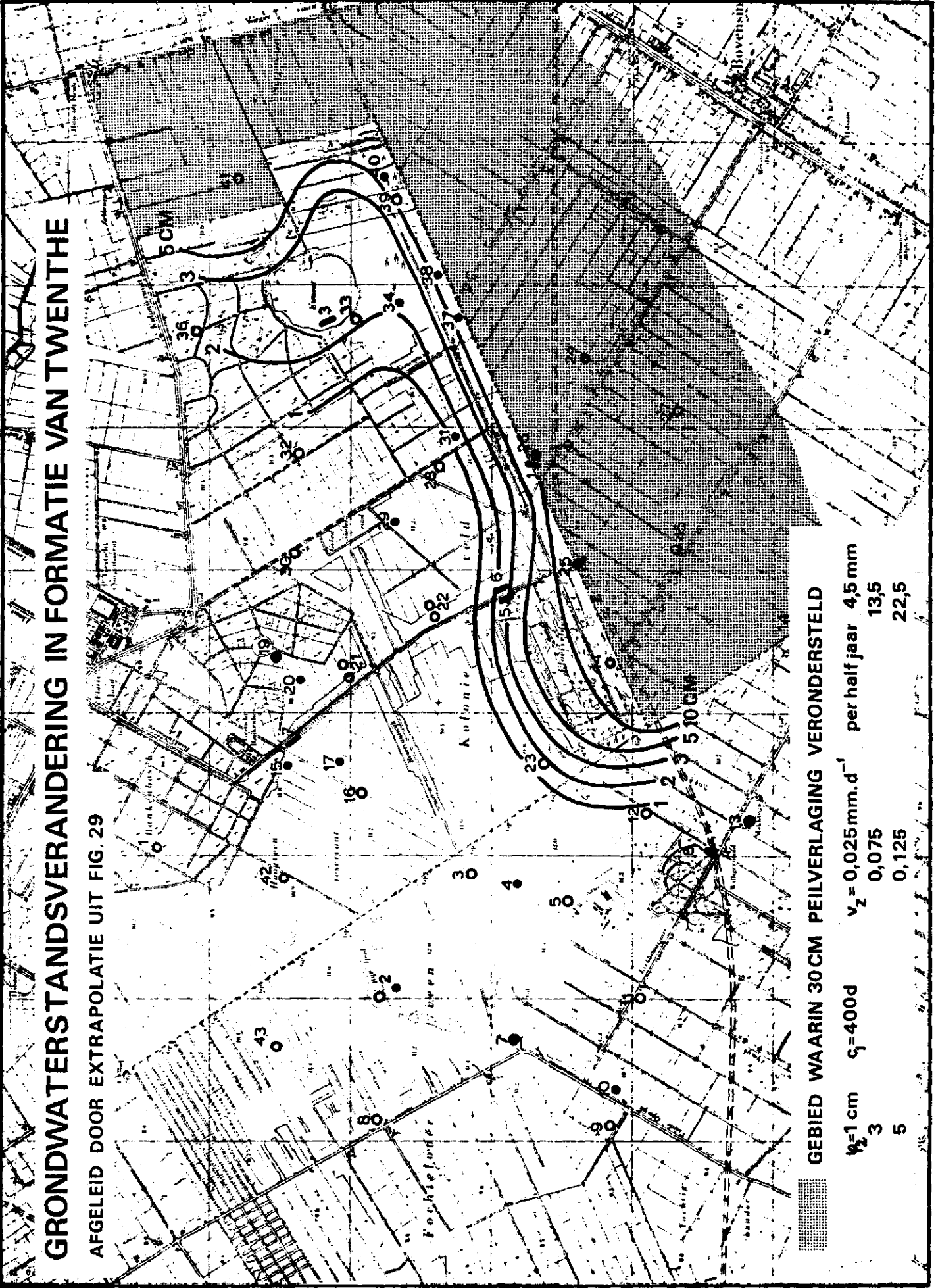


Fig. 29. De berekende verlaging van de stijghoogte voor elk van de drie watervoerende lagen bij 30 cm peilverlaging in het agrarische gebied

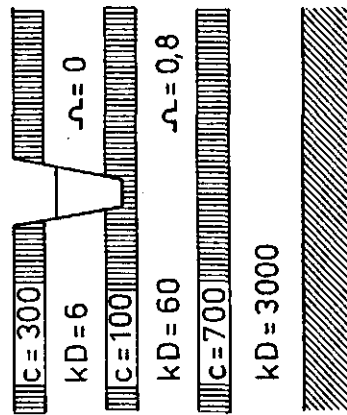
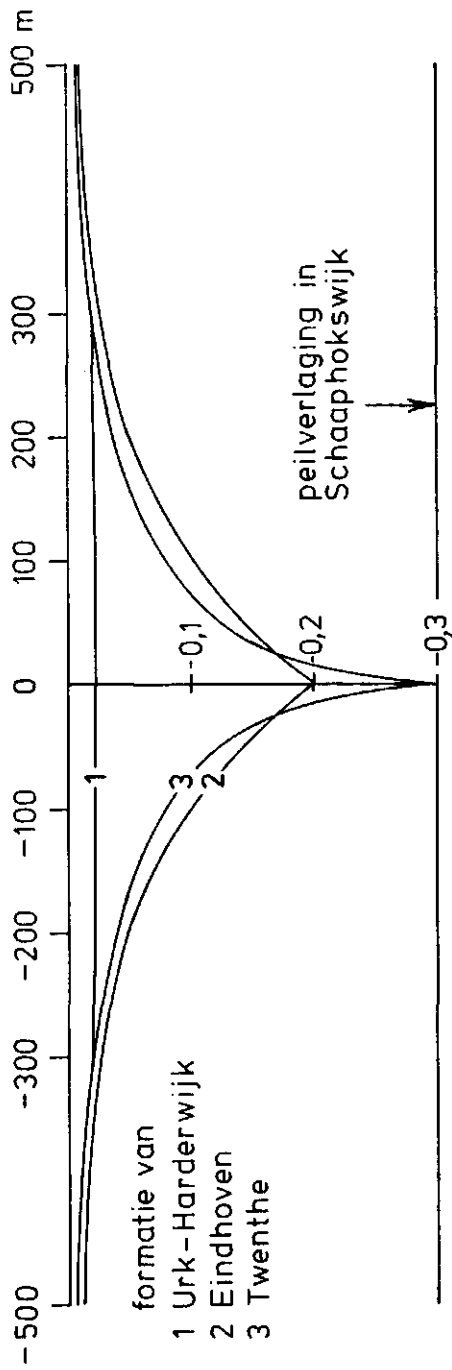
GRONDWATERSTANDVERANDERING IN FORMATIE VAN TWENTHE

AFGELEID DOOR EXTRAPOLATIE UIT FIG. 29



GEBIED WAARIN 30CM PEILVERLAGING VERONDERSTELD

$v_z = 1$ cm	$\rho = 400$ d	$v_z = 0,025$ mm. d^{-1}	per half jaar	4,5 mm
3		0,075		13,5
5		0,125		22,5



$$\left. \begin{aligned}
 q_2(0) &= \pm 0,0477 \\
 q_4(0) &= \pm 0,0639 \\
 q_6(0) &= 0
 \end{aligned} \right\} q_0 = 2 \sum |q_i(0)| = 0,223 \text{ m}^2/\text{d}$$

Fig. 31. Berekende grondwaterstandsveranderingen bij 30 cm peilverlaging in de Schaaphokswijk

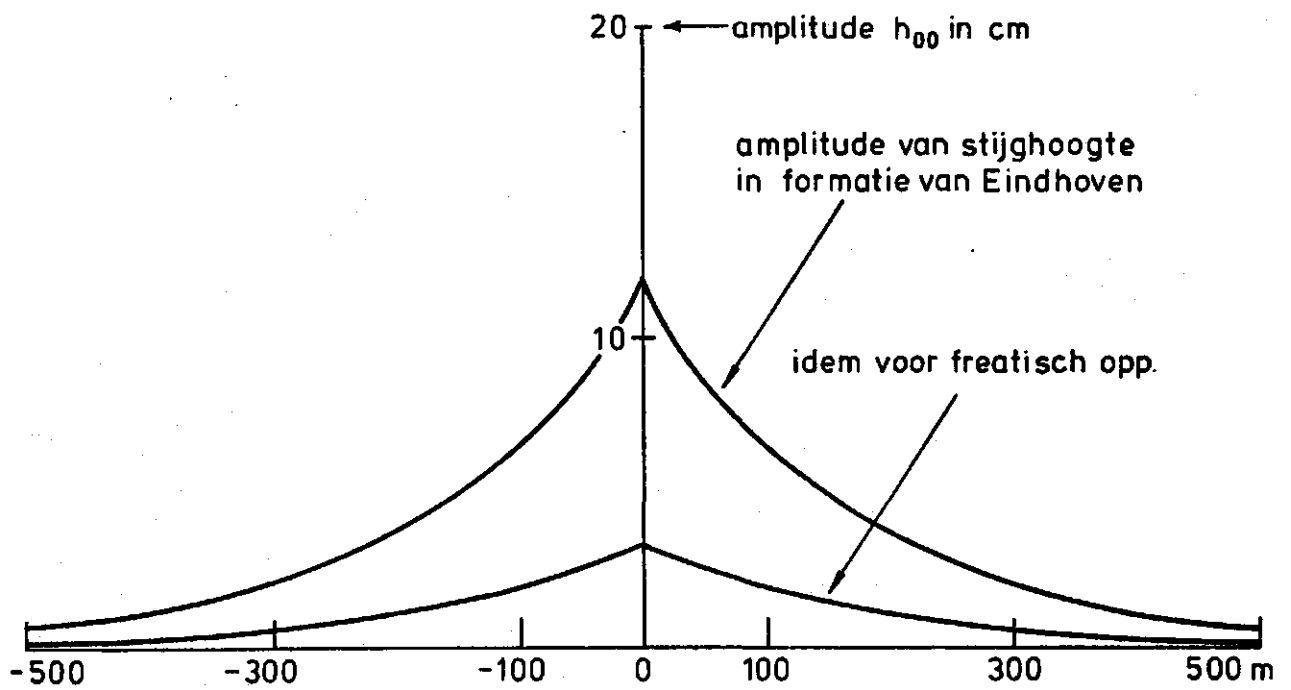


Fig. 32. De grootte van de amplitude van de grondwaterstandsfluctuaties veroorzaakt door een sinusvormig fluctuerend peil in de Schaaphokswijk (vereenvoudigd profiel)