

H 71-04

ENIG HYDROLOGISCH ONDERZOEK

BETREFFENDE HET GEBIED

SCHOONHETEN.

april 71

Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie
Nieuwe Kanaal 11
6703 PA Wageningen (NL)
Tel. 06370 - (5) 27 78

371.04

Lab 82

Wunold, 1971, 04

H 71-04

Bibliotheek Nieuwlanden
Nieuwe Kanaal 11
6709 PA Wageningen
08370 - 82781 ✓

ENIG HYDROLOGISCH ONDERZOEK
BETREFFENDE HET GEBIED
SCHOONHETEN.

Ingenieursscriptie voor Cultuurtechniek

(Landbouwhogeschool)

april 1971

G.J. Hunink.

13 AUG. 1991

91-133
Isn 268632



BIBLIOTHEEK
LANDBOUWUNIVERSITEIT
WAGENINGEN

Inhoudsopgave.

	pag.
1. Inleiding	2
2. Bespreking van het proefgebied Schoonheten	3
3. Verslag van verricht (veld-) onderzoek	7
3.1. bepalingen van de grondwaterstand	7
3.2. zoutconcentratie in het grondwater	8
3.3. doorlatendheidsbepaling met behulp van potentiaalbuizen	8
3.4. pompproef	11
3.5. beknopt verslag van neerslag-afvoeronderzoek	11
4. Stroomgebieden en vanggebieden	14
4.1. algemeen	14
4.2. begrenzing van stroomgebieden	16
4.3. waterbalans van stroomgebieden	17
4.4. begrenzing van vanggebieden	18
4.5. waterbalans van vanggebieden	21
5. Bepaling van de grootte van het vanggebied Schoonheten	23
6. Kwel of wegzijging in Schoonheten	25
7. Globale indruk van de waterbalans	31
8. Nabeschouwing	33
nageslagen literatuur	35
16 figuren	
5 tabellen	
2 kaarten	
2 bijlagen	

1. Inleiding.

Deze scriptie bestaat uit vier delen. In het eerste deel wordt de lezer bekend gemaakt met het gebied Schoonheten door middel van een korte beschrijving betreffende de geologie, de bodemkundige gesteldheid, het relief, de gebruikswijze van de grond en de hydrologie van het gebied.

In het volgende deel wordt op enigszins fragmentarische wijze verslag gedaan van verricht (veld-) onderzoek, zonder in alle gevallen direct conclusies te trekken. Al het verrichte onderzoek levert echter voldoende achtergrond en hulpmiddelen voor de volgende twee delen.

De introductie van een variabele gebiedsgrootte bij het neerslag-afvoeronderzoek (bij het bepalen van de afvoer karakteristiek) betreffende het stroomgebied leidt tot bezinning op de begrenzing van stroomgebieden. Hieruit volgt in het derde deel van deze scriptie het onderscheid tussen stroom- en vanggebieden en hun definiering.

Tenslotte wordt in het laatste deel ten aanzien van het vanggebied Schoonheten een poging gewaagd de begrenzing, de gebiedsgrootte, de kwel en de andere elementen van de waterbalans vast te stellen.

2. Bespreking van het proefgebied Schoonheten.

geologie.

Het stroomgebied Schoonheten ligt aan de rand van het stuwwallen-landschap van Twente, n.l. aan de voet van de westelijke helling van de Holter- en Haarlerberg, ten zuidoosten van Raalte (zie overzichtskaart).

De dalen van de rivieren, die in het midden-pleistocene grote hoeveelheden zand en grind afzetten, werden in de Riss-ijstijd (Saalien) met ijs opgevuld. Dit ijs ontwikkelde zich tot zulke massa's dat door hun gewicht de oevers van de rivierdalen zodanig opgedrukt werden dat er na het wegsmelten van de ijsmassa's in de daaropvolgende periode, die warmer was de stuwwal overbleef, met in het dal de restanten van de grondmorene (keileem). Als gevolg van het wegsmelten van de ijsmassa's werd door erosie de stuwwal gedeeltelijk afgevlakt en het dal opgevuld met fluvioglaciaal erosiemateriaal van midden-pleistocene oorsprong.

In het belangrijk warmere Eemien werd óf de eemklei plaatselijk afgezet óf werd de eemklei aaneensluitend afgezet doch later weer door rivieren plaatselijk weggevoerd. Men vindt de eemklei ten westen van Schoonheten op een diepte van ongeveer 13 m -N.A.P. De oostelijke begrenzing van de eemklei is niet in detail bekend en ook niet of de eemklei aansluit op de oorspronkelijke helling van de stuwwal.

In het koude en vochtige pleniglaciaal A kwamen soliflucties voor, bestaande uit mengsels van zand, leem en grind.

Vanaf het bovenpleniglaciaal vonden eolische afzettingen plaats in de koude en droge perioden. Deze afzettingen zijn mineralogisch zeer arm.

In het bovenpleniglaciaal werd het ouder dekzand afgezet, wat voornamelijk in het stroomgebied aan de oppervlakte komt; het wordt gekenmerkt door het vlakke landschap.

In het ouder Dryas werd het jonger dekzand I afgezet; dit vinden we vnl. ten zuiden van Heeten; het is zwak lemig.

Het jonger dekzand II, afgezet in het jonger Dryas, vinden we aan de voet van de stuwwal ten noordoosten van Nieuw Heeten; dit

dekzand is leemarm en waar dit aan de oppervlakte komt vertoont het landschap vrij veel relief. Het ouder dekzand zoals dat in het betreffende stroomgebied voorkomt is sterk tot zeer sterk lemig.

Tijdens het Holoceen vindt hier en daar veenvorming plaats; we vinden deze plaatsen terug in de naamgeving; Schoonheterbroek, boetelerbroek, zuidbroek enz.

bodemkunde.

Het gebied bestaat voor ongeveer 80% uit lage- en zeer lage podzolgronden met sterk lemig zeer fijn zand. Vervolgens bestaat het gebied voor een zeer klein deel uit hoge- en middelhoge podzolgrond en beekdalgrond. De zandondergrond is vnl. leemarm of zwak lemig, matig fijn.

relief.

Het stroomgebied is vrij vlak met een in west- noordwestelijke richting aflopende helling van $0,6 \text{ à } 0,7 \times 10^{-3}$.

gebruikswijze.

De gebruikswijze van de grond komt in het gebied als volgt voor:

grasland	: heterveld, achterveld en boetele
bos	: hertog van portland
woest	: boetelerveld en schoonheterheide.

hydrologie.

Het gebied Schoonheten maakte deel uit van het verbeteringsbehoefte gebied van het waterschap Salland. Het heeft een oppervlakte van ongeveer 800ha.

-oude toestand-

De hoofdwaterleiding in de oude toestand is op het overzichtskaartje als een stippellijn aangegeven. In deze toestand kwamen in de natte perioden regelmatig inundaties voor. Hiervoor kunnen de volgende oorzaken genoemd worden:

- geringe infiltratiecapaciteit en mogelijkheid tot berging (vooral bij hoge grondwaterstanden in natte perioden),
- slechte ontwatering: de afmetingen van de secundaire leidingen zijn gering, zodat ook de slootwaterberging gering is; de begreping is ondiep en slecht onderhouden,

c. geringe capaciteit van de hoofdwaterleiding: door de eveneens slechte en verbeteringsbehoeftige gebieden benedenstrooms kan zich bij topafvoeren geen groot verhang instellen en dit feit samen met de geringe afmetingen van de leiding resulteert in een stagnerende afvoer.

ad a. uit de analyse van 17 ringmonsters, gestoken op 50cm-m.v. , blijkt de geringe porositeit van de grond in Schoonheten van 0,34 met een maximaal spreidingsveld van 0,30 - 0,36.

Van overeenkomstige profielen in Rekken zijn de pF-krommen bekend; De profielen hebben de volgende kenmerken:

profiel	diepte -m.v.	50	porositeit
R 603	0 - 25cm	12%	0,45
	25 - 60cm	2%	0,30
	60 - 90cm	2½%	0,30
R 608	5 - 20cm	10½%	0,40
	20 - 40cm	10%	0,39
	40 - 67cm	3%	0,31

Is de grond na het einde van de droge periode (zomer) eenmaal op veldcapaciteit ($pF=2$) gebracht, dan blijkt de geringe bergingsmogelijkheid uit de pF-krommen, zie figuur 0.

Uit deze curven wordt als gemiddelde geschat 2 à 3 volume % mogelijkheid tot berging van neerslag.

De grondwaterstanden fluctueren in dit gebied nogal sterk, zoals blijkt uit de grondwatertrappenkaart van het gebied, met een GHG (gemiddelde hoogste grondwaterstand) van 20 à 20-40 cm-m.v. en een GLG (gemiddelde laagste grondwaterstand) van meer dan 120 cm-m.v.

-huidige toestand-

De uit de verbeteringsplannen voortvloeiende hoofdafwatering kwam medio 1968 gereed, zie overzichtskaartje.

De in het noordwesten van het gebied gebouwde klepstuw werd ingericht als afvoermeetpunt, evenals de vaste stuw in het in westelijke richting lopende deel van de hoofdwaterleiding. Eveneens waren in het gebied aanwezig 20 potentiaalbuizen (waarvan 3 zelfregistrerend), 2 pluviografen en 4 totalisatoren.

De verbeteringswerken hebben hoogstwaarschijnlijk alleen in de directe omgeving van de hoofdwaterleiding een verlaging van de GHG gebracht door het verkrijgen van een lager peil in de leiding, terwijl de toestand van de secundaire waterleidingen en de begreppeling niet veel verbeterd zijn op een enkele uitzondering na. De GLG is onveranderd dieper dan 120cm-m.v., maar het reguleren van deze waarde is uit het oogpunt van verdroging van minder belang. In de zeer droge zomer van 1969 konden bij grondwaterstanden van zelfs 225cm-m.v. nog geen verdrogingsverschijnselen worden geconstateerd.

Uitgezonderd uit het oogpunt van waterregulering t.a.v. de benedenstroomse gebieden is het dus niet noodzakelijk tot in een laat stadium van het groeiseizoen aan waterconservering te doen, terwijl met een lage grondwaterstand een gunstig effect wordt verkregen op het totale bergende vermogen van het stroomgebied, alvorens het natte jaargetijde aanvangt.

3. Verslag van verricht (veld)onderzoek.

3.1. Bepalingen van de grondwaterstand.

Zoals reeds in hoofdstuk 2 werd vermeld, waren er eind 1968 tot medio 1969 20 grondwaterstandsbuizen van de KNHM in het gebied aanwezig, waarvan 3 zelfregistrerend. In de herfst van 1969 werden deze buizen uitgebreid met nog twee zelfregistrerende in het Boetelerveld. Van dit buizenet zijn momentopnamen verzameld in tabel 1. Behalve de opnamedatum wordt hierbij aangegeven of de opname plaats vond tijdens een relatief maximum in de grondwaterstande (top) of tijdens een relatief minimum (dal) en tevens de helling tussen buis nummer 13 en 16.

In 1970 werd een grondwaterstandenproef opgezet in het zuidwestelijk grensgebied van het gebied van Schoonheten (hertog van portland), bestaande uit 3 raaien van 6 buizen elk. De raaien staan in een richting loodrecht op de algemene maaiveldshelling. De afstand tussen de raaien is ongeveer 600 meter; de afstand tussen de buizen onderling ongeveer 150 meter. Iedere buis is ongeveer 3 meter diep en heeft een binnendiameter van 16,0 mm terwijl de onderzijde van de buis is voorzien van een geperforeerd voetje (het is dus eigenlijk een potentiaalbuis zonder bentoniet voorzieningen). De kop van iedere buis werd gewaterpast ten opzichte van N.A.P., zodat alle 12 verrichte opnamen t.o.v. N.A.P. bekend zijn , zie tabel 3.

In de figuren 1, 2 en 3 zijn per raai de opnamen ingetekend in een dwarsprofiel. Voor de duidelijkheid zijn enkele opnamen weggelaten, die anders vrijwel zouden samenvallen met de reeds getekende.

Helaas zijn in deze proef de resp. slootwaterstanden niet gemeten; wel is ongeveer bekend op welke hoogte zich de bodem van deze sloten bevindt, zodat de grondwaterstanden geëxtrapoleerd kunnen worden naar een daarboven denkbeeldig slootwaterpeil.

De proef werd later uitgebreid met een paar potentiaalbuizen (2 en 4 m -m.v.) in het profiel van een beekeerdgrond en een paar in het profiel van een podzolgrond; opnamen hiervan zie tabel 2.

Voor de plaats van de genoemde buizen in het gebied zie figuur 4. Geprobeerd is om uit de opnamen van het oude net van buizen uit

tabel 1 en van de grondwaterstandenproef uit tabel 3 isohypsenkaartjes te maken. Bij het combineren van deze in verschillende jaren verrichte opnamen werden de volgende criteria gehanteerd:

- a. seizoen: overeenstemming in de opnamedata,
- b. overeenstemming in de hoogte van de grondwaterstand,
- c. overeenstemming in de helling van de grondwaterspiegel.

ad b. aansluiting t.a.v. de hoogte van de grondwaterstand vindt vnl. plaats via buis 1 van het oude net en het gemiddelde grondwater-niveau van raai C, waarbij de grondwaterstand van buis 1 vijf centimeter lager moet zijn, omdat de afstand tot raai C ongeveer 80 m bedraagt bij een gemiddelde helling van $0,7 \times 10^{-3}$.

Hieruit resulteerden de isohypsenkaartjes volgens de figuren 5 tot en met 11.

3.2. Zoutconcentraties in het grondwater.

Uit de grondwaterstandsbuizen van de raaien A, B en C en van de paren potentiaalbuizen P, PD en Be, BeD werden tot tweemaal toe grondwatermonsters genomen. De monsternamen geschiedde met behulp van een speciaal voor dit doel ontworpen eenvoudig handpompje, na een flinke hoeveelheid water uitgepompt te hebben. Ter vergelijking werden steeds ook enige monsters van sloten in de omgeving en een plas regenwater genomen. De monsters werden geanalyseerd m.b.v. de apparatuur van de afdeling Cultuurtechniek. Het resultaat van de analyse staat vermeld in tabel 4.

3.3. Doorlatendheidsbepaling met behulp van potentiaalbuizen.

De geringe buisdiameter (16mm) van de gebruikte potentiaalbuizen heeft tot voordeel dat bij peilschommelingen van het grondwater weinig water door het filter behoeft te worden verplaatst. Het peil van het filter heeft dus een korte insteltijd.

Omgekeerd zal onttrekking van een geringe hoeveelheid water aan het filter een grote peildaling in het filter tot gevolg hebben, echter zal de grondwaterstand in de omgeving van het filter hier nauwelijks door beïnvloed worden.

Van deze voordelen kan dus met vrucht gebruik worden gemaakt

door uit de stijging van het peil in het filter na onttrekking van water de tijdconstante te bepalen, waaruit met verrekening van de geometrie van het filter de doorlatendheid kan worden berekend.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van de hiervoor ontwikkelde theorie in de publikatie "Reponses caracteristiques des potentiometres et le calcul des constantes de temps" van Ouwerkerk en Pette 1967.

Zij φ_2 de ongestoorde potentiaal
 φ_1 de potentiaal van het filter
 Q het debiet
 R de hydrologische weerstand

$$\text{dan met Darcy: } \varphi_2(t) - \varphi_1(t) = R \cdot Q(t) \quad (1)$$

zij $Q \cdot \Delta t$ de binnengedrongen hoeveelheid water in het filter
 C de capaciteit van de buis (inwendige doorsnede)
 $\Delta \varphi_1$ de verandering van de potentiaal van het filter

$$\text{dan wegens continuïteit: } Q(t) \cdot \Delta t = C \cdot \Delta \varphi_1 \quad (2)$$

eliminieren van $Q(t)$ uit (1) en (2) geeft:

$$R \cdot C \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} + \varphi_1(t) = \varphi_2(t) \quad (3)$$

$$R \cdot C = \tau \quad (\text{tijdconstante van gehele systeem}) \quad (4)$$

zij k de doorlaatfactor

$$\text{dan } R = 1/k \cdot \varepsilon_R \quad (5)$$

waarin ε_R de geometrische weerstand

$$\text{uit (4) en (5) volgt } \tau = 1/k \cdot \varepsilon_R \cdot C \quad (6)$$

$$\text{uit (4) en (3) volgt } \frac{d\varphi_1}{dt} \tau + \varphi_1(t) = \varphi_2(t) \quad (7)$$

dit is een lineaire differentiaalvergelijking van de eerste orde
 de algemene oplossing hiervan is:

$$\varphi_1(t) = \varphi_2(t_0) \cdot e^{-(t-t_0)/\tau} + 1/\tau \cdot \int_{t_0}^t \varphi_2(\theta) \cdot e^{-(t-\theta)/\tau} \cdot d\theta$$

Voor ε_R leiden Ouwerkerk en Pette af:

$$\varepsilon_R = \frac{1}{4} \pi r \frac{1}{2 \pi \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \sqrt{2 r_e L}} \quad (r \text{ is de equivalente straal})$$

onder de voorwaarden:

- de zone om het filter is onbeperkt omgeven door een groot veld van toestroming (sferische symmetrie),
- $t - t_0 > 2,5 \tau$ (geldigheidsvoorwaarde),
- $0 < L/r_e < 10$ (nauwkeurigheidsvoorwaarde).

terwijl
$$\beta = \frac{\sqrt{\alpha_b} + \frac{2L}{r_e} \sqrt{\alpha_c}}{1 + \frac{2L}{r_e}}$$

en
$$\gamma = \sqrt{1 + \frac{r_e}{2L}} - \frac{1}{4} \sqrt{\frac{r_e}{2L}}$$

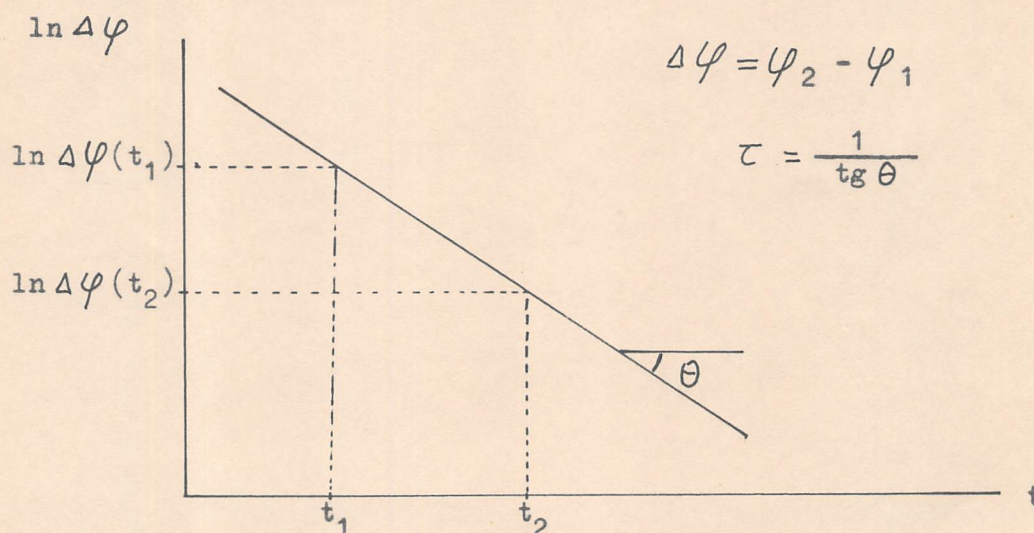
waarin L lengte van de perforatie van het filter

r_e buitendiameter van het filter

α_b geperforeerde gedeelte van het filteropp. aan de basis

α_c " " " " " " op cylinderopp.

wordt grafisch verkregen uit de natuurlijke logaritmie van het potentiaalverschil tussen grondwater en filter en de tijd, als volgt:



Voor de potentiaalbuizen in de raaien A, B en C werd berekend:

$$k = \frac{3,2 \cdot 10^{-3}}{\tau} \quad \text{in m/etm} \quad (\tau \text{ in etm})$$

Voor de potentiaalbuizen P, PD, Be en BeD werd i.v.m. afwijkend geperforeerd voetje berekend:

$$k = \frac{2,6 \cdot 10^{-3}}{\tau} \quad \text{in m/etm} \quad (\tau \text{ in etm})$$

De gegevens per potentiaalbuis en de uitkomsten van de berekeningen zie tabel 5.

3.4. Pompproef.

In samenwerking met het instituut voor aardwetenschappen van de Vrije Universiteit werd in maart 1969 in het midden van het gebied Schoonheten een pompproef uitgevoerd. De boring van het diepe filter reikte tot 17m-m.v. ; het filter was 5m lang.

Uit de analyse van de boormonsters (zie bijlage 1) blijkt dat van maaiveld tot ongeveer 3m diepte een pakket fijn, slibrijk zand voorkomt. Hieronder volgt een pakket bestaande uit matig fijn tot middelgrof zand, waarin plaatselijk zowel grindrijke als slibhoudende lagen voorkomen. Op grond van andere diepe boringen in de omgeving die reeds eerder zijn uitgevoerd, mag worden aangenomen dat dit grove pakket op een diepte van ongeveer 30m begrensd wordt door slecht doorlatende glaciale kleien (zie ook hoofdstuk 2).

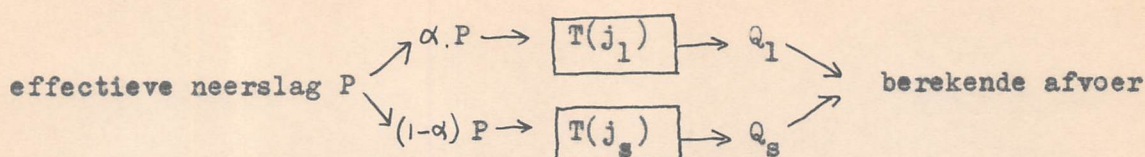
In de periode dat de pompproef werd uitgevoerd was de stijghoogte van het ondiepe grondwater (filterdiepte 2m - m.v.) ca. 15cm hoger dan de stijghoogte van het diepe grondwater (filterdiepte 12m - m.v.). Er vond dus infiltratie plaats.

Door het instituut werd een doorlatendheid berekend van 30 à 50m/etm bij een spreidingslengte van 45m (zie bijlage 1). De spreidingslengte is gelijk aan $\sqrt{Kd \cdot c}$, zodat $c = 2,25$ etm, dus is er geen verticale afsluiting van betekenis.

3.5. Beknopt verslag van neerslag-afvoeronderzoek.

Ten behoeve van een ingenieursscriptie voor Hydraulica en afvoerhydrologie werd enerzijds de klepstuw (afvoermeetpunt) van het gebied Schoonheten geijkt aan een model in het laboratorium, anderzijds de neerslag-afvoerrelatie van het stroomgebied onderzocht. Dit geschiedde met behulp van het model van Kraijenhoff van de Leur, bestaande uit twee parallel geschakelde transformatiesystemen (een snelle en een langzame) en een verdeler.

De parameters van het model, waarmee de werkelijkheid kon worden gekarakteriseerd, zijn de verdeler α , en de tijdconstanten (reservoircoëfficiënten) j_s en j_l .



De effectieve neerslag wordt verkregen door de gemeten neerslag te reduceren voor de verdamping (per periode met cijfers van Elink Sterk). Uit de analyse van de gemeten afvoer bleek geen indicatie voor kwel of inzijging aanwezig.

Uit de analyse van de gemeten afvoer kunnen ook de waarden van de parameters worden bepaald, zodat samen met de effectieve neerslag in mm/interval de afvoer kan worden berekend, ook in mm/int.

De gemeten afvoer (in m^3/sec) moet met de oppervlakte van het stroomgebied worden omgerekend in mm/int. om te kunnen vergelijken met de berekende afvoer.

Stellen we de oppervlakte als onbekende, dan wordt deze dus bekend als we ons tot doel stellen de berekende afvoer en de gemeten afvoer zo goed mogelijk met elkaar overeen te laten stemmen. Deze aldus vastgestelde oppervlakte is dus dat deel van het gebied dat aan het afvoerproces deelneemt. Het gebied wordt door deze werkwijze dus voorgesteld als bestaat het uit een afvoerend deel en een bergend deel.

Bij het stijgen van de grondwaterspiegel wordt het grondwater over een steeds groter wordend gebied door ontwateringsmiddelen aangesneden. Door deze vergroting is natuurlijk een geringe verandering van het afvoersysteem niet uitgesloten, immers de gemiddelde afstand tussen de ontwateringsmiddelen en de mogelijkheid van berging tussen de ontwateringsmiddelen kunnen zich wijzigen.

Het genoemde onderzoek was er dan ook op gericht om een wijziging van de oppervlakte van het afvoerend deel aan te tonen door de eis te stellen dat berekende en gemeten afvoer zo goed mogelijk moesten samenvallen, terwijl werd toegestaan dat de waarden van de parameters kleine variaties mochten vertonen.

Genoemde methode toegepast op de periode 25 sept. - 15 nov. 1968 gaf als resultaat, dat de gemeten afvoer kon worden gereconstrueerd met behulp van het model met de waarden van de parameters:

$$\alpha = 0,8 \text{ à } 0,9$$

$$j_s = 3 \text{ (4uur)}$$

$$j_1 = 25-50 \text{ (4uur)}$$

waarbij de oppervlakte van het stroomgebied toenam van 515 tot 700ha. Zie deze gegevens in figuur 12.

Het is waarschijnlijk wel mogelijk in het veld die delen van het stroomgebied aan te wijzen die gedurende een lange neerslagperiode zeer langdurig hun bergingsfunctie behouden n.l. het natuurreservaat Boetelerveld waar doelbewust de afvoer gestagneerd wordt en het zuid-oostelijk deel van het gebied, dat door zijn hoge ligging, diepe grondwaterstanden en de afwezigheid van ontwateringsmiddelen een grote bergingscapaciteit zal hebben.

4. Stroomgebieden en vanggebieden.

4.1. algemeen.

Naar aanleiding van het neerslag-afvoeronderzoek komt de vraag naar voren wat er onder een stroomgebied moet worden verstaan. Immers de verbreiding van het bij het neerslag-afvoeronderzoek betrokken systeem bleek te variëren en we zullen dus het systeem nader moeten beschouwen om te begrijpen waaruit zijn begrenzing bestaat.

Bij het neerslag-afvoeronderzoek worden de neerslagintensiteit (in mm/interval) en de afvoerintensiteit (m^3/sec) beschouwd als respectievelijk input en output van een transformatiesysteem. Dit systeem kan wiskundig worden beschreven op basis van een grondwaterstromingsmodel welke de Nederlandse situatie van de detailontwatering redelijk benadert.

Enkele in serie en/of parallel geschakelde transformatiesystemen vormen aldus een model (zoals het Kraijenhoffmodel in 3.5.) waarmee een bepaalde afvoersituatie kan worden nagebootst en vastgelegd met de parameters van het model.

Uit een analyse van het gemeten afvoerverloop worden de parameters bepaald; samen met de afvoerbare neerslag kan dan de afvoer worden berekend (in mm/interval).

Met de voorwaarde dat berekende afvoer en gemeten afvoer moeten samenvallen wordt dan de verbreidheid van het afvoersysteem vastgesteld. Tevens wordt hierbij aangenomen - en dit is een zwak punt - dat het afvoersysteem gedurende de beschouwde periode niet of nagenoeg niet verandert. De aldus bepaalde oppervlakte van een gebied stelt dus op zeker moment het werkzame deel van het gebied voor ((dus daar waar daadwerkelijk afvoer plaats vindt) onderstellende dat de afvoer over het gehele werkzame deel plaats vindt volgens het model.

Vertalen we het bovenstaande in de werkelijke situatie dan definiëren we het stroomgebied als een gebied dat een waterregiem herbergt, in ieder deel waarvan stroomlijnen bestaan die eindigen in een en hetzelfde lozingspunt. Immers waar stroomlijnen in een lozingspunt eindigen, vindt afvoer plaats en al die regionen waar zulke stroomlijnen lopen, zijn dus betrokken bij die afvoer. We merken op dat een stroomlijn dus ook een stroomgebied een momentopname is;

vorm en grootte van een stroomgebied kunnen dus sterk veranderen in de tijd.

Figuur 15 illustreert de verandering van het stroomlijnenverloop in de tijd.

Bij een onderzoek naar de waterbalans van een gebied is er geen behoefte aan een variërende begrenzing, immers een waterbalans poogt over een langere periode het hydrologische verkeer via de grens van het gebied te beschrijven en wanneer een grens zich door het grondwater beweegt, betekent dit dat er ontstellende hoeveelheden water die grens overschrijden, hoeveelheden die zich niet laten kwantificeren.

Bij het onderzoek naar de waterbalans van een gebied gaan we dus uit van een constante gebiedsgrootte en proberen de begrenzing dusdanig vast te stellen dat de beschrijving van het hydrologische verkeer zo eenvoudig mogelijk is.

Noemen we zo'n constant gebied een vanggebied dan definieren we een vanggebied als een gebied dat een waterregiem herbergt, in ieder deel waarvan stroombanen voorkomen die eindigen in een en hetzelfde lozingspunt. Nu is een stroombaan de weg die een waterdeeltje volgt, zodat gesteld kan worden dat de neerslag gevallen binnen het vanggebied tenslotte (waarschijnlijk pas na ettelijke honderden jaren) het lozingspunt bereikt, mits het patroon van stroombanen niet verandert.

De weg die een waterdeeltje in de grond volgt, wordt voornamelijk bepaald door de resulterende kracht die het deeltje van tijd tot tijd ondervindt in de richting van de variërende stroomlijn door dat deeltje. De lengte van de weg die het deeltje aflegt, wordt bepaald door de grootte van de resulterende kracht en de doorlatendheid.

Figuur 16 geeft een voorbeeld van de verplattsing van een deeltje water in de grond tengevolge van verschillende stroomlijnenpatronen.

4.2. Begrenzing van stroomgebieden.

De grootte van een stroomgebied varieert sterk met de tijd. Wanneer geen afvoer plaats vindt in het lozingspunt is de grootte van het stroomgebied nul ha. Dit komt voor bijvoorbeeld aan het eind van een droge zomer. Zijn echter gedurende een neerslagperiode de grondwaterstanden gestegen en zoveel mogelijk ontwateringsmiddelen in het gebied functioneren, dan is de grootte van het stroomgebied vrijwel maximaal en deze grootte komt ongeveer overeen met die van het vanggebied. Anders gezegd: een stroomgebied is een momentopname in afhankelijkheid van het stroomlijnenverloop in het grondwater, dus ook in afhankelijkheid van de potentiaalverdeling in het grondwater (vergelijking van Laplace).

De verandering van de potentiaalverdeling in het grondwater nu wordt voornamelijk beheerst door de verandering van het patroon van de functionerende ontwateringsmiddelen , dus van de hoogteverschillen tussen grondwaterstanden en slootwaterpeilen in het gebied.

Vangt na een droge zomer (grootte van het stroomgebied nul ha) een regenperiode aan, dan zullen met het stijgen van het grondwater meer ontwateringsmiddelen het grondwater aansnijden (deze ontwateringsmiddelen gaan dus functioneren) dus de oppervlakte van het stroomgebied neemt toe. Valt, in deze "gevulde" toestand van het stroomgebied van ongeveer maximale grootte, plotseling een belangrijke hoeveelheid neerslag, dan kan in veraf van het lozingspunt gelegen gedeelten de plaatselijke afvoer naar de sloot geremd worden en dus de oppervlakte van het stroomgebied tijdelijk afnemen. Dit kan worden geïllustreerd met figuur 12 als resultaat van het in 3.5. behandelde neerslag-afvoeronderzoek.

Beschouwen we een stroomgebied omgeven door gebieden met een andere hoogteligging of een hellend gebied dan komen kwel en wegzijging voor. Een wegzijgingsstroom in een gebied bevat stroomlijnen die niet in het lozingspunt eindigen en deze wegzijgingsstroom behoort dus niet tot het stroomgebied. Een kwelstroom bevat stroomlijnen die in het lozingspunt eindigen dus deze behoort tot het stroomgebied. De voor deze kwelstroom representatieve oppervlakte (in een veraf en hoger gelegen gebied) behoort dus tot de oppervlakte van het stroomgebied.

Doorgaans als kwel of wegzijging betitelde grondwaterstromingen komen dus niet voor ten aanzien van een stroomgebied, omdat een stroomgebied per definitie niet gedooft dat de richting van de grondwaterstroming de begrenzing snijdt. De begrenzing is "stromingsdicht". Met andere woorden komen de als kwel en wegzijging beschouwde stromingen tot uitdrukking in de totale oppervlakte van het stroomgebied.

4.3. Waterbalans van stroomgebieden.

De waterbalans van een stroomgebied over een bepaalde periode wordt dus geschreven zonder kwelterm als volgt:

$$\sum_{i=0}^n \left[C \cdot O(i) \{ N(i) - V(i) \} - Q'(i) + \Delta W'_a(i) \right] = 0$$

waarin $N(i)$, $V(i)$ en $Q'(i)$ discontinue equidistante functies zijn, waarvan de functiewaarde per interval constant wordt verondersteld.

$N(i)$ is de neerslag in mm/interval

$V(i)$ is de verdamping in mm/interval

$Q'(i)$ is de gemeten afvoer in m^3/sec over het interval i

$\Delta W'_a(i)$ is de toename van de in het stroomgebied geborgen hoeveelheid grondwater over het interval i in $m^3/int.$

C is een omrekeningsconstante

$O(i)$ is de oppervlakte van het stroomgebied in ha gedurende het interval i .

Nemen we bij voorbeeld een periode van een jaar met als begin- en eindmoment het eind van een droge periode (zomer) zonder afvoer dan geldt: $O(0) = O(n) = 0$ ha en $\sum_{i=0}^n \Delta W'_a(i) = 0$

Met deze vereenvoudiging kan voor een periode van een jaar de gemiddelde oppervlakte van het stroomgebied berekend worden. Het nut hiervan is echter niet direct duidelijk.

Meer nut heeft het, onder de veronderstelling dat $O(i)$ per korte deelperiode constant is, de verandering van deze $O(i)$ te berekenen gedurende het jaar. De deelperiode, waarover $O(i)$ constant wordt gedacht, onderscheiden zich dan door een duidelijk verschil in hydrologische toestand. In dit geval mag de verandering van de in het

stroomgebied geborgen hoeveelheid water niet verwaarloosd worden.

De waterbalans wordt dan geschreven als

$$\sum_{i=0}^n \left[\text{C.O.} \left\{ N(i) - V(i) + W_a \right\} - Q'(i) \right] = 0 \quad (\text{voor deelperiode})$$

ΔW_a wordt dan berekend uit het verschil in gemiddelde grondwaterstand aan het begin en eind van de deelperiode $\Delta h = h_n - h_0$ (h h t.o.v. N.A.P.) en de bergingscoëfficiënt μ_a , dus $\Delta W_a = \Delta h \cdot \mu_a$.

Een nauwkeurige bepaling van ΔW_a is in dit geval zeer gewenst, omdat juist voor korte deelperiodes ΔW_a betrekkelijk groot kan zijn ten opzichte van $\sum \{ N(i) - V(i) \}$.

Overigens wordt er hier op gewezen dat met een geschikt neerslag-afvoermodel de verandering van de oppervlakte ook kan worden vastgesteld door vergelijking van de berekende met de gemeten afvoer, zoals blijkt uit 3.5.

Wordt dan in duidelijke situaties de oppervlakte van het stroomgebied in het veld bepaald uit de oppervlakte van het functionerende slotennet (watervoerend) en dienen deze oppervlakten als vaste punten voor het uit een globaal (schatting van V) neerslag-afvoeronderzoek verkregen verandering van deze oppervlakte van het stroomgebied, dan kan met behulp van de waterbalans voor langere periode de som van de verdamping worden berekend. Hierbij moet dan als eis worden gesteld, dat een als kwel of wegzijging te betitelen grondwaterstroming is te verwaarlozen, immers de in het veld bepaalde oppervlakte bepaalt niet mede de equivalente kwel- en wegzijgingsoppervlakten.

4.4. Begrenzing van vanggebieden.

De begrenzing van een vanggebied is veel stabiel, immers de filtersnelheid van grondwater is bijzonder gering. Tijdelijke veranderingen in de potentiaalverdeling van het grondwater kunnen dus een waterdeeltje weliswaar tijdelijk een andere stromingsrichting geven, de overwegend heersende stromingsrichting bepaalt toch voornamelijk de globale weg die het deeltje volgt naar het lozingspunt. Met andere woorden een stroombaan kan een grillig karakter vertonen (vooral in de bovengrond waar de potentiaalverdeling zo verander-

lijk is) echter een hoofdrichting is duidelijk aanwezig.

Het ligt dus voor de hand er vanuit te gaan dat een vanggebied een constante oppervlakte heeft. Deze wordt vastgesteld op de maximale oppervlakte van het stroomgebied (indien geen kwel of wegzijging aanwezig) en kan in het veld bepaald worden uit kartering van het slotennet met stromingsrichting in de respectievelijke sloten (oppervlaktewaterscheiding), uit de hoogtekaart en uit isohypsenkaarten (dus uit de relatief hoogste grondwaterstanden).

De grondwaterspiegel volgt meestal enigszins vertraagd het maai-veld: dit blijkt ook uit de dwarsdoorsneden van de grondwaterstandenproef van 3.1. (vooral van raai A), zie Figuren 1,2 en 3.

Wanneer een gebied wordt begrensd door heuvels met ten aanzien van de doorlatendheid een sterk gelaagde opbouw, dan hoeft de heuvelkam niet samen te vallen met de relatief hoogste grondwaterstand.

Uit het verloop van de isohypsen blijkt in welke richting (in het horizontale vlak) het grondwater stroomt.

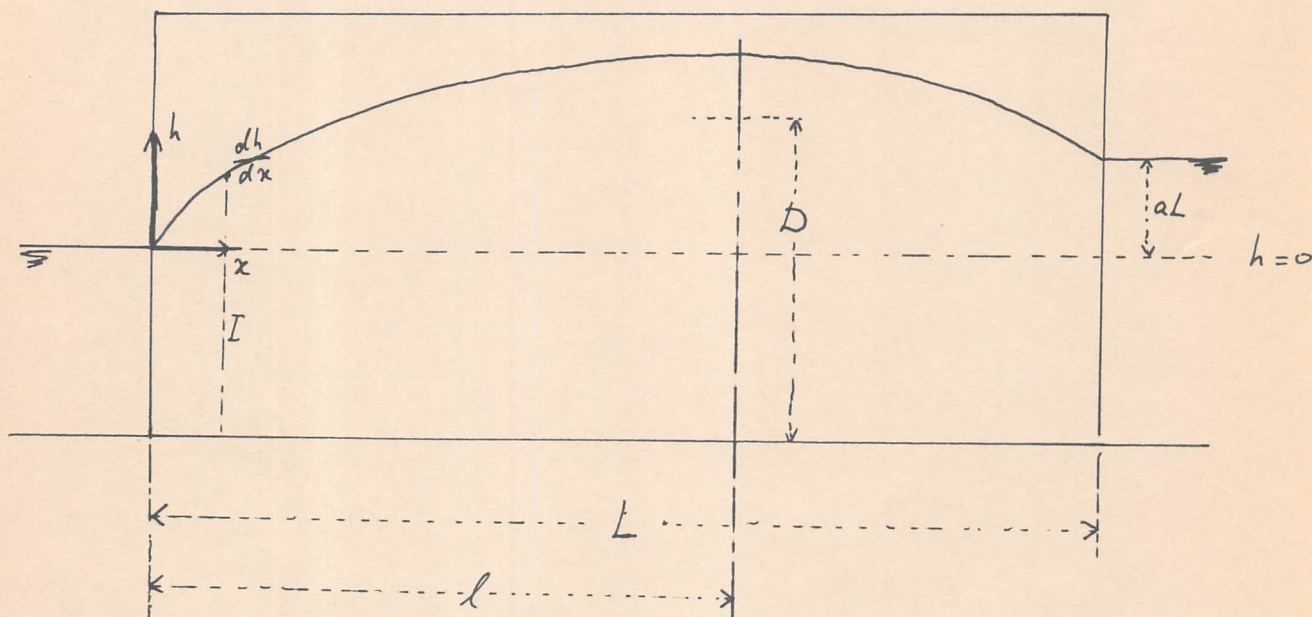
In een hellend gebied zal de grens van een vanggebied niet overal de isohypsen loodrecht snijden. Tengevolge hiervan zullen hoeveelheden grondwater het gebied binnentreden en uittreden; de resultante van deze stroming wordt als kwel (positief of negatief(wegzijging)) berekend.

Omdat voor een vanggebied de begrenzing niet veranderlijk wordt verondersteld is het belangrijk na te gaan welke factoren deze begrenzing eventueel nog zouden doen kunnen veranderen.

Niet van belang zijn hierbij kortdurende factoren die bovendien afwisselend van richting werken, gezien de geringe filtersnelheid van het grondwater. Van belang zijn dus blijvende veranderingen, die eenzijdig gericht werken zoals:

1. een blijvende andere instelling van de hoogte van stuwen in het beschouwde gebied of een hieraan grenzend gebied,
 2. een verbetering van de waterbeheersing van het beschouwde gebied of van het hieraangrenzend gebied,
 3. een grondwateronttrekking.
- ad1. een blijvend peilverschil ten opzichte van de uitgangstoestand in de sloten in een grensstreek als gevolg van een eenzijdige en blijvende verandering van de ontwateringsbasis (stand van de stuw)

geeft een wijziging van de grens. Dit wordt geïllustreerd met het twee dimensionale grondwaterstromingsmodel voor de grondwaterstroming in een kavel naar twee evenwijdige sloten; verder is het doorstroomde medium homogeen en anisotroop.



verondersteld worden horizontale stroming en stationaire toestand, dan is dus de hoogte van de grondwaterstand een functie alleen van x . Voor de doorsnede I geldt dan Darcy $q = k \cdot i \cdot f = kD \frac{dh}{dx}$

en de continuïteitsvoorwaarde $q = p(1 - x)$

zodat $p(1 - x) = kD \frac{dh}{dx}$

$$dh = \frac{p}{kD} (1 - x) dx$$

$$h = \frac{p}{kD} \left(1x - \frac{1}{2}x^2 \right) + C$$

voorwaarde I: $t \rightarrow \infty$, $x = 0$, $h = 0$, $C = 0$

voorwaarde II: $t \rightarrow \infty$, $x = L$, $h = aL$, $\frac{p}{kD} \left(1L - \frac{1}{2}L^2 \right) = aL$

$$\text{tenslotte} \quad 1 = \frac{L}{2} + \frac{a}{p} \cdot kD$$

met andere woorden: de verschuiving van de grens is recht evenredig met het peilverschil, de doorlatendheid en de dikte van het doorstroomde profiel en omgekeerd evenredig met de intensiteit van de neerslag.

ad2. een verbetering van de waterbeheersing betekent meestal een verandering van de afvoer karakteristiek (meestal snellere afvoer) en een diepere ontwatering. Dit heeft dan een peilverschil tot gevolg in de leidingen van de respectievelijke gebieden met de daaraan gekoppelde verschuiving van de grens.

ad3. grondwateronttrekking door middel van bronbemaling of anderszins verandert de potentiaalverdeling in het grondwater sterk en kan derhalve de grens doen wijzigen. Dit kan worden geïllustreerd met de dwarsprofielen van de grondwaterstandenproef toen een bronbemaling van de Gasunie van juni tot in augustus 1970 de grondwaterspiegel sterk beïnvloedde. (figuren 1,2 en 3).

De oppervlakte van het vanggebied wordt dus constant verondersteld en voornamelijk bepaald door de oppervlaktewaterscheiding. Isohypsenkaarten van velerlei mogelijke hydrologische situaties moeten kunnen aantonen of deze oppervlaktewaterscheiding ook grondwaterscheiding betekent. In hellende gebieden als in Salland zullen deze in het hoogste en het laagste deel van het gebied niet samenvallen (er is waarschijnlijk zelfs geen grondwaterscheiding aanwijsbaar). Door toch een grens te trekken impliceert dit in de vertikale doorsnede ter plaatse van het hoogste en het laagste deel van het gebied een grondwaterstroming die het gebied binnentreedt resp. verlaat. De resultante van deze stroming is een positieve of negatieve kwel. In de waterbalans moet dus een kwelterm opgenomen worden.

4.5. Waterbalans van vanggebieden.

Naar aanleiding van de vorige paragrafen kunnen we nu concluderen dat de waterbalans van een vanggebied het hydrologische verkeer beschrijft van een gebied met een constante uitgestrektheid.

Het verkeer wordt gevormd door de neerslag, verdamping, afvoer en kwel. In tegenstelling tot de waterbalans van een stroomgebied is er dus nu een kwelterm aanwezig, terwijl begin- en eindmoment van een periode niet zo eenvoudig kunnen worden gekozen dat de in het gebied geborgen hoeveelheden water op deze momenten gelijk zijn.

Daar staat dan tegenover het voordeel van een constante oppervlakte

en het kunnen beschouwen van langere perioden zodat de verandering van de geborgen hoeveelheid water gelijk nul is of te verwaarlozen ten opzichte van de andere grote termen.

De waterbalans van een vanggebied luidt:

$$\sum_{i=0}^n \left\{ N(i) - V(i) - Q(i) + K(i) \right\} + W_a(n) - W_a(0) = 0$$

waarin

$K(i)$ is de kwel in mm/interval,

$Q(i)$ is de afvoer in mm/interval,

$W_a(n)$ is de hoeveelheid water geborgen tussen maaiveld en een vast referentievlak, dieper dan de laagste grondwaterstanden, aan het eind van interval n ,

$W_a(0)$ idem aan het begin van interval 0

5. Bepaling van de grootte van het vanggebied Schoonheten.

In de eerste instantie werd in het veld het net van waterleidingen met hun stroomrichting gekarteerd in drie verschillende klassen: zie bijlage 2.

1. primaire waterleidingen (hoofdwaterleiding),
2. secundaire waterleidingen (sloten die overwegend water voeren),
3. tertiaire waterleidingen (greppels en sloten die slechts bij hoge grondwaterstanden en veel neerslag water voeren).

Hieruit resulteerde een oppervlaktewaterscheiding zoals op het overzichtskaartje aangegeven. Het hierdoor begrensde gebied is 805ha groot.

Met behulp van de hoogtelijnenkaart (figuur 13) van dit gebied en de vervaardigde isohypsenkaartjes bleek echter deze oppervlaktewaterscheiding correctie te behoeven in het voordeel van de grondwaterscheiding. Vergelijking van de hoogtelijnen met de isohypsen maakt duidelijk dat de grondwaterspiegel globaal gezien het maaiveld volgt. De richting van de algemene grondwaterhelling is evenals die van het maaiveld west-noordwest; in het westen van het gebied buigen de hoogtelijnen in westelijke richting af; door te weinig grondwaterstandsbuizen in dit gedeelte is het niet duidelijk of dit ook het geval is met de isohypsen. In het zuidwesten van het gebied is namelijk niet zo'n duidelijke helling van het maaiveld aanwezig. Hier komen relatief hoge en lage gedeelten voor, hoewel de meest lage gedeelten toch meer westelijk liggen. In dit gedeelte van het gebied is dan ook de oppervlaktewaterscheiding als grens aangehouden met uitzondering van de zuidelijkste punt, omdat hier zeer dichtbij de hoofdwaterleiding van het ten zuiden van het vanggebied Schoonheten gelegen vanggebied loopt.

Vervolgens is als de gehele westelijke grens de oppervlaktewaterscheiding genomen.

De noordelijke oppervlaktewaterscheiding vormt tevens de grens van het natuurgebied Boetelerveld (Schoonheterheide). De afvoer in dit gebied wordt met opzet gestagneerd, reden waarom hier meer belang wordt gehecht aan de ligging van het maaiveld, waaruit blijkt dat de grens zuidelijker ligt evenwel ook loodrecht op de isohypsen.

In het noordoostelijke grensgebied komen in de natste perioden gedurig inundaties voor, hetgeen blijkt uit vergelijking van het isohypsenkaartje figuur 6 met de hoogtekaart en uit visuele waarnemingen, reden waarom ook hier de hoogste terreinpunten worden gevolgd.

Ook in het uiterste oosten van het gebied, waar ontwateringsmiddelen ontbreken, worden de hoogste terreinpunten als grens aangenomen.

In het zuiden vallen waterscheiding en hoogste terreinpunten vrijwel samen, zodat hier de uiteindelijke grens bijna onveranderd de waterscheiding volgt.

De aldus verkregen grens is ingetekend op de isohypsenkaartjes en de hoogtelijnenkaart. De grootte van het vanggebied Schoonheten wordt hiermee vastgesteld op 760ha met een geschatte nauwkeurigheid van 25ha.

De noord- en de zuidgrens lopen nu vrijwel loodrecht ten opzichte van de isohypsen en de hoogtelijnen. In het westen is de situatie gecompliceerder; hier is het verloop van de grens, de isohypsen en de hoogtelijnen van belang voor het bepalen van positieve en/of negatieve kwel. Dit wordt besproken in het volgende hoofdstuk.

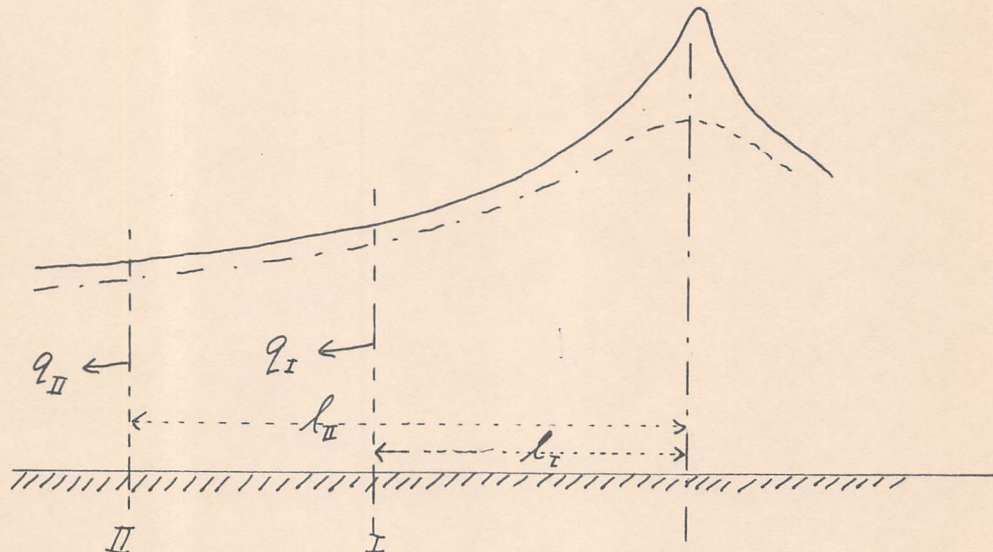
Tenslotte kan de wijze waarop de grens wordt vastgesteld als volgt kort worden samengevat:

1. voor het bepalen van de grens loodrecht op de algehele maaiveldshelling, wordt het meest belang gehecht aan de oppervlaktewaterscheiding, omdat een grondwaterscheiding meestal niet aanwezig of aanwijsbaar is.
2. voor het bepalen van de grens in de richting van de algemene maaiveldshelling wordt zowel aan oppervlakte- als aan grondwaterscheiding waarde gehecht.

6. Kwel of wegzijging in Schoonheten.

In hellende gebieden wordt de kwel of wegzijging meestal berekend met de formule van Darcy en een continuïteitsvoorwaarde.

Beschouwt men hiertoe de doorsnede dwars op de richting van de maai-veldshelling vanaf de kam van een heuvel:



veronderstelt men : horizontale grondwaterstroming

stationaire stroming (te verwaarlozen grondwater-standsschommelingen t.o.v. de gemiddelde dikte van de doorstroomde laag),

dan $q_I \cdot D = -K_I \cdot l_I = kD \cdot S_I$ zodat $K_I = -\frac{kD \cdot S_I}{l_I}$

S is de helling van de grondwaterspiegel

Zijn de verticale stroomvlakken evenwijdig (isohypsen ook evenwijdig), de oppervlakte en de breedte van het vanggebied respectievelijk O en b dan luidt de formule voor kwel:

$$K_I = -\frac{kD \cdot S_I \cdot b}{O}$$

Heeft het vanggebied als grens geen heuvelkam, maar ligt het meer benedenstrooms, dan is de kwel de resultante van de kwel van het gebied tot de doorsnede I en de doorsnede II.

Indien de verticale stroomvlakken niet evenwijdig aan elkaar lopen (isohypsen zijn dan geen rechten), maar wordt aangenomen dat wegens

de geringe deviatie radiale weerstanden mogen worden verwaarloosd dan luidt de kwelformule aldus:

zij b de breedte van de dwarsdoorsnede

en A de oppervlakte gelegen tussen de verticale vlakken (stroom-), de waterscheiding en de dwarsdoorsnede

$$\text{dan} \quad K = - kD \left\{ \frac{S_{II} b_{II}}{A_{II}} - \frac{S_I b_I}{A_I} \right\}$$

Wat kunnen we nu verwachten met betrekking tot het vanggebied Schoonheten? Bekijken we daartoe allereerst de doorsnede in de richting van de algehele helling, zie figuur 14. Aangenomen wordt dat het effect van de Sprengenberg op de ligging van de waterscheiding niet aanwezig is en veronderstellen we dat de waterscheiding samenvalt met de Koningsbelt. Bekijken we vervolgens de hoogtekaart en de isohypsenkaartjes dan blijkt dat de zuidgrens zowel de hoogtelijnen als de isohypsen loodrecht snijdt. Voor de noordgrens geldt hetzelfde behalve voor het oostelijke deel. In het oosten blijft echter de som van de ontbondenen in de richting van zowel de hoogtelijnen als de isohypsen tot hoogstens 2km beperkt, terwijl voor de gemiddelde helling van het maaiveld voor alle elementen van de oostelijke doorsnede werd berekend $1,16 \times 10^{-3}$.

De westelijke grens is gecompliceerder; hier zijn geen volledige isohypsen in het grensgebied bekend, terwijl de hoogtelijnen (7,00m en 7,50m hoogtelijnen) suggureren dat de helling in noordelijke richting afloopt. Uitvoeriger bestudering van de hoogtecijferkaart (zie bijlage 2) doet echter blijken dat juist deze 7,00m , 7,50m en 7,75m hoogtelijnen op ruggen lopen; hiertussen bevinden zich belangrijke lagere delen. Vooral ten westen van deze westgrens Pleegster- en Achterweiden liggen belangrijk lager. De totale lengte van de doorsnede (de ontbondene van de westgrens loodrecht op de richting van de algemene helling) bedraagt 3,4 km, terwijl voor de gemiddelde helling van het maaiveld werd berekend $0,83 \times 10^{-3}$.

Met $kD = 900 \text{ m}^2/\text{etm}$ wordt vervolgens de kwel voor het vanggebied Schoonheten bereken als volgt:

$$K = - 900 \left\{ \frac{1,16 \times 10^{-3} \cdot 3,4 \times 10^3}{760 \times 10^4 + 10^7} - \frac{0,83 \times 10^{-3} \cdot 2 \times 10^3}{10^7} \right\}$$

$$K = - 0,05 \text{ mm/etm} \quad \text{negatieve kwel (dus wegzijsing)}.$$

De vraag kan worden gesteld of deze veronderstelde horizontale grondwaterstroming over de volledige dikte van het profiel voorkomt. Uit de pompproef blijkt een spreidingslengte van 45m. Met de bepalingen van de doorlatendheid in de ondergrond komen we voor 20buizen gemiddeld op 3,5 m/etm, zodat de dikte van de quasi afsluitende laag wordt geschat als 8m uit de formule

$$\lambda = \sqrt{kD \frac{d'}{k}},$$

(λ is de spreidingslengte
 d' is de dikte van de quasi afsluitende laag
 k' is de doorlatendh. ,, ,, ,,)

Met andere woorden het bovenste pakket van de ondergrond is slechter doorlatend dan de diepere ondergrond. Deze conclusie kan echter ook reeds volgen uit de analyse van de boormonsters ten behoeve van de pompproef (zie bijlage 1). Hieruit moet geconcludeerd worden dat de stroomlijnen in het bovenste pakket aanvankelijk bijna vertikaal lopen en langzaam in horizontale richting afbuigen. In de zone waar zich de vele grindlagen bevinden zullen de stroomlijnen vrijwel horizontaal lopen. Door dit afwijkende verloop van de stroomlijnen zal echter de richting van de isohypsen op een dieper niveau nauwelijks worden beïnvloed. Wel zullen de onregelmatigheden in het maaiveld vertraagd tot uitdrukking komen in het verloop van de isohypsen op een lager niveau. Bovenstaande geeft slechts reden om aan te nemen dat vereenvoudiging van het gedetailleerde isohypsenbeeld in ieder geval niet tot grotere onnauwkeurigheid leidt. De kD -waarde zal echter voor het gedeelte waar slecht vrijwel zuiver horizontale stroming voorkomt nauwelijks veranderen, immers de kD -waarde is bepaald over het volledige profiel; beperken we ons tot geringere dikte van het doorstroomde profiel dan zal deze verkleining van D ook gepaard gaan met een verkleining van k .

Is de afvlakking van horizontale potentiaalverschillen met de diepte van dien aard dat aangenomen kan worden dat voor doorsnede I zowel als voor doorsnede II een horizontale potentiaalgradient heerst van $0,8 \times 10^{-3}$ dan volgt uit de berekening dat K ongeveer 0 is.

Een andere methode om een indruk van de kwel of wegzijging te verkrijgen is de volgende n.l. uit de snelheid van de daling van de grondwaterspiegel aan het eind van de zomer. Dan zijn in het vanggebied

Schoonheten de grondwaterstanden ver weggezakt, vaak tot ongeveer 2m -m.v. In dat geval is er geen sloot die water voert en ook bij de stuw staat het water ver onder de kruin. Ook is het bij een zo diepe grondwaterstand onwaarschijnlijk dat er vanuit het grondwater aanvulling plaats vindt van het bodemvocht uitsluitend tengevolge van onttrekking van het bodemvocht voor de verdamping, immers bij grasland met zijn ondiepe beworteling leidt de verdamping slechts tot uitputting van bodemvocht in de bewortelingszone en vindt slechts dan bij benadering aanvulling plaats uit het grondwater, indien de capillaire opstijging tot de wortelzone reikt. Een daling van de grondwaterspiegel is in zo'n geval dan ook alleen een gevolg van een naar beneden gerichte grondwaterstroming.

In de omgeving van de grondwaterspiegel is de totale porositeit 0,34; beneden de grondwaterspiegel bevinden zich dus 34 vol% water (indien geen luchtinsluiting); boven de grondwaterspiegel wordt geschat dat de mogelijkheid tot berging uitsluitend tengevolge van het uitzakken hoogstens 3 vol% bedraagt.

In de tweede helft van juli 1969 daalde de grondwaterstand met gemiddeld 20 mm/etm. Hieruit wordt dus een inzijging berekend van hoogstens 0,6 mm/etm.

In het zuidwesten van het vanggebied Schoonheten (hertog van portland) werd aan monsters van het grondwater uit de daar in raai- en geplaatste potentiaalbuizen het elektrisch geleidingsvermogen bepaald als maat voor het zoutgehalte van deze grondwatermonsters.

Infiltrerend grondwater lost zouten op en transporteert deze naar het diepe grondwater. Bij opstijgend grondwater verkrijgt men accumulatie van zouten hoog in het profiel. Worden aldus grondwatermonsters genomen op gelijke diepte onder de grondwaterspiegel dan kunnen de verschillen in het bepaalde elektrisch geleidingsvermogen vergelijkenderwijs tot de conclusie leiden dat in relatieve zin kwel of wegzijging aanwezig is.

De gemiddelde diepte van de filters onder de grondwaterspiegel bedroeg op 5 november 1970 1,90m met een standaardafwijking van 0,20 m, zodat niet wordt gecorrigeerd voor de diepte onder de grondwaterspiegel. Met andere woorden, de bepaalde waarden voor het elektrisch geleidingsvermogen worden zonder meer met elkaar vergeleken.

Hiervoor wordt de monstername van 5 november gebruikt, omdat voor deze monstername het water in het filter goed werd weggepompt alvorens een monster te nemen, zodat stellig representatieve grondwatermonsters werden geanalyseerd. In dit verband moeten misschien de verschillen tussen de beide monsternamen voor de buizen P, PD en BeD op deze wijze verklaard worden; overigens is niet duidelijk waarom juist bij naar beneden gerichte potentiaalverschillen bij deze paren potentiaalbuizen (zie tabel 2) voor de diepere buizen (PD en BeD) een kleiner elektrisch geleidingsvermogen werd gemeten dan voor de ondiepe (misschien hier invloed van het bentoniet: wijze van aanbrengen). Wordt verondersteld, dat voor de 18 buizen in totaal geen kwel of wegzijging plaats vindt, dan geeft vergelijking van het gemeten elektrisch geleidingsvermogen met het berekende gemiddelde van deze 18 buizen, zijnde $417 \mu\text{mho/cm}$, van de raaien A, B en C een indicatie voor relatieve kwel of wegzijging. Globaal kan dan geconcludeerd worden dat met uitzondering van A₁ en 2 in de raai A sprake is van relatieve kwel (dus in absolute zin kwel of stagnerende wegzijging). A₂, P en PD indiceren relatieve wegzijging; dit is in overeenstemming met de grote naar beneden gerichte potentiaalverschillen die voor deze buizen werden gemeten, zie tabel 2. De potentiaalbuizen A₂, B_{5 en 6}, C_{2,3 en 4} duiden op relatieve wegzijging (in absolute zin dus inzijging of stagnerende kwel).

Bestudering van het hoogtelijnenkaartje, figuur 13, maakt ook aan nemelijk dat plaatselijk in de raai A relatieve kwel voorkomt, omdat plaatselijk de invoerhelling groter zal zijn dan de uitvoerhelling van de grondwaterspiegel. Ook uit tabel 3 blijkt dat de helling tussen raai B en C groter is dan de helling tussen raai A en B.

Wat kunnen we nu concluderen ten aanzien van de totale kwel in het vanggebied Schoonheten en wat kunnen we adviseren voor de hoeveelheid kwel ten behoeve van bijvoorbeeld een waterbalans.

Gezien de loodrechte ligging van de noord- en zuidgrens op de isohypsen en hoogtelijnen, wordt de kwel berekening vereenvoudigd tot de stroming via de westelijke en de oostelijke grens. Het feit dat de westelijke grens langer is dan de oostelijke en de helling van de grondwaterspiegel aan de westelijke grens groter is dan aan de oostelijke grens geeft aanleiding tot een berekende negatieve kwel van 0,05 mm/etm. Dit kan verwacht worden in gemiddelde

perioden (met een gemiddelde grondwaterstand). In de zomer in uitgezakte toestand van het gebied zullen de hellingen van de grondwaterspiegel in het westen en het oosten elkaar benaderen. In deze toestand wordt een kwel berekend die te verwaarlozen klein is.

Dat uit de daling van de grondwaterspiegel aan het einde van de zomer zulk een grote negatieve kwel resulteert, is hoogst waarschijnlijk te wijten aan overschatting van zowel de bergingscoëfficiënt als de mate waarin de grondwaterspiegel daalt (in dit speciale geval), terwijl ook de mogelijkheid van onttrekking van grondwater ten behoeve van de verdamping voorstelbaar is, omdat in het gebied toch ook nog aanzienlijke oppervlakten bebossing (diep wortelend) voorkomen en de hoogte van de capillaire opstijging niet gering zal zijn in verband met de zo geringe porositeit van de grond van 0,34.

Tenslotte wordt dan ook geadviseerd voor de

zomer , "uitgezakte toestand"	$K \sim 0,00 \text{ mm/etm}$
winter, "opgevulde toestand"	$K \sim 0,10 \text{ mm/etm.}$

7. Globale indruk van de waterbalans.

Hiervoor gebruiken we de formule voor de waterbalans van een vanggebied (zie 4.5.). Deze luidde:

$$\sum_{i=0}^n \left\{ N(i) - V(i) - Q(i) + K(i) \right\} + W_a(n) - W_a(0) = 0$$

Nu gaat het er om met welk doel we de waterbalans opstellen; welnu we stellen ons ten doel na te gaan of de uit de waterbalans berekende waarde voor de kwel in dezelfde orde van grootte ligt als de waarde voor de kwel die we in het vorige hoofdstuk hebben geadviseerd. We voeren dus de kwelterm als de onbekende op.

Voor de som van de verdamping over de beschouwde periode zullen we de cijfers van Elink Sterk gebruiken. De onnauwkeurigheid van de beschikbare neerslag- en afvoercijfers is betrekkelijk groot: de onnauwkeurigheid van de neerslagcijfers wordt geschat op kleiner dan 5% , van de afvoercijfers op kleiner dan 10 à 15%.

Er zijn echter niet van lange aaneengesloten perioden neerslagcijfers bekend in verband met sneeuwval. De periode waarin sneeuw gevallen is wordt dan ook genegeerd.

Beschouwd worden de perioden:

11/9/68 - 16/12/68 en 10/3/69 - 13/8/69

aantal etmalen	105 etm	156etm	
som neerslag	285,7mm	315,9mm	
som verdamping	49,5mm	358,9mm	
som afvoer	117,6mm	76,9mm	
gemiddelde grondwaterstand	7,46m	7,64m	7,80m 6,93m N.A.P.
Δh	18cm		-87cm
Δh (totaal)		-69cm	
stel $\nearrow_a$ gemiddeld op 5% dan ΔW_a		34,5mm	

$$\text{zodat } 601,6 - 408,4 - 194,5 + \sum K - 34,5 = 0$$

$$\text{en } \sum K = 35,8 \text{ mm}$$

$$\text{dus } K = 0,137 \text{ mm/etm.}$$

Hierbij wordt opgemerkt dat de cijfers van Elink Sterk betrekking hebben op de Haarlemmermeer. Bekend is dat naar het oosten van het land toe de jaarsom van de verdamping afneemt voornamelijk door minder wind en meer bewolking. Eveneens is bekend dat de zomer van 1969

die deel uitmaakt van de beschouwde periode zeer zonnig en droog was, met andere woorden de aktuele verdamping blijft verder achter bij de potentiële verdamping dan gewoonlijk. Dus is het niet onjuist te veronderstellen dat de som van de verdamping over de beschouwde periode overschat is en dit resulteert dus in verkleining van K. Met name hoeft de verdampingssom slechts 35,8 mm kleiner te zijn om $K = 0 \text{ mm/etm}$ te verkrijgen.

We kunnen dus concluderen dat de waarde voor de kwel verkregen via de waterbalans in dezelfde orde van grootte ligt als de in hoofdstuk 6 geadviseerde waarde.

8. Nabeschouwing.

Na een algemene beschrijving van het gebied Schoonheten volgde een opsomming van op nogal fragmentarische wijze verricht (veld-) onderzoek. Ondanks het fragmentarische waren tussen het onderzoek naar de grondwaterstanden, de bepaling van het elektrisch geleidingsvermogen van het grondwater, de berekening van de doorlatendheid in het bovenste pakket, de pompproef en het neerslag-afvoeronderzoek voldoende verbanden te leggen om in de volgende hoofdstukken tot verantwoorde bepaling van de begrenzing en de kwel te komen.

De bezinning op de begrenzing van gebieden deed de behoefte ontstaan hiervoor een definitie te formuleren. Hiervoor gebruikten we het onderscheid tussen stroomlijnen en stroombanen. Om dit onderscheid toe te passen op gebieden voerde dit tot de definitie van stroomgebieden respektievelijk vanggebieden. Het gekozen woordgebruik zal in deze verwarring stichten, omdat het hier gedefinieerde vanggebied in de praktijk doorgaans wordt betiteld met stroomgebied.

Desondanks wordt hier toch dit woordgebruik gehandhaafd, omdat een vanggebied, een tijdopname, een vaste begrenzing heeft en de neerslag opgevangen binnen deze vaste begrenzing tenslotte in principe het lozingspunt bereikt, en omdat een stroomgebied, een momentopname, slechts bestaat bij de gratie van stroming naar het lozingspunt toe (en ook afvoer bij het lozingspunt), dus met een variabele begrenzing.

We kunnen dit onderscheid nog illustreren met:

- een stroomgebied heeft als belangrijkste beschrijvende de stromingsvergelijking, de stromingsfunctie,
- een vanggebied heeft als belangrijkste beschrijvende de continuïteitsvoorwaarde.

Voor het opstellen van een waterbalans heeft dit als consequentie: 1. dat de waterbalans van een stroomgebied slechts opgesteld kan worden voor een korte periode, waarover de oppervlakte van het stroomgebied constant verondersteld mag worden, terwijl de verandering van de berging een moeilijk grijpbaar element is, maar als voordeel dat de kwelterm niet in deze waterbalans voorkomt.

2. dat de waterbalans van een vanggebied kan worden opgesteld voor een zeer lange periode (enkele jaren); hierbij is een nauwkeurige bepaling van de begrenzing onontbeerlijk, terwijl ook een goede schatting van de hoeveelheid kwel belangrijk is.

De specifieke moeilijkheden bij het bepalen van de begrenzing van een stroomgebied zouden eigenlijk alleen opgelost kunnen worden door bestudering van dit probleem aan een elektrisch model.

In de hoofdstukken 5 en 6 werd enerzijds zo nauwkeurig mogelijk de begrenzing van het vanggebied Schoonheten vastgesteld op 760 ha (hierbij wordt opgemerkt dat veranderingen van deze oppervlakte mogelijk zijn in verband met de op handen zijnde uitvoering van de ten oosten van het vanggebied gelegen ruilverkaveling Haarle-west), anderzijds werd een schatting van de kwel berekend voor twee karakteristieke toestanden.

Tenslotte werd in het laatste hoofdstuk de kwel berekend via de waterbalans en deze bleek in dezelfde orde van grootte te liggen als de kwel berekend in hoofdstuk 6.

Nageslagen literatuur.

1. C.O.L.N. rapport deel Overijssel
2. De bodem van Overijssel, Stiboka, 1965
3. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Salland-Oost
Stiboka, 1969
4. van Baren, De morfologische bouw van het diluvium ten oosten
van de IJssel, Leiden, 1910
5. Vink, diss. 1949
6. Maarleveld, diss. 1956
7. Knibbe, diss. 1969
8. van Hoorn, diss. 1960
9. de Jager, diss. 1965
10. de Zeeuw, diss. 1966
11. Bepaling van de afvoer karakteristiek van enkele stroomgebieden
in het waterschap Salland, rapport afd. onderzoek K.N.H.M. 1970
12. Hydrologische veldkenmerken en interpretatie van kaarten toege-
past op het waterschap Salland, nota I.C.W.
13. Ouwerkerk en Pette, "Reponses caracteristiques des potentiometres
et le calcul des constantes de temps", 1967.

Tabel 1 . Grondwaterstanden, t.o.v. N.A.P. gemeten, van het reeds bestaande net van potentiaalbuizen.

nr. buis	1968	data 1969	1968	1969	1969	1969	1969
	16/12	10/3	25/11	20/3	7/3	27/1	13/8
1.	7.34	7.47	7.81	7.72	7.49	7.61	6.58
2.	8.22	8.27	8.40	8.00	8.29	8.28	-
3.	7.70	7.81	8.11	8.07	7.82	7.94	6.97
4.	7.97	8.15	8.12	8.07	8.17	8.29	-
5.	7.62	7.73	8.03	7.97	7.73	7.88	-
6.	7.61	7.72	8.03	7.99	7.74	7.87	6.91
7.	7.64	7.74	8.06	8.00	7.75	7.89	-
8.	7.59	7.71	8.03	7.99	7.70	7.85	6.83
9.	7.54	7.68	8.02	7.96	7.68	7.83	6.87
10.	7.51	7.66	7.98	7.94	7.65	7.81	-
11.	7.49	7.65	7.98	7.91	7.65	7.83	-
12.	7.46	7.66	7.93	7.88	7.67	7.76	-
13.	7.18	7.30	7.49	7.56	7.31	7.43	6.54
14.	7.46	7.56	7.88	7.82	7.58	7.66	-
15.	7.20		7.62	7.42	7.51	7.31	-
16.	6.54	6.57	6.83	6.78	6.59	6.68	-
17.	7.97	8.09	8.41	8.37	8.10	8.22	-
18.	8.27		8.74	9.05	8.69	8.60	-
19.	8.86	8.85	8.95	9.00	8.87	8.93	-
20.	8.55	8.74	9.01	9.00	8.75	8.86	7.81
21.							
22.							
gem.helling v.d.grwsp.	0.68	0.78	0.70	0.83	0.77	0.80	
extreem	dal	dal	top	top	dal	dal	

$\times 10^{-3}$

Tabel 2 . Stijghoogte in de potentiaalbuizen t.o.v. N.A.P.

P(2m-m.v.), PD(4m-m.v.) in podzolprofiel

datum	P	PD	PD-P > 0 kwel, < 0 inzijging
15/10	6.175	6.176	0,1cm (kort na aanbrengen buizen)
29/10	6.436	6.376	-6,0cm
5/11	6.969	6.819	-15,0cm

Be(2m-m.v.), BeD(4m-m.v.) in beekeerdgrond

15/10	6.223	6.218	-0,5cm (kort na aanbrengen buis)
29/10	6.464	6.455	-0,9cm
5/11	6.943	6.935	-0,8cm

Tabel 3. Grondwaterstanden t.o.v. N.A.P. gemeten in de raaien A,B en C in 1970

raai	datum	1	2	3	4	5	6	gemiddeld
A	17/3	7.028	7.027	6.917	7.084	7.014	7.028	7.02
	2/4	7.191	7.238	7.089	7.352	7.205	7.168	7.21
	10/4	7.215	7.273	7.114	7.373	7.227	7.166	7.23
	21/4	7.008	7.029	6.908	7.077	6.985	6.963	7.00
	24/4	6.984	6.989	6.886	7.041	6.962	6.946	6.97
	5/6	6.124	6.139	6.109	6.193	6.203	6.258	
	12/6	6.030	6.026	6.009	6.064	6.103	6.163	
	8/7	5.876	5.853	5.848	5.838	5.936	6.026	
	10/8	6.227	6.180	6.162	6.111	6.212	5.930	6.14
	15/9	5.928	5.869	5.874	5.809	5.900	5.930	5.88
	15/10	6.244	6.182	-	6.141	6.210	-	
	29/10	6.445	6.377	6.365	6.289	6.417	6.469	6.40
	5/11	6.918	6.907	6.804	6.840	6.922	6.916	6.89
B	17/3	7.063	7.069	7.095	7.114	7.114	7.126	7.10
	2/4	7.258	7.263	7.281	7.334	7.299	7.290	7.29
	10/4	7.262	7.286	7.291	7.333	7.311	7.296	7.30
	21/4	7.050	7.047	7.063	7.085	7.077	7.081	7.07
	24/4	7.011	7.029	7.039	7.082	7.049	7.079	7.05
	5/6	5.916	6.065	6.116	6.169	6.188	6.227	
	12/6	5.824	5.976	6.023	6.077	6.077	6.161	
	8/7	5.695	5.845	5.882	5.938	5.954	5.983	
	10/8	6.124	6.236	6.258	6.280	6.280	6.273	6.24
	15/9	5.823	5.931	5.945	5.974	5.967	5.956	5.93
	29/10	6.337	6.483	6.492	6.509	6.506	6.502	6.48
	5/11	6.901	7.028	7.035	7.056	7.054	7.048	7.02
C	17/3	7.448	7.489	7.482	7.593	7.492	7.491	7.50
	2/4	7.640	7.696	7.682	7.810	7.721	7.718	7.71
	10/4	7.635	7.696	7.675	7.863	7.693	7.692	7.71
	21/4	7.420	7.455	7.439	7.596	7.441	7.419	7.46
	24/4	7.391	7.438	7.419	7.560	7.416	7.407	7.44
	5/6	6.447	6.482	6.507	6.511	6.542	6.580	
	12/6	6.356	6.392	6.416	6.408	6.452	6.499	
	8/7	6.217	6.246	6.278	6.241	6.325	6.378	
	10/8	6.598	6.606	6.625	6.566	6.639	6.658	6.62
	15/9	6.277	6.297	6.315	6.241	6.325	6.349	6.30
	29/10	-	-	6.888	-	-	-	6.89
	5/11	7.444	7.458	7.466	7.410	7.497	7.508	7.47

Helling van de grondwaterspiegel tussen de raaien in 10^{-3}

datum	C-A	C-B
17/3	0,45	0,67
2/4	0,46	0,70
10/4	0,45	0,68
21/4	0,43	0,65
24/4	0,43	0,65
10/8	0,45	0,63
15/9	0,39	0,62
29/10	0,45	0,68
5/11	0,54	0,75

Tabel 4 . Het electrisch geleidingsvermogen gemeten aan monsters uit de potentiaalbuizen in de raaien A, B en C, uit de buizen P, PD, Be en BeD en van enkele sloten. (in $\mu mho/cm$)

buisnr.	raai A		B		C				
	29/10	5/11	29/10	5/11	29/10	5/11		29/10	5/11
1.	430	450	440	440	-	390	P	196	257
2.	210	176	310	320	-	258	PD	330	182
3.	960	1010	330	330	320	310	Be	105	104
4.	680	680	400	400	-	277	BeD	300	162
5.	760	800	151	150	-	390	sloot	470	520
6.	520	560	132	138	-	420	sloot	590	510
							sloot	410	520
							sloot	480	510
							plas	219	82
							ged.w.		10

Tabel 5a . Gegevens voor de berekening van de doorlatendheid m.b.v. potentiaalbuizen.

Buis A1				buis A2			
190 - 81	109	4,68	30	180 - 89	91	4,50	25
170 - 81	89	4,48	52	160 - 89	71	4,25	40
160 - 81	79	4,37	65	140 - 89	51	3,92	57
150 - 81	69	4,23	80	130 - 89	41	3,70	70
140 - 81	59	4,08	93	120 - 89	31	3,41	85
130 - 81	49	3,88	113	110 - 89	21	3,02	107
120 - 81	39	3,66	135	105 - 89	16	2,74	125
$\tau = 110,5 \text{ sec}$				100 - 89	11	2,36	147
<u>$k = 2,5 \text{ m/etm}$</u>				$\tau = 54,5 \text{ sec}$			
				<u>$k = 5,1 \text{ m/etm}$</u>			
Buis A3				Buis A4			
180 - 57	124	2,51	20	190 - 102	88	2,17	23
170 - 57	114	2,43	30	170 - 102	68	1,92	55
160 - 57	104	2,34	40	160 - 102	58	1,75	83
150 - 57	94	2,23	53	150 - 102	48	1,53	130
140 - 57	84	2,12	65	140 - 102	38	1,33	190
120 - 57	64	1,84	100	$\tau = 126 \text{ sec}$			
110 - 57	54	1,68	120	<u>$k = 2,2 \text{ m/etm}$</u>			
100 - 57	44	1,47	143				
90 - 57	34	1,21	170				
$\tau = 120,6 \text{ sec}$							
<u>$k = 1,65 \text{ m/etm}$</u>							
Buis A5				Buis A6			
176 - 96	80	4,38	0	190 - 112	78	2,05	10
150 - 96	55	3,99	22	180 - 112	68	1,92	15
140 - 96	45	3,80	31	170 - 112	58	1,75	20
130 - 96	35	3,53	45	150 - 112	38	1,32	40
120 - 96	25	3,20	63	130 - 112	18	0,57	60
115 - 96	20	2,97	75	125 - 112	8	0,24	80
110 - 96	15	2,67	90	$\tau = 48,8 \text{ sec}$			
105 - 96	10	2,25	115	<u>$k = 5,7 \text{ m/etm}$</u>			
100 - 96	5	1,50	155				
$\tau = 53,5 \text{ sec}$							
<u>$k = 5,2 \text{ m/etm}$</u>							

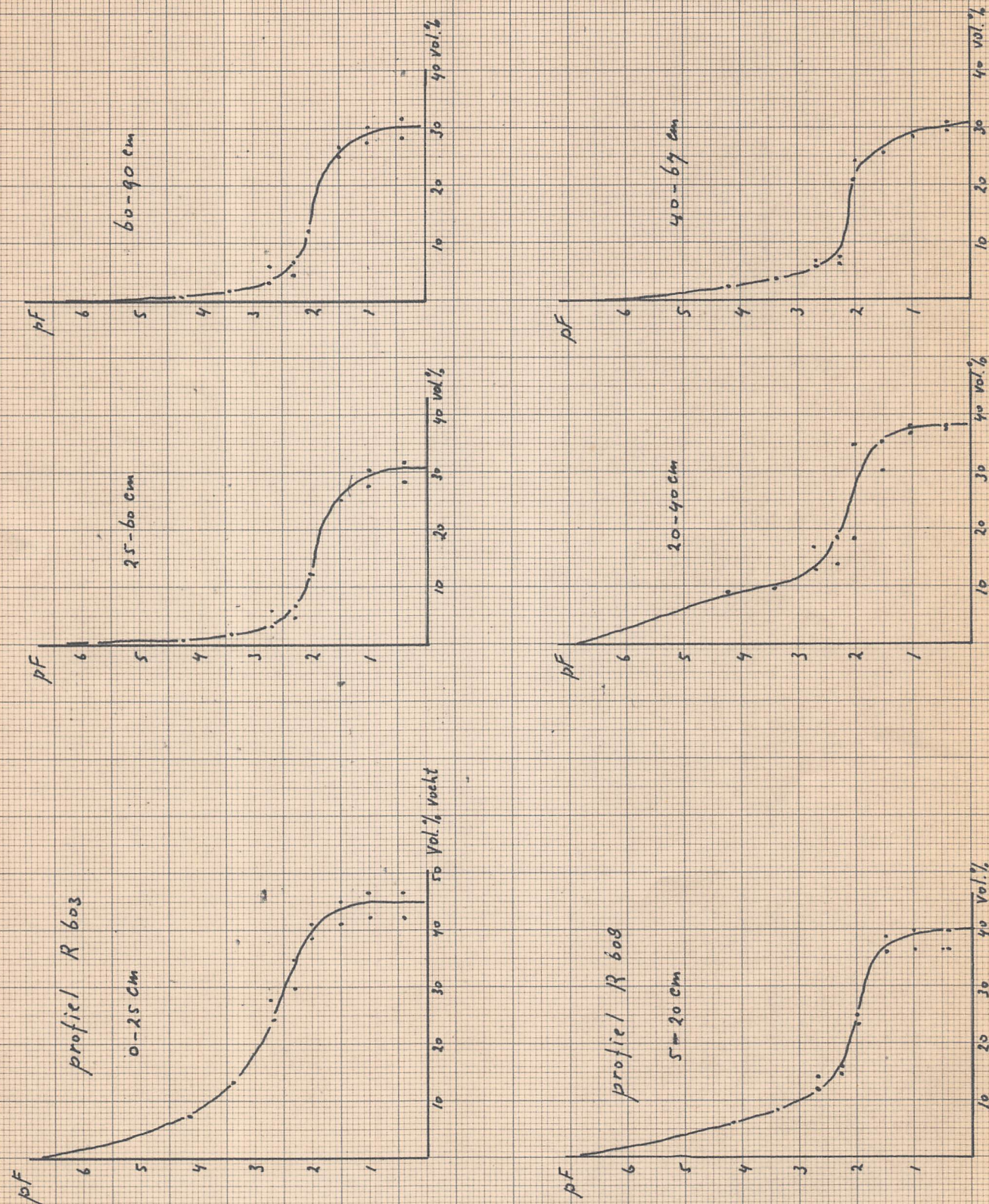
Tabel 5b vervolg.

Buis B1					Buis B2				
200 - 109	91	2,21	0		200 - 101	99	2,29	25	
190 - 109	81	2,09	17		180 - 101	79	2,06	35	
180 - 109	71	1,96	37		140 - 101	39	1,35	80	
170 - 109	61	1,81	59		130 - 101	29	1,05	100	
160 - 109	51	1,64	86		120 - 101	19	0,63	124	
150 - 109	41	1,42	118						
$\tau = 150 \text{ sec}$					$\tau = 71,4 \text{ sec}$				
<u>$k = 1,85 \text{ m/etm}$</u>					<u>$k = 3,9 \text{ m/etm}$</u>				
Buis B3					Buis B4				
200 - 93	107	2,37	25		190 - 101	89	2,18	15	
180 - 93	87	2,16	47		170 - 101	69	1,93	33	
160 - 93	67	1,90	72		160 - 101	59	1,78	45	
150 - 93	57	1,74	88		150 - 101	49	1,59	58	
140 - 93	47	1,54	107		140 - 101	39	1,36	75	
130 - 93	37	1,30	130		130 - 101	29	1,07	96	
120 - 93	27	0,99	160		120 - 101	19	0,65	128	
$\tau = 102,2 \text{ sec}$					$\tau = 76 \text{ sec}$				
<u>$k = 2,7 \text{ m/etm}$</u>					<u>$k = 3,6 \text{ m/etm}$</u>				
Buis B5					Buis B6				
180 - 81	99	2,29	26		180 - 86	94	2,24	0	
160 - 81	79	2,06	40		160 - 86	74	2,00	17	
140 - 81	59	1,78	60		140 - 86	54	1,69	36	
130 - 81	49	1,59	72		130 - 86	44	1,48	47	
120 - 81	39	1,36	85		120 - 86	34	1,23	65	
110 - 81	29	1,06	105		110 - 86	24	0,88	86	
100 - 81	19	0,64	132						
$\tau = 67,7 \text{ sec}$					$\tau = 62,7 \text{ sec}$				
<u>$k = 4,1 \text{ m/etm}$</u>					<u>$k = 4,4 \text{ m/etm}$</u>				
Buis C1					Buis C2				
190 - 75	115	2,45	40		200 - 92	108	2,38	42	
170 - 75	95	2,24	68		180 - 92	88	2,17	75	
150 - 75	75	2,01	100		170 - 92	78	2,05	93	
140 - 75	65	1,86	124		160 - 92	68	1,91	115	
$\tau = 146 \text{ sec}$					150 - 92	58	1,76	140	
<u>$k = 1,9 \text{ m/etm}$</u>					140 - 92	48	1,56	170	
					130 - 92	38	1,33	207	
					$\tau = 156 \text{ sec}$				
					<u>$k = 1,8 \text{ m/etm}$</u>				

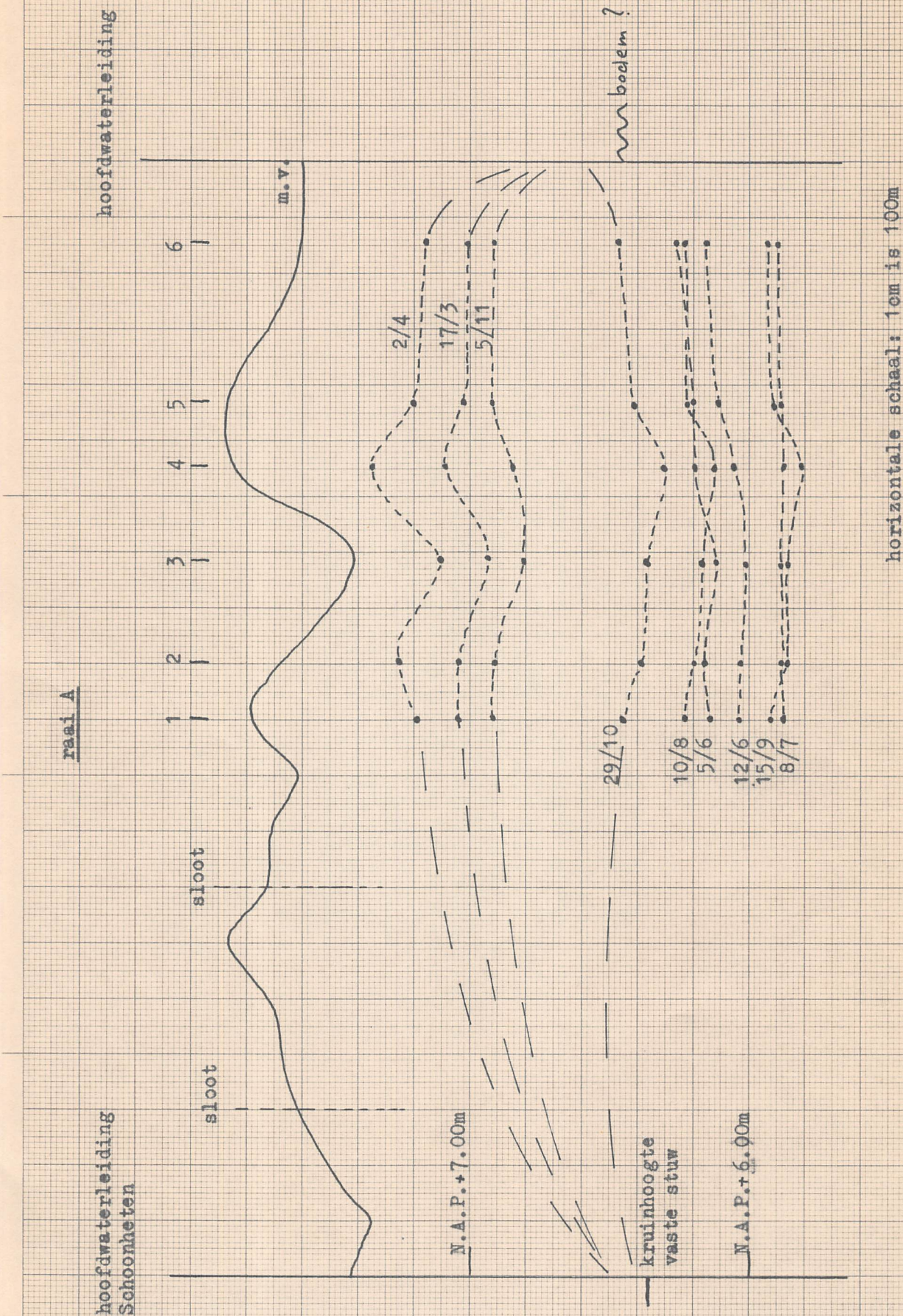
Tabel 5c. vervolg

Buis C3				Buis P			
190 - 104	86	2,15	45	150 - 99	51,0	1,63	28
170 - 104	66	1,88	58	140 - 99	41	1,41	40
150 - 104	46	1,52	75	130 - 99	31	1,13	58
140 - 104	36	1,28	87	120 - 99	21	0,73	82
130 - 104	26	0,95	103	110 - 99	11	0,08	127
120 - 104	16	0,47	126				
$\tau = 47 \text{ sec}$				$\tau = 61 \text{ sec}$			
<u>$k = 5,9 \text{ m/etm}$</u>				<u>$k = 3,7 \text{ m/etm}$</u>			
Buis PD				Buis Be			
180 - 110	70	1,95	30	180 - 66	114	2,43	45
170 - 110	60	1,79	45	170 - 66	104	2,35	55
160 - 110	50	1,61	67	160 - 66	94	2,23	65
150 - 110	40	1,39	90	150 - 66	84	2,13	75
140 - 110	30	1,10	120	140 - 66	74	2,01	85
130 - 110	20	0,69	157	130 - 66	64	1,86	97
$\tau = 117 \text{ sec}$				120 - 66	55	1,69	115
<u>$k = 1,9 \text{ m/etm}$</u>				110 - 66	45	1,48	133
				$\tau = 89,5 \text{ sec}$			
				<u>$k = 2,5 \text{ m/etm}$</u>			
Buis BeD							
170 - 71	99	2,29	0				
130 - 71	59	1,78	15				
120 - 71	49	1,59	20				
110 - 71	39	1,36	28				
100 - 71	29	1,07	38				
90 - 71	19	0,64	52				
$\tau = 30,6 \text{ sec}$							
<u>$k = 7,3 \text{ m/etm}$</u>							

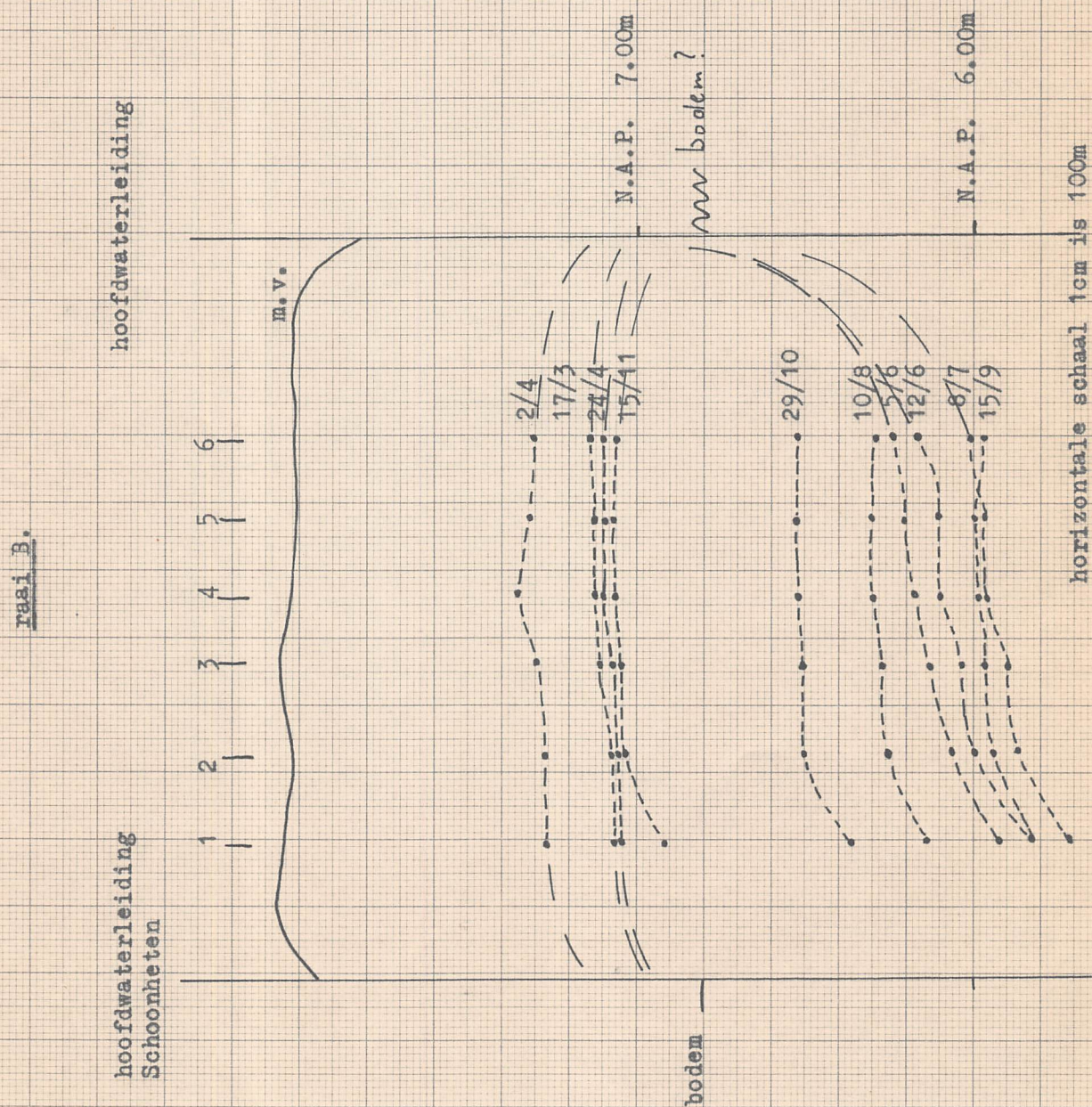
Figuur O. De pF-krommen van twee profielen in de omgeving van Rekken.



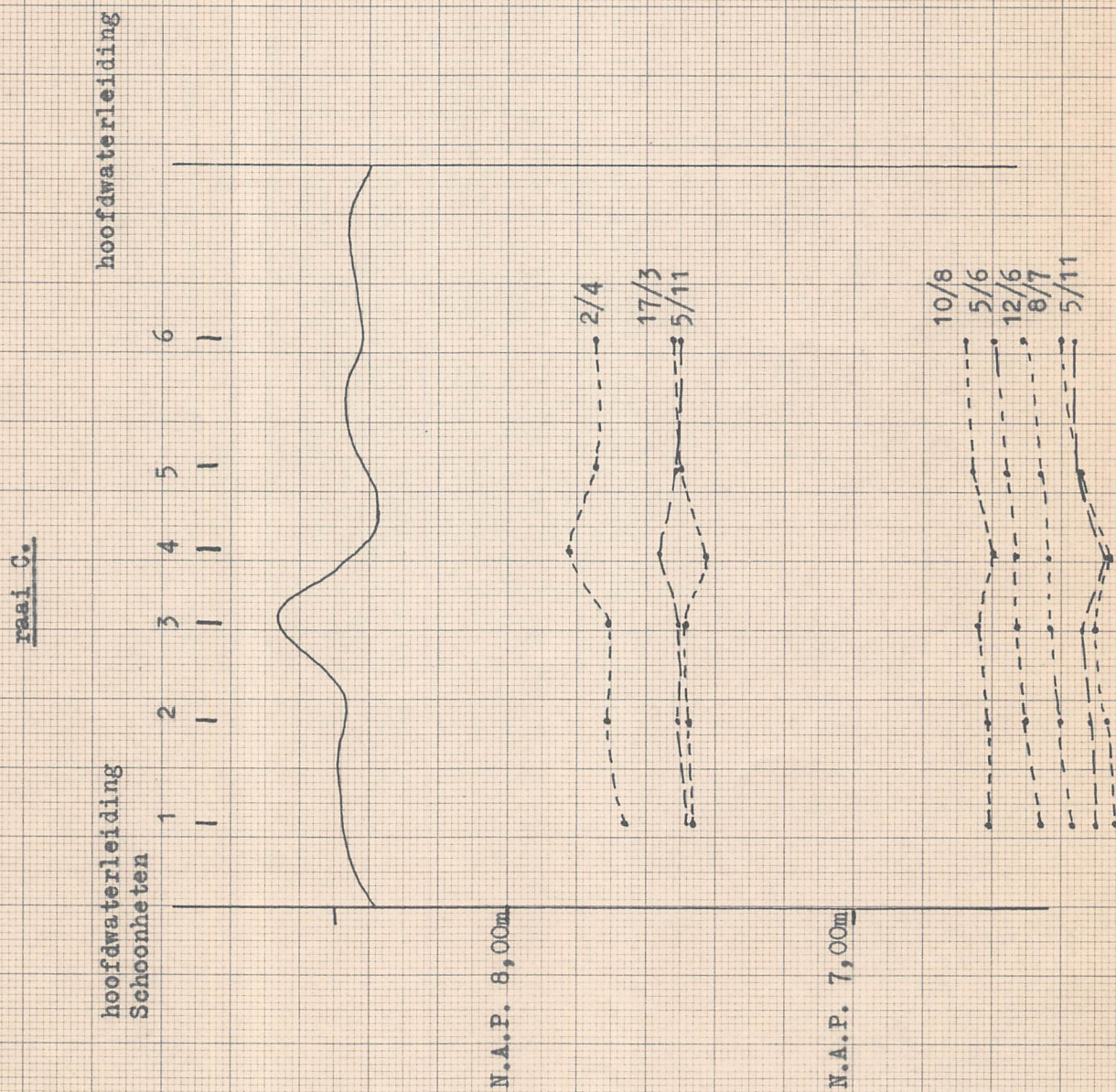
Figuur 1. Dwarsprofiel van de raai A van potentiaalbuizen.



Figuur 2 . Dwarsprofiel van de raai B van potentiaalbuizen.



Figuur 3. Dwarsprofiel van de raai C van potentiaalbuizen.



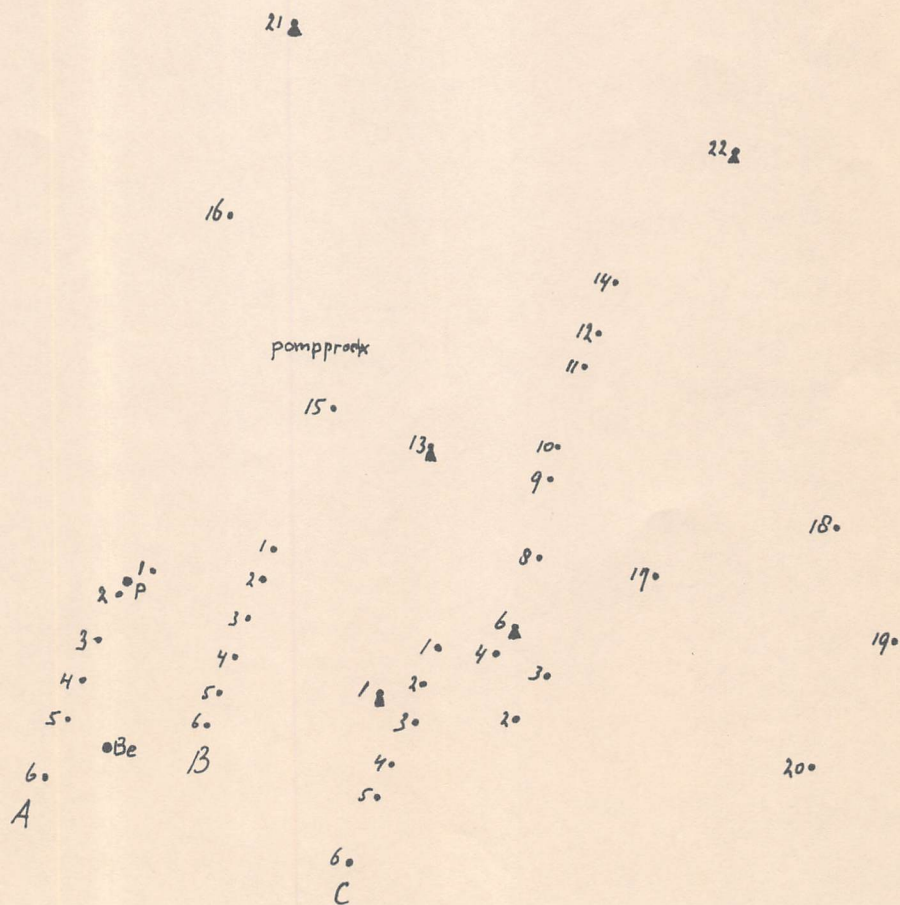


Figuur 4. Plaatsing van apparatuur in het gebied Schoonheten.

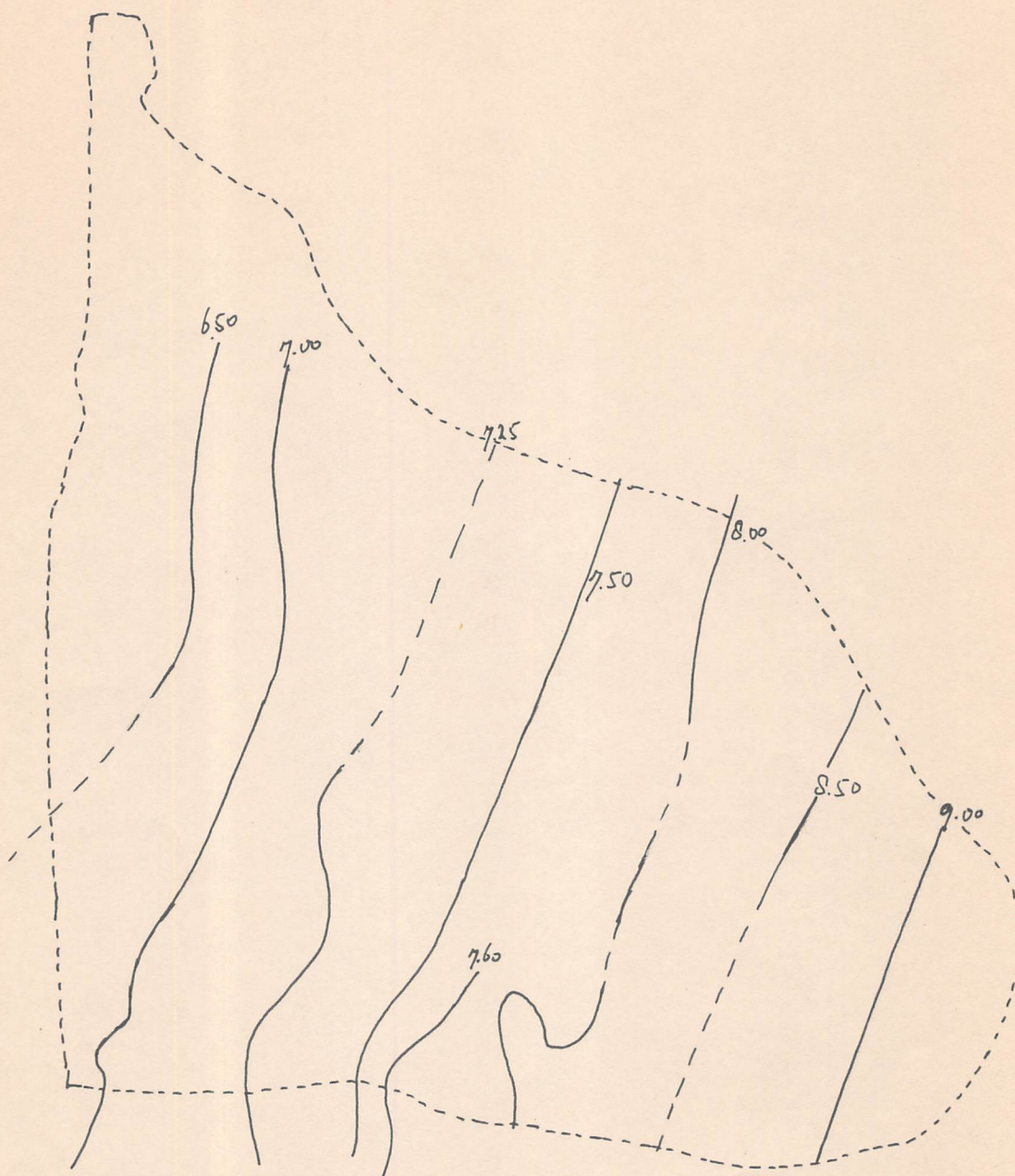
- potentiaalbuizen
- zelfregistrerende potentiaalbuis

Fig.4. Plaats van de apparatuur in het stroomgebied Schoonheten.

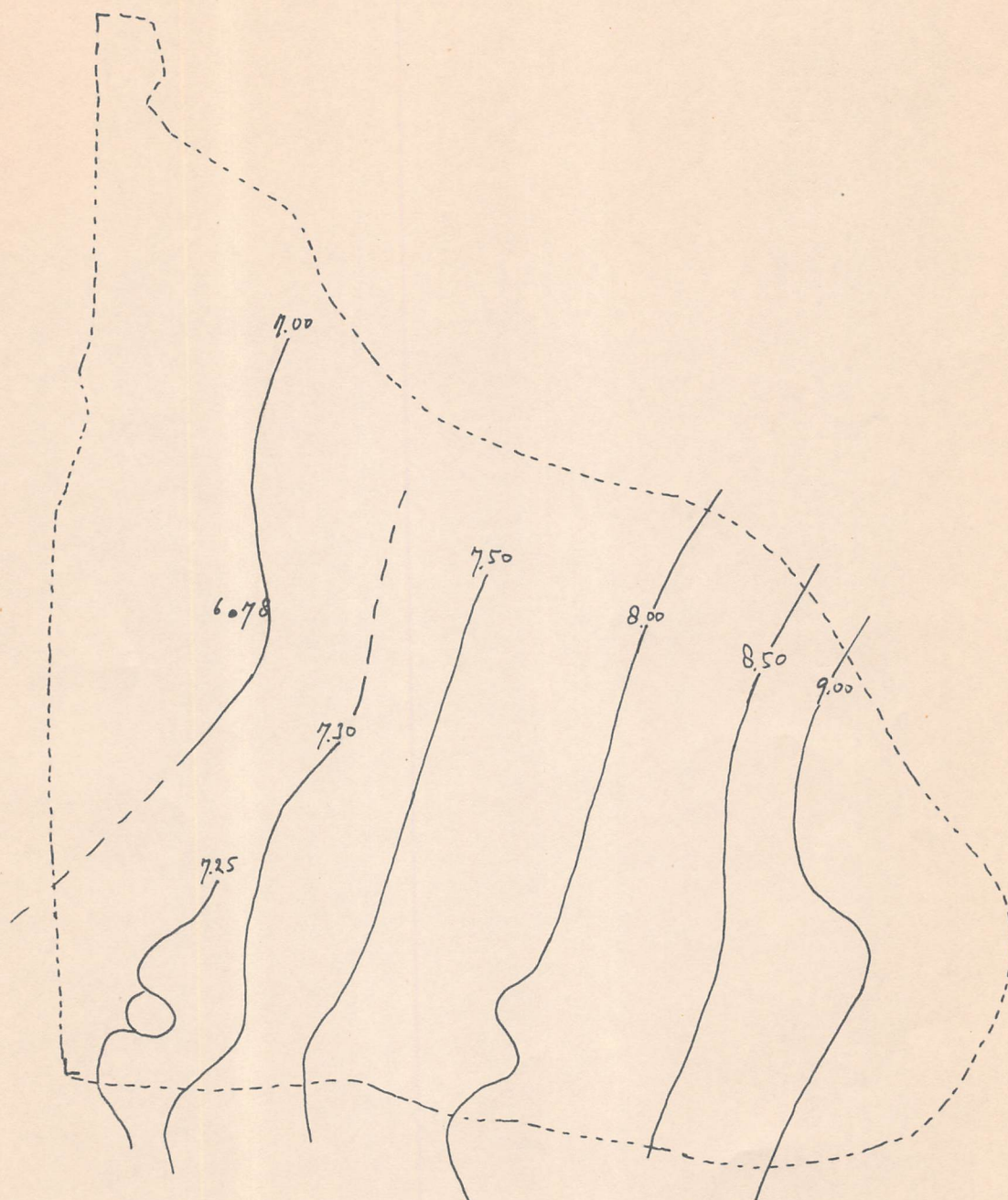
- potentiaalbuizen
- ▲ zelfregistrerende potentiaalbuizen
- ▲ pluviograven
- △ regenmeters



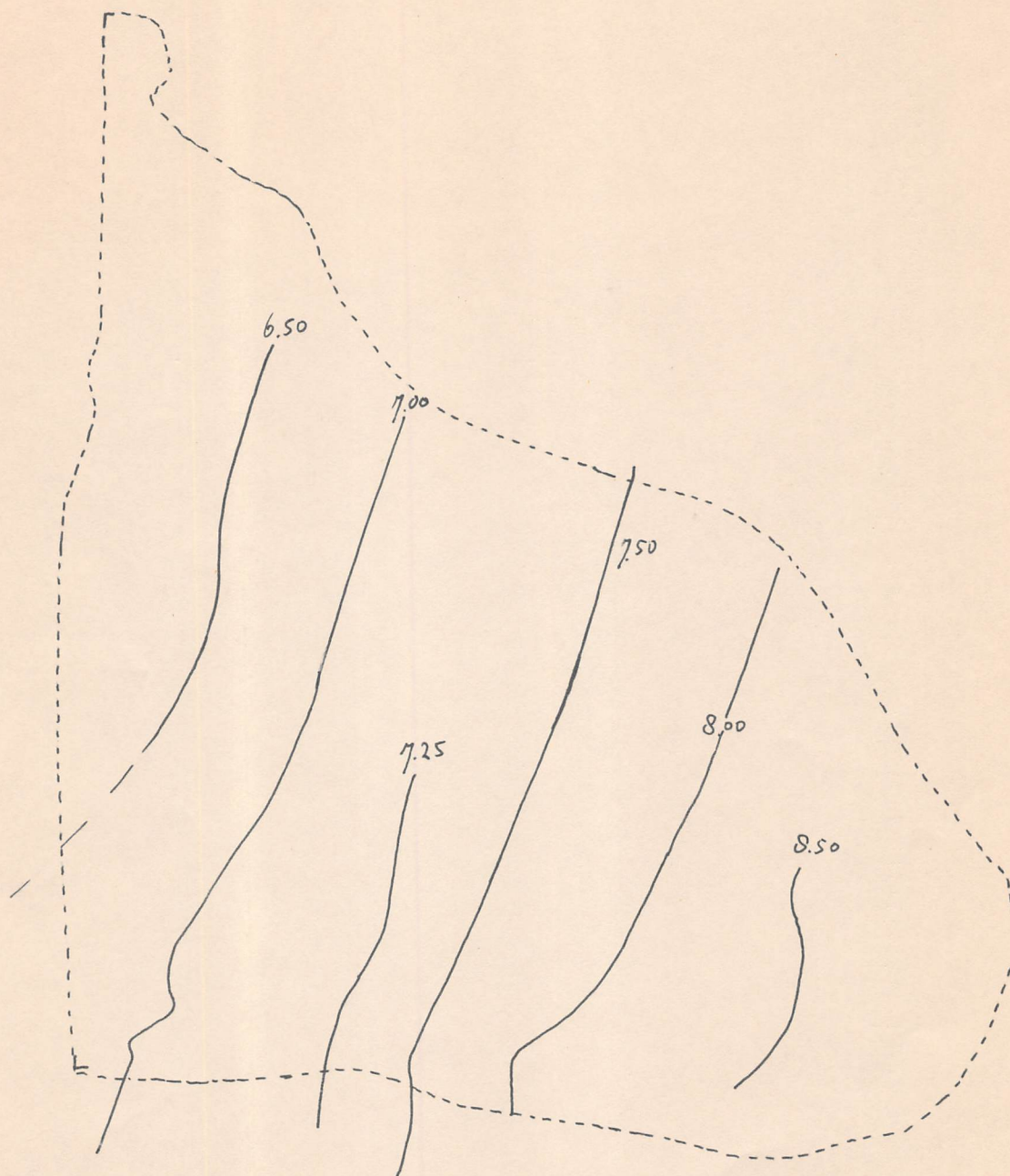
Figuur 5 . Isohypsenkaartje verkregen uit de gecombineerde gegevens
van tabel 10/4/1970
en tabel 27/1/1969



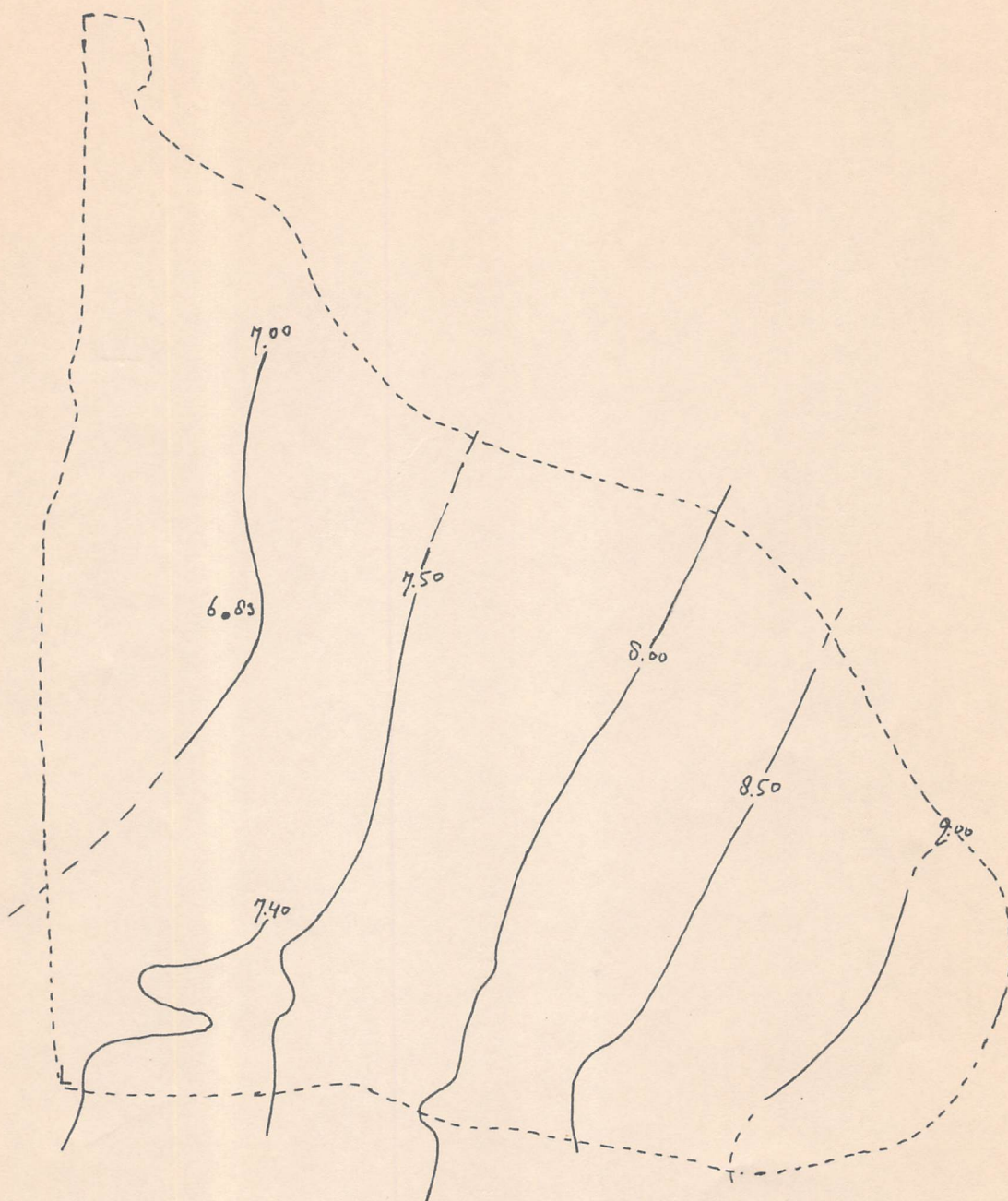
Figuur 6. Isohypsentaartje verkregen uit de gecombineerde gegevens
van tabel 10/4/1970
en tabel 20/3/1969



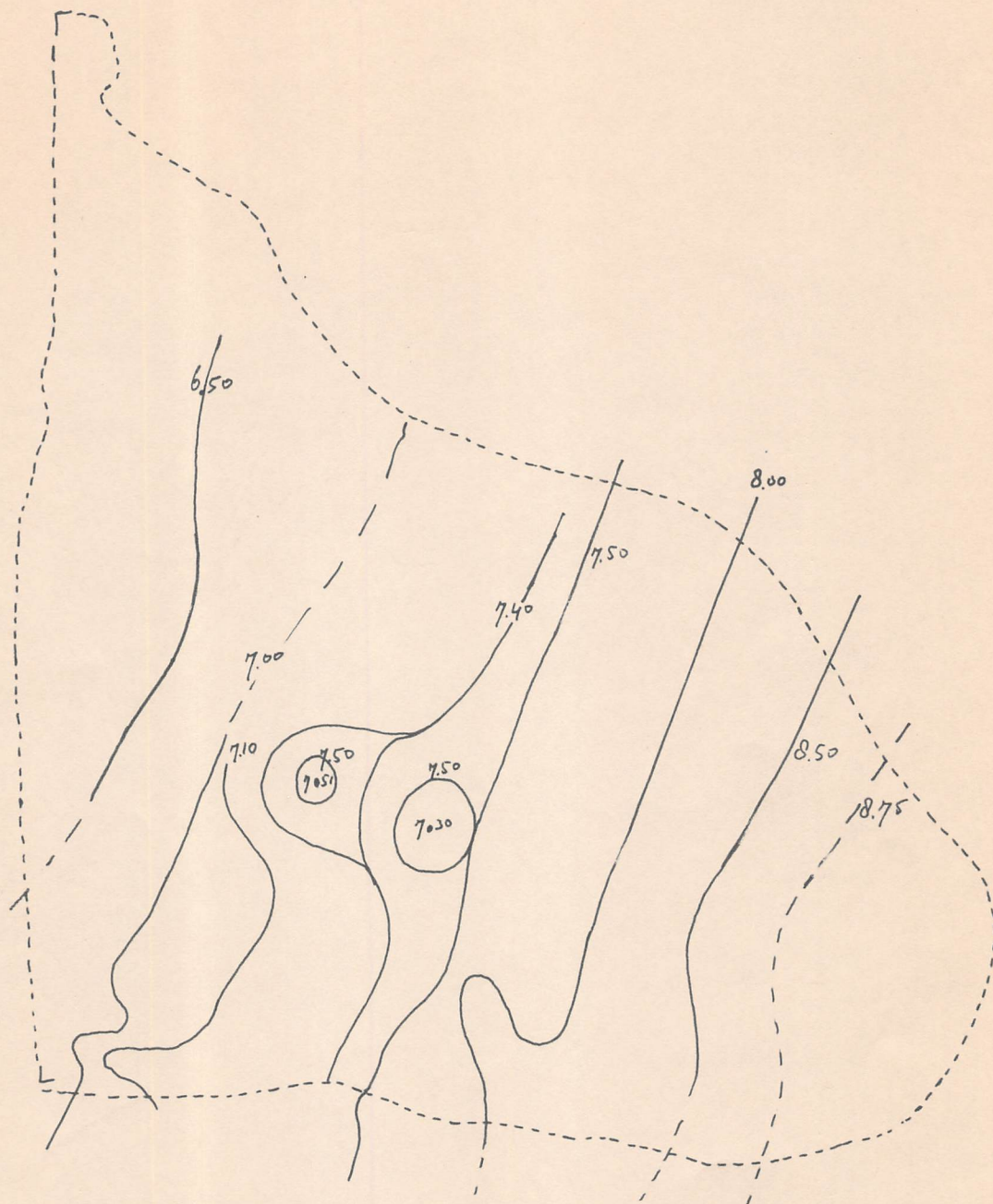
Figuur 7. Isohypsentaartje verkregen uit de gegevens van
tabel 17/3/1970
en tabel 10/3/1969



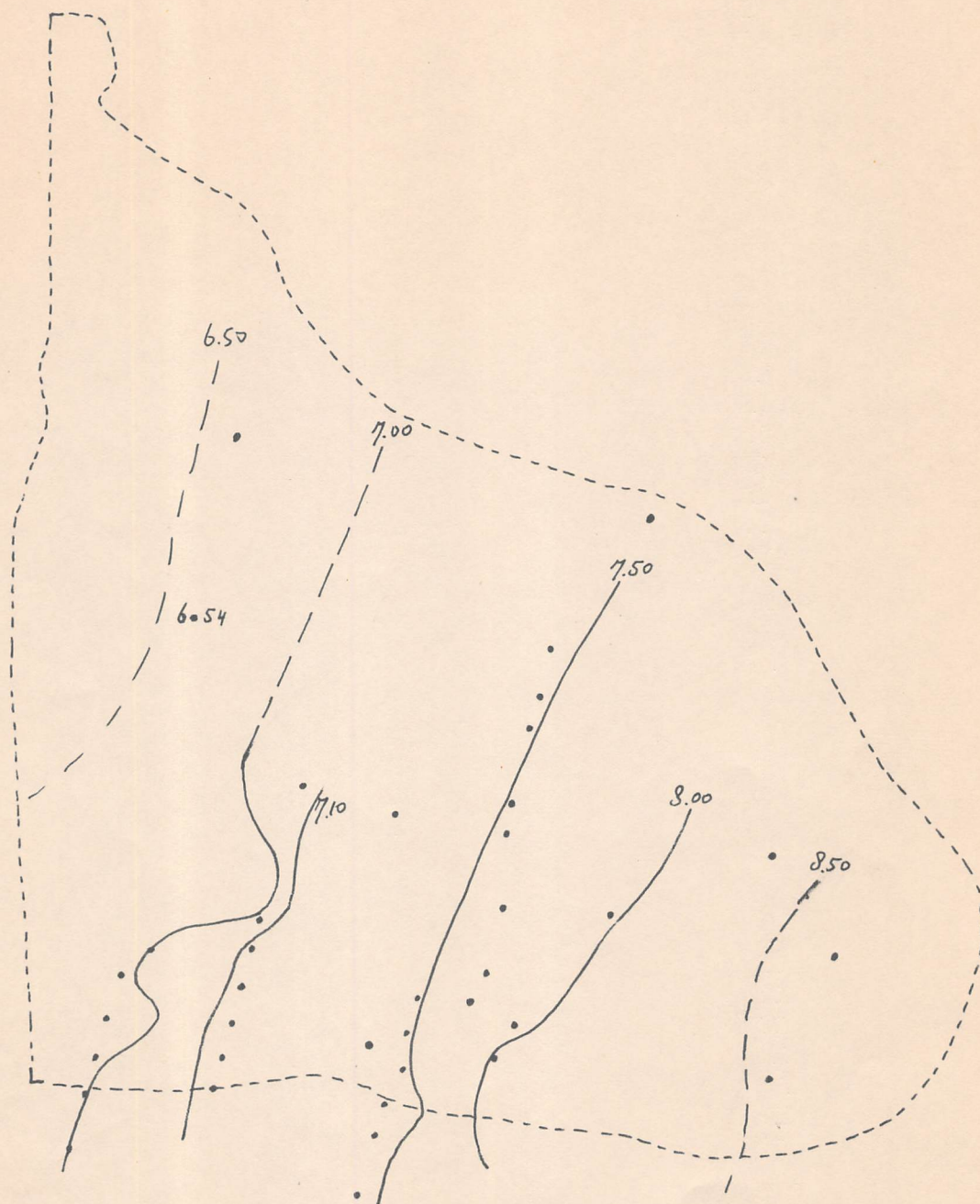
Figuur 8 . Isohypsenkaartje verkregen uit de gecombineerde gegevens
van tabel 10 10/4/1970
en tabel 25/11/1968



Figuur 9. Isohypsenaartje verkregen uit de gecombineerde gegevens
van tabel 17/3/1970
en tabel 7/3/1969



Figuur 10. Isohypsenkaartje verkregen uit de gecombineerde gegevens
van tabel 5/11/1970
en tabel 16/12/1968



Figuur 11. Isohypsenkaartje verkregen uit de gecombineerde gegevens
van tabel 10/8/1970
en tabel 13/8/69

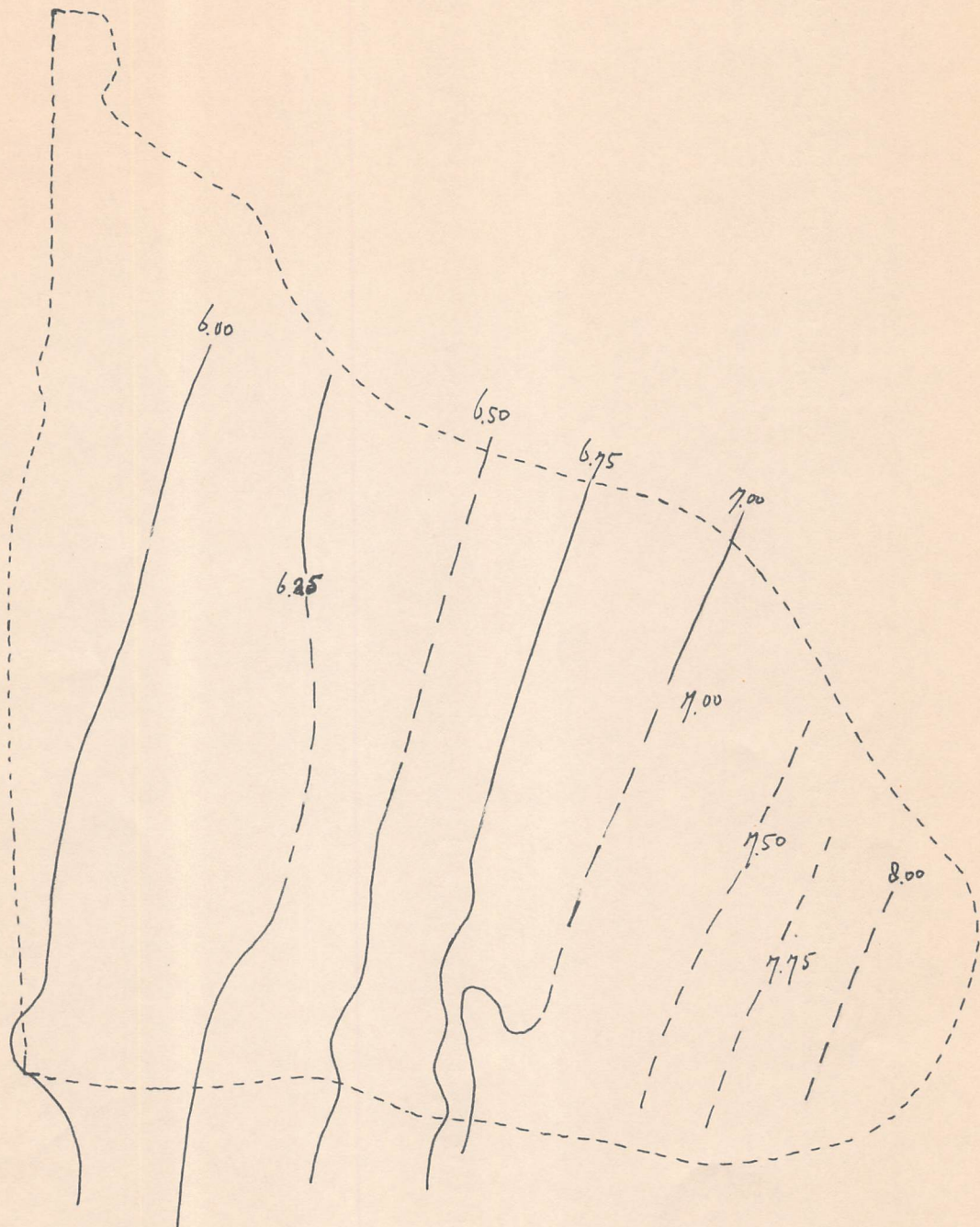


fig. 30 a

reconstr. 86% N $\alpha = 0.9$ $j_s = 3$ $j_k = 25$
 gem afvoer 515 ha $\alpha = 0.8$ $j_s = 3$ $j_k = 25$
 600 ha

mm/
 4 uur

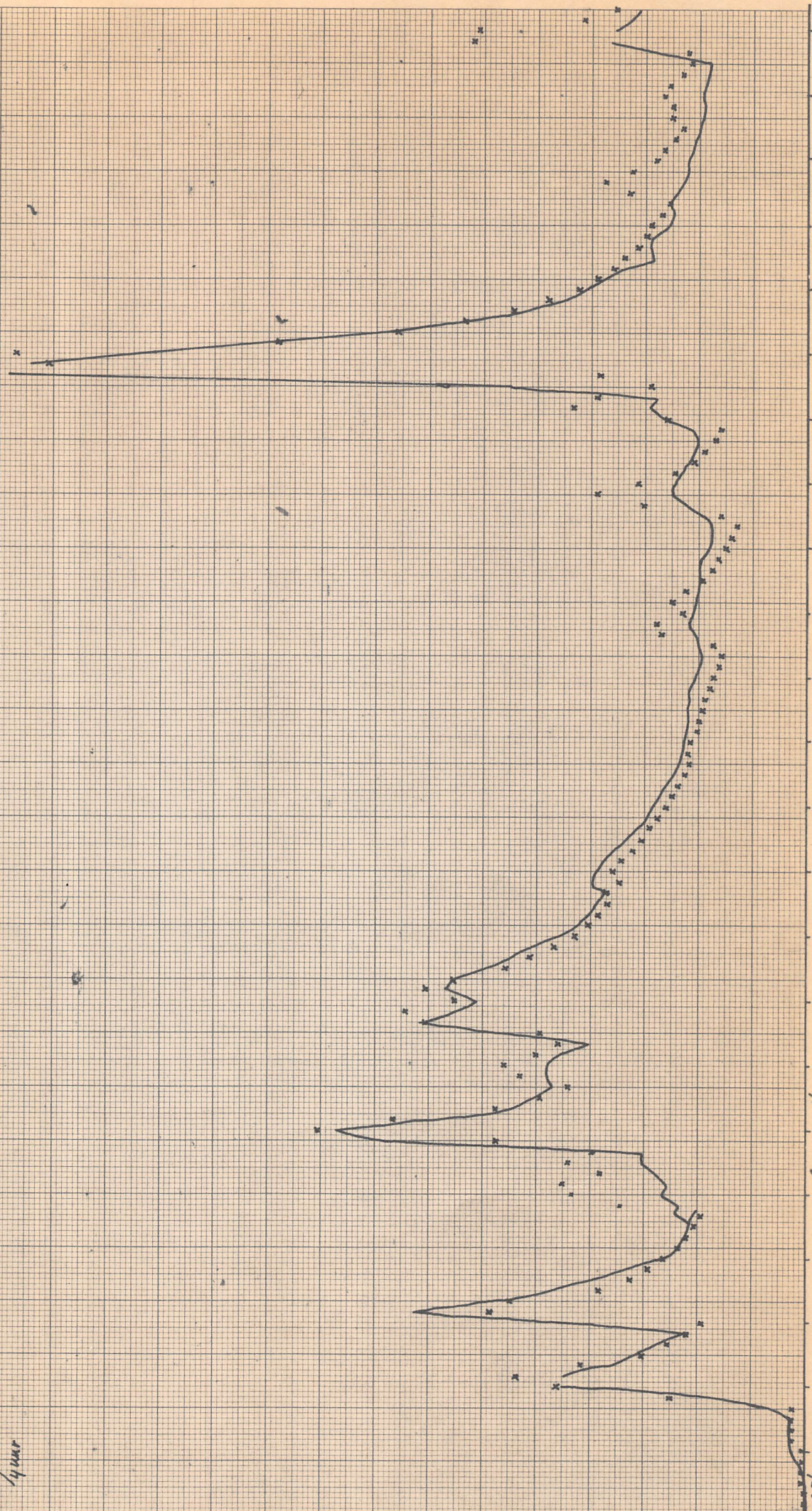


Fig. 12

$\alpha = 0,8$ $j_s = 3$ $j_k = 50$
520 ha

91 % N

400 ha

$\alpha = 0,9$ $j_s = 3$ $j_k = 50$
600 ha

20 % N

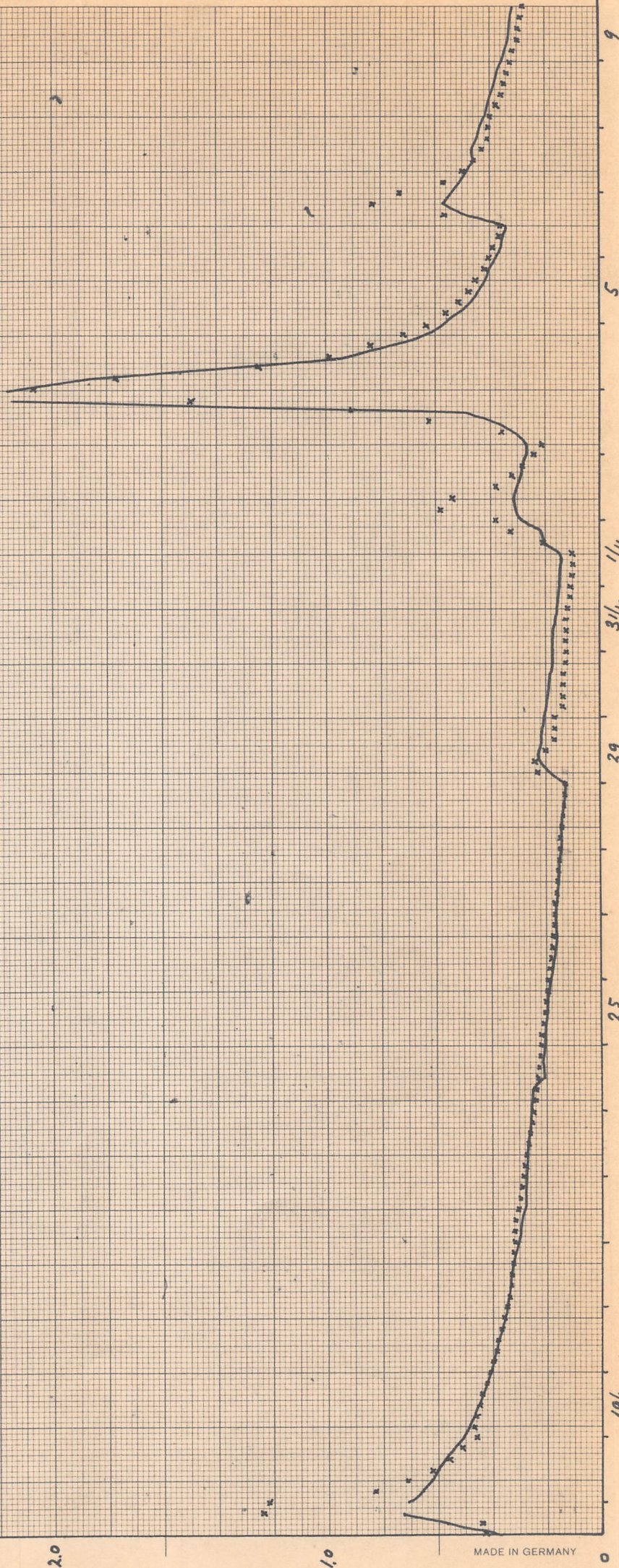


Fig. 12c

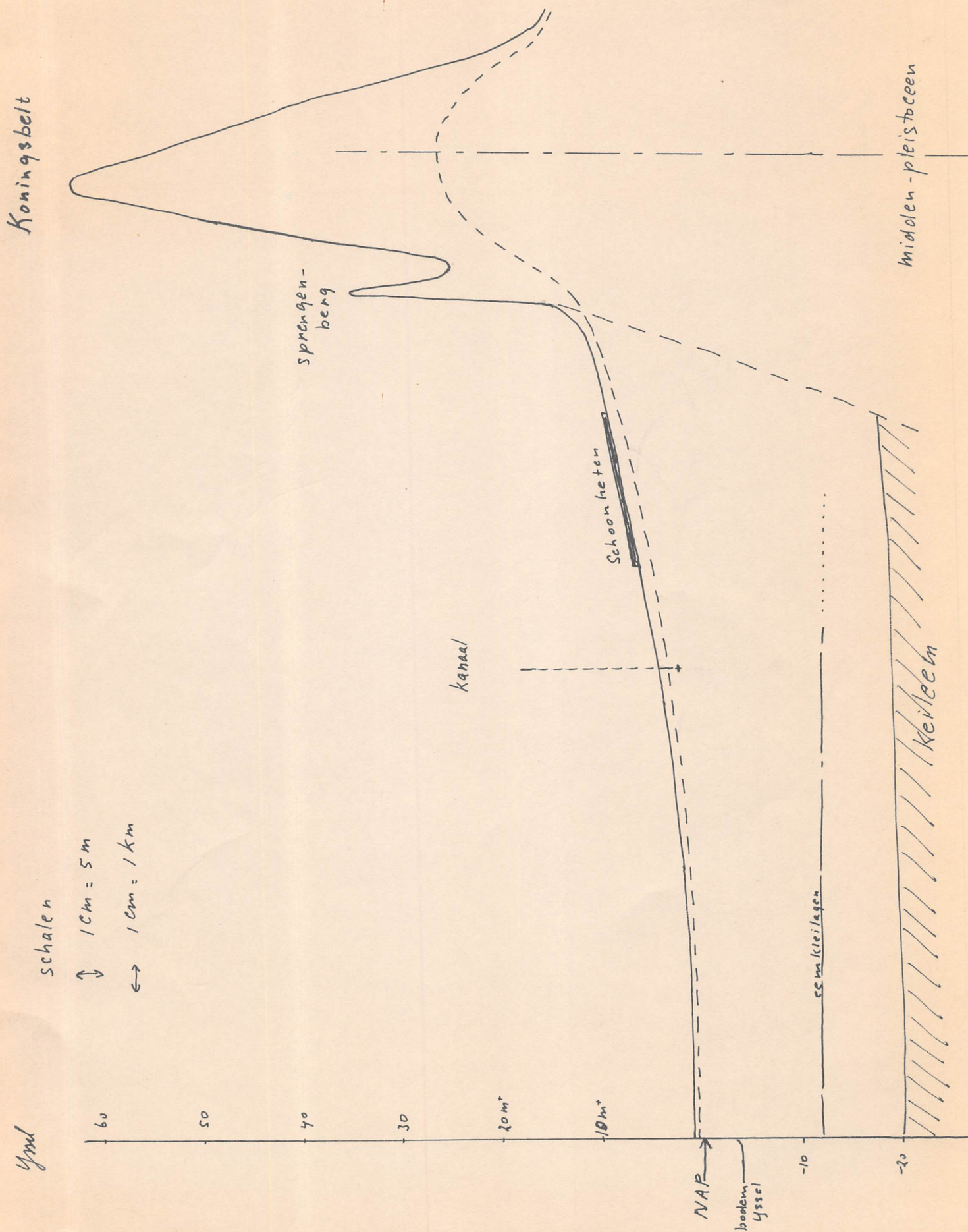
5204A

A hand-drawn contour map on a piece of paper. The map shows several contour lines, some solid and some dashed, representing different elevations. The values are written next to the lines. The elevations range from 5.00 to 9.50. The map includes a grid of dashed lines, with '+' and '-' signs indicating specific points or areas. The lines are drawn in a way that suggests a mountainous terrain, with peaks and valleys. The values are: 5.00, 6.00, 6.01, 6.02, 6.07, 7.00, 7.01, 7.50, 7.75, 8.00, 8.50, 9.00, and 9.50. The map is oriented with the highest elevations on the right side.

Fig. 14. Dwarsprofiel Salland in west-noordwestelijke

NAP
←

richting.



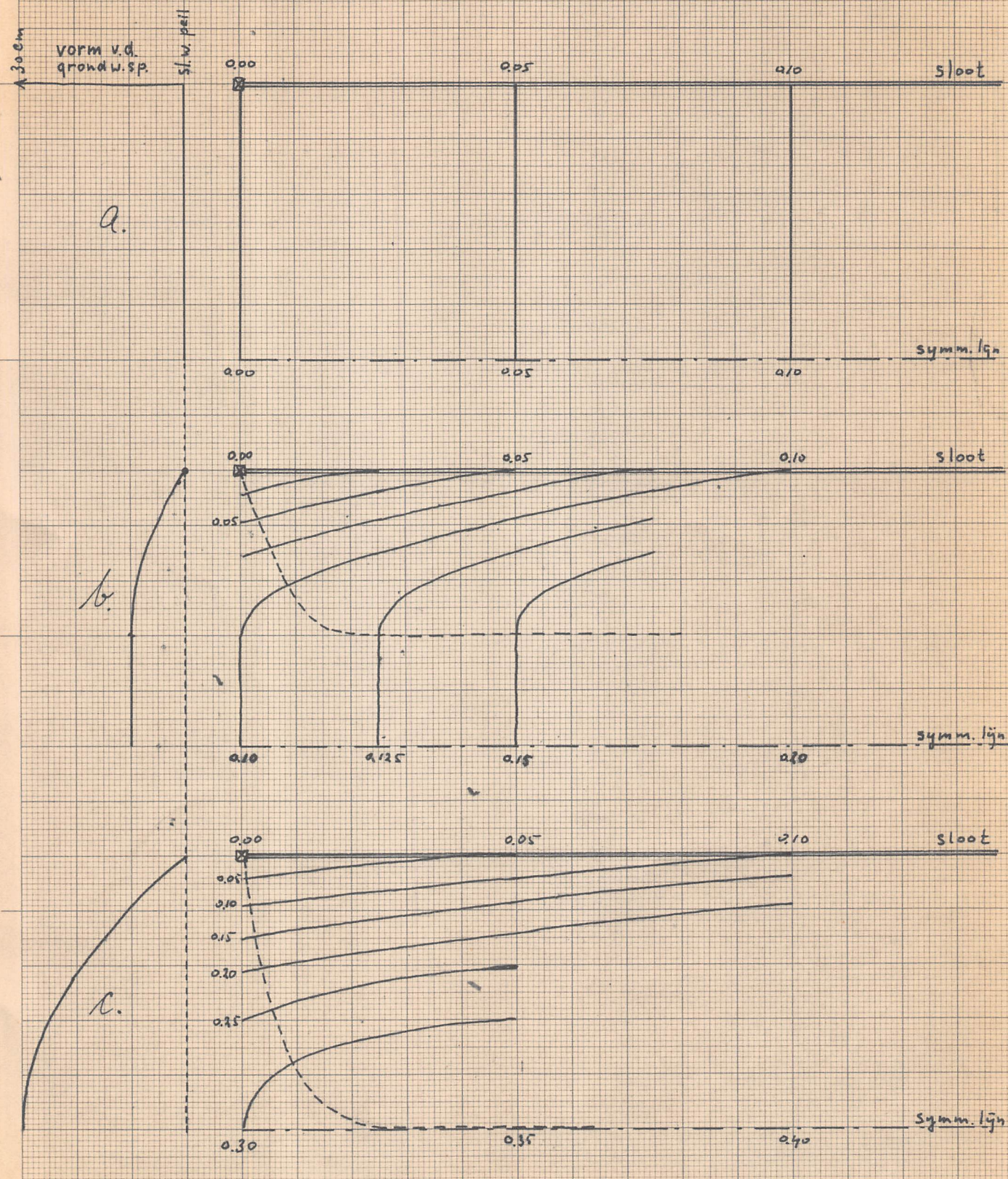
Figuur 15. Het theoretische isohypsenverloop onder verschillende omstandigheden:

- a. geen afvoer ; sloot droog ; isohypsen evenwijdig aan elkaar en $\perp$ helling
- b. enige tijd na plotselinge regenval of daling slootpeil
- c. gedurende hoge afvoer (bijv. maatgevende afvoer)

de oppervlakte van het str.geb. neemt toe van Oha (a) tot maximaal (c)

Gegeven zijn: maaiveldshelling en slootwaterverhang in dezelfde richting en even groot (10^{-3}) en een parabolische vorm van de grondwaterspiegel naar sloot

———— isohypsen
 ----- grens

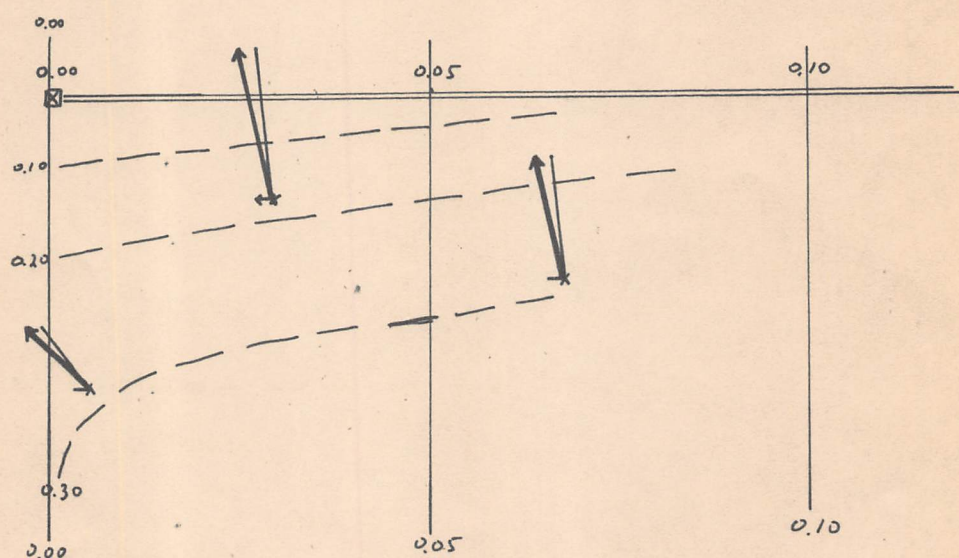


Figuur 16. De gemiddelde richting waarin een waterdeeltje zich beweegt.

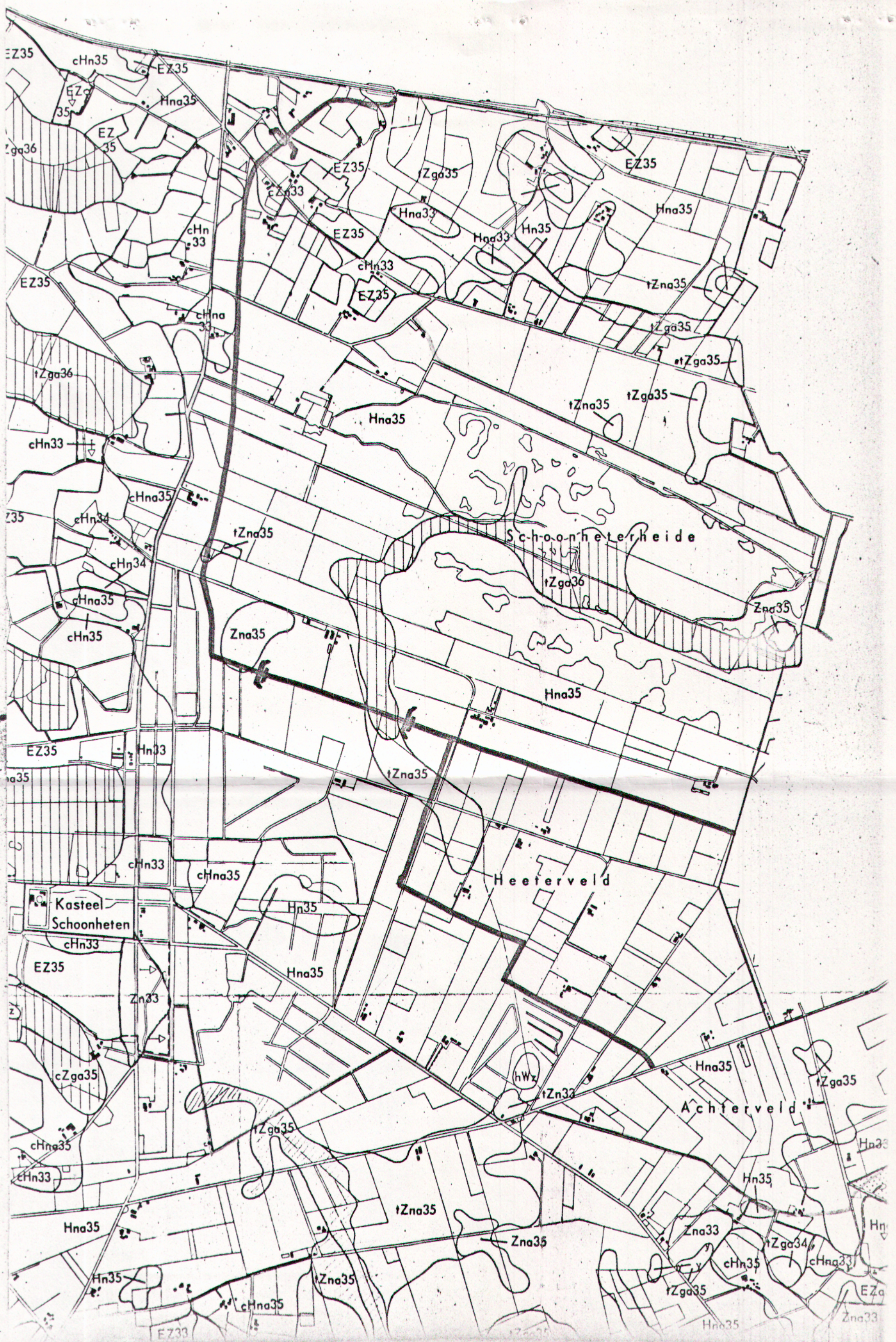
Tijdens "uitgezakte" toestand werkt er op een waterdeeltje in de richting loodrecht op de evenwijdige isohypsen een drukgradient van gelijke grootte als de helling van de grondwaterspiegel (ongeveer 10^{-3}).

Tijdens maximale afvoeren werken er drukgradienten in een richting loodrecht op de isohypsen in de orde van grootte van 10^{-2} .

Aannemende dat de doorlatendheid in alle richtingen gelijk is en de beide extreme situaties even vaak voorkomen en er tussen deze situaties een statistisch normale verdeling bestaat, dan wordt de overheersende gemiddelde bewegingsrichting bepaald door de resultante van de drukgradienten in beide situaties, zie de figuur. Dit zal tevens de richting van de stroombaan op die plaats vormen.



- isohypsen in "uitgezakte" toestand (figuur 15a)
 - - - - isohypsen tijdens maatgevende afvoer (fig. 15 c)



Kopie

INSTITUUT VOOR AARDWETENSCHAPPEN
DER VRIJE UNIVERSITEIT

AMSTERDAM-11 10 april 1969
De Boelelaan 1085
Postbus 7161
Tel. 020-730944 482446

De Weledelgestrenge Heer
Ir. B.A. Herfst,
Hydraulica Laboratorium,
Landbouwhogeschool,
Duiivendaal 1,
W a g e n i n g e n

Geachte Heer Herfst,

Hierbij doe ik U de resultaten toekomen van de pompproef die wij in de omgeving van Raalte voor U hebben uitgevoerd.

Profielopbouw

Van maaiveld tot ca. 3 m diepte bevindt zich een pakket fijn, slibrijk zand. Hieronder volgt een pakket bestaande uit matig fijn tot middel grof zand, waarin plaatselijk zowel grindrijke als slibhoudende horizonten voorkomen. De boringen die ten behoeve van de pompproef zijn uitgevoerd reiken in dit grove pakket tot 17,5 m beneden maaiveld. Op grond van diepe boringen die eerder in deze omgeving zijn gezet (o.a. Raalte) mag verwacht worden dat dit grove pakket op een diepte van ca. 30 m begrensd wordt door slecht doorlatende glaciale kleien.

Hydrologische situatie

In de periode dat de pompproef is uitgevoerd was de stijghoogte van het ondiepe grondwater (filterdiepte 2 m beneden maaiveld) ca. 15 cm hoger dan de stijghoogte van het diepe grondwater (filterdiepte ca. 12 m beneden maaiveld). Er vond dus infiltratie plaats. Verder bevonden zich plassen op het maaiveld.

Pompproef

Het pompfilter strekte zich uit van 12 m tot 17 m beneden maaiveld. Op afstanden van 15 m en 45 m van de pompput bevonden zich waarmingsbuizen met filters op ca. 10 m - m.v. en ca. 2 m - m.v. Bij een pompdebiet van 275 m³/dag waren de veranderingen in de stijghoogten van het grondwater als volgt:

	diep	ondiep
15 m van de pompput	10 cm	7 cm
45 m van de pompput	2,5 cm	1,5 cm

Uit bovenstaande gegevens blijkt dat aan het einde van de proef een hydrologische situatie heerste die inligt tussen een toestand waarbij zowel het diepe als het ondiepe grondwater op gelijke wijze reageren en een toestand waarbij ondanks veranderingen in de stijghoogte van het diepe grondwater geen veranderingen in de stand van

het freatisch vlak optreden.

Voor het eerstgenoemde geval geldt:

$$h_r = \frac{Q}{2\pi kD} \ln r + C \quad (\text{Thiem}).$$

Hierin zijn:

h_r de grondwaterstandsverandering in m in het water-
voerende pakket op een afstand van r m van de pompput;

Q het debiet van de pompput (m^3/dag);

kD de doorlatendheid van het watervoerende pakket (m^2/dag).

Toepassing van deze formule op de onderhavige gegevens levert
een kD-waarde van ca. $900 \text{ m}^2/\text{dag}$.

Voor het tweede geval geldt:

$$h_r = \frac{Q}{2\pi kD} k_0 \left(\frac{r}{\lambda} \right) \quad (\text{De Glee}).$$

Hierin zijn:

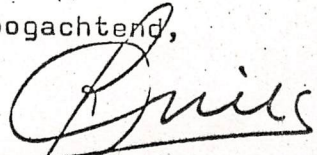
k_0 een Besselse functie van de 1e soort;

$\lambda = \sqrt{kDc}$ de spreidingslengte in m in verband met de
vertikale weerstand c van het afdekkende pakket.

Toepassing van deze formule levert een kD-waarde van $700 \text{ m}^2/\text{dag}$
en een spreidingslengte van 45 m. Uit deze kleine waarde van de
spreidingslengte blijkt dat het afdekkende pakket tijdens de
proef weinig weerstand tegen verticale uitwisseling van water
heeft geboden, zodat de eerste formule waarschijnlijk de werke-
lijke situatie het best weergeeft. Aangenomen mag worden dat de
doorlatendheid van het watervoerende pakket gemiddeld zal liggen
tussen 800 en $1000 \text{ m}^2/\text{dag}$. Dit betekent een gemiddelde doorlaat-
factor van 30 à 50 m/dag.

Ik hoop U hiermee van dienst geweest te zijn.

Hoogachtend,


(Drs. J.J. de Vries)