NOTA 710 17 november 1972

)OR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING
WAGENINGEN

NN31545.0710

EEN ONDERZOEK NAAR DE GROOTTE VAN DE WEERSTANDEN IN DE SLOOTBODEM BIJ INFILTRATIE VANUIT EEN SLOOT

H. Fonck

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

ISN= 21649-02

I N H O U D

	blz.
INLEIDING	1
OPZET	1
PRAKTISCHE MOEILIJKHEDEN	2
THEORETISCHE ACHTERGROND	4
BEWERKING VAN DE GEGEVENS	6
kD-WAARDE	27
CONCLUSIE	28
STUWEN	30
AANWIJZINGEN VOOR EEN HERHALING	32
ANDERE METHODEN	33

INLEIDING

In de herfst van 1971 zijn in het waterschap Salland op een aantal proefplekken metingen verricht die ten doel hadden een inzicht te verkrijgen in de mate waarin infiltratie plaats heeft vanuit een watervoerende leiding wanneer de grondwaterspiegel in de aangrenzende percelen lager is dan het slootpeil. Dit inzicht was onder andere nodig om te kunnen bepalen hoeveel water uit deze waterschapsleidingen naar de ondergrond wegzakt, wanneer op grond van één van de alternatieve plannen om in de toekomst het dreigende watertekort in het industriegebied van Twente op te heffen, de waterleidingen in Salland een verhoogd peil zouden krijgen.

OPZET

Oorspronkelijk waren 21 proefplekken uitgezocht. Hiervan zijn om verschillende practische redenen 4 plekken niet bemonsterd of doorgemeten. Daarentegen zijn in een leiding van het aangrenzende waterschap Bezuiden de Vecht drie plekken extra onderzocht, waardoor in totaal 20 proefplekken zijn onderzocht. Hiervan zijn 10 plekken in de nabijheid van stuwen gelegen. Dit had tot gevolg, dat op deze plaatsen extra bepalingen zijn verricht vlak boven en vlak beneden de stuw, teneinde een inzicht te verkrijgen in de onderloopsheid van de stuw, dat wil zeggen in de mate waarin om het stuwlichaam heen door de grond watertransport plaats heeft van het bovenste pand van de leiding naar het lager gelegen pand.

De veldmetingen bestonden uit drie onderdelen.

1. I n f i l t r a t i e m e t i n g e n. Deze werden verricht met de kwelmeter, zoals deze door B. VAN DER WEERD is ontwikkeld.

2. G r o n d w a t e r s t a n d s w a a r n e m i n g e n.
Ter plaatse van deze infiltratie metingen werden (meestal tweezijdig) loodrecht op de leiding grondwaterstandswaarnemingen in raaien verricht teneinde een inzicht te verkrijgen in de grootte van het potentiaal verschil dat heerste tussen sloot- en grondwaterstand, en dat de mate van infiltratie bewerkstelligde die werd waargenomen.

3. D o o r l a t e n d h e i d s m e t i n g e n. Deze werden op het punt van de infiltratie meetplaatsen gedaan door ongeroerde monsters in de slootbodem te steken in p.v.c. buizen van ± 50 cm lengte en ± 5 cm doorsnede. Deze monsters werden gestoken met een door B. VAN DER WEERD ontwikkeld steekapparaat, gebaseerd op een reeds eerder door K. WIT toegepast principe. De monsters werden in het laboratorium van het ICW doorgemeten in een meetopstelling, welke door K. WIT was opgebouwd volgens een door hemzelf ontwikkeld principe. De meetresultaten uit deze steekmonsters werden weergegeven voor vier lagen namelijk 0-5 cm, 5-15 cm, 15-25 cm en 25-35 cm. Zowel de infiltratiemeting met de kwelmeters als de monstername werden vrijwel steeds in duplo verricht.

PRAKTISCHE MOEILIJKHEDEN

Hoewel de methode van doorlatendheidsbepaling zowel met de kwelmeter als met het steekapparaat niet nieuw zijn, was toch te verwachten, dat zich in Salland moeilijkheden zouden voordoen, die men voorheen (in Zeeland) niet ondervonden had omdat deze inhaerent waren aan het te bemonsteren of door te meten bodemprofiel. Inderdaad deed zich bij de bemonstering de moeilijkheid voor, dat het harde grove ondergrondszand het noodzakelijk maakte dat het steekapparaat ten dele in de grond werd geslagen. Afgezien van het feit dat niet bekend is welke invloed dit slaan op het monster zelf heeft, had dit tot gevolg dat de onderzijde van de monsterbuis gedeformeerd werd. Voor de opstelling van de buis in de meetapparatuur werd de buis dan weer rond gemaakt. Dat hiermede het ongeroerd zijn van het monster in het geding kwam, behoeft geen betoog. Daarom is al gauw overgegaan

op de toepassing van dikwandiger buizen namelijk 2 mm en hierna behoorde althans dit euvel tot het verleden.

Een tweede moeilijkheid die zich heeft voorgedaan was het bewaren van de steekmonsters, voordat ze konden worden doorgemeten. De eerste serie monsters is enige etmalen opgeslagen in een koelkast teneinde het organisch leven zoveel mogelijk tot stilstand te brengen. Hierna bleek, dat de sterk met organisch materiaal vermengde bovenlaag ter dikte van $\pm$ 5 cm was ingedroogd zodat er geen aansluiting aan de buiswand meer bestond. Behalve, dat deze serie steekmonsters opnieuw is genomen, zijn de daarna binnenkomende monsters niet meer in de koelkast, doch in een tank onder water opgeslagen. Toch is nog niet bekend, hoe snel deze indroging optreedt. Het is heel goed mogelijk, dat van een aantal monsters de indroging reeds heeft ingezet, doch nog niet zichtbaar is. De uit zo'n geval verkregen meetresultaten zouden dan minder betrouwbaar kunnen zijn. Voor een voortzetting van deze monstername lijkt het daarom wenselijk dat direct na de monstername vervoer in een gesloten tank onder water kan plaatshebben. Daarbij zal het gewenst, misschien wel vereist zijn, dat de steekmonsters steeds, zowel bij vervoer als bij het klaarmaken voor het doormeten verticaal gehouden worden. Wanneer een bewerking in horizontale toestand plaats heeft bestaat er geen enkele zekerheid, dat het, meestal modderige, bovenste deel van het monster niet gaat uitvloeien waardoor de te meten doorlatendheid natuurlijk een totaal andere waarde kan gaan krijgen.

Ook bij het werken met de kwelmeter heeft zich soms een probleem voorgedaan. Dit betreft voornamelijk het onder water koppelen van de ballon aan de kraan. Vooral in troebel water moet dit vaak op de tast geschieden, waardoor de ballon wel eens los schiet. Hoewel door het ontbreken van drukverschillen binnen en buiten de ballon de waarschijnlijkheid van in- of uitstroming van water niet groot is, ontbreekt toch de z e k e r h e i d daaromtrent. Het lijkt evenwel mogelijk, om zowel kraan als ballon reeds van te voren te voorzien van een kunststof snelkoppeling van het type dat bijvoorbeeld voor tuinslangen en dergelijke in de handel is. Het onder water koppelen is dan nog slechts een simpel werkje, dat met de grootst mogelijke zekerheid op de tast gebeuren kan.

THEORETISCHE ACHTERGROND

De weerstand welke bij de infiltratie wordt ondervonden, is opgebouwd uit in hoofdzaak twee componenten.

1. De doorlatendheid van het bodemprofiel zoals dat aanwezig was, voordat de leiding gegraven werd. De doorlatendheid van de laag vlak onder de eigenlijke slootbodem wordt in hoofdzaak bepaald door de doorlatendheid, zoals die oorspronkelijk aanwezig was. Als het profiel van een laagsgewijze verschillende doorlatendheid is, is de mate waarin de leiding in het profiel snijdt, in hoge mate bepalend voor de weerstand, die de infiltratie, vlak onder de bodem zal ondervinden. Bij homogeen doorlatende profielen doet dat er minder toe. Deze doorlatendheid is, binnen zekere grenzen, niet aan grote veranderingen onderhevig. Wel is het mogelijk dat bij infiltratie , onder invloed van inspoeling van slib en organisch materiaal, de oorspronkelijke doorlatendheid wordt verkleind. De taak van dit onderzoek is het juist, daaromtrent enig inzicht te verkrijgen.
2. Op bodem en talud van de sloot ontstaat een sterk slibhoudend organisch laagje dat een doorlatendheid bezit, waarvan nog weinig bekend is. Waarschijnlijk is evenwel, dat de doorlatendheid van dit laagje veel meer aan verandering onderhevig is dan dat van het ongeroerde bodemprofiel daaronder. Dit is het gevolg van het feit dat dit laagje voortdurend in opbouw is en weer wordt afgebroken. Ten eerste zal het groeiseizoen hier een rol in spelen. Afstervende plantenresten in herfst en winter zullen wellicht meer belemmerend werken dan nog groeiende planten. Ten tweede kan het onderhoud van de sloot een rol spelen. Zowel mechanische reiniging als ook chemisch onderhoud zullen de weerstand van het organische laagje zowel in positieve als in negatieve zin kunnen beïnvloeden. Tenslotte zal ook het periodiek droogstaan van een leiding de doorlatendheid van het organische deklaagje sterk kunnen wijzigen, zoals reeds bij de indroging van de steekmonsters is gebleken.

Was reeds een sterke variabiliteit in de meetresultaten van vooral de steekmonsters en in mindere mate van de kwelmeters te ver-

wachten als gevolg van praktische onvolkomenheden, een minstens even grote variabiliteit was te verwachten, omdat de doorlatendheid van de slootbodem nu éénmaal van plek tot plek sterk kan variëren.
Weliswaar zijn alle bepalingen in duplo gedaan, doch dit is misschien niet voldoende om de aanwezige variabiliteit terug te dringen. Een apart op te zetten elementair onderzoek zou nodig zijn om een inzicht in de variabiliteit van de slootbodem doorlatendheid te krijgen, zowel naar tijd als naar plaats.
Bij het confronteren van de uit infiltratiemetingen verkregen doorlatendheden met de meetresultaten van de steekmonsters kunnen zich verschillende gevallen voordoen:

1. Kwelmeter geeft hoge K, steekmonster geeft lage K
2. Kwelmeter geeft lage K, steekmonster geeft hoge K

Hierbij treedt nog een differentiatie op, omdat de steekmonsters als resultaat vier metingen geven, namelijk in 4 verschillende lagen. Hierdoor kunnen veel gecompliceerdere gevallen optreden, namelijk

1. Kwelmeter → hoge K Steekmonster → 4 lage K
   Steekmonster → 1 hoge K + 3 lage K
   Steekmonster → 2 hoge K + 2 lage K
   Steekmonster → 3 hoge K + 1 lage K
   Steekmonster → 4 hoge K
2. Het omgekeerde.

Het is duidelijk, dat hierin allerlei variaties kunnen optreden en dat ook doorlatendheden in één meting kunnen optreden, die tot de middengroep behoren en evenveel van de lage als van de hoge K-waarden afwijken. Duidelijk moet voor ogen staan, dat nooit twee metingen op precies dezelfde plaats hebben plaatsgehad en dat twee metingen, al zijn ze nog zo dicht bij elkaar verricht, reeds een deel van in de bodemdoorlatendheid aanwezige variabiliteit impliceren. Het is evenwel nooit bekend of ze slechts een deel van deze variabiliteit weergeven of de uiterste. Het gaat er evenwel in eerste instantie om uit het aanwezige materiaal het meest betrouwbare deel te lichten. Op grond van bepalingsfouten kan een deel van de uitkomsten worden

geëlimineerd. Hoe dat kan geschieden, komt later aan de orde. Bij een voortzetting van dit onderzoek zal het streven er vooral op gericht moeten zijn de variaties in de gevonden meetresultaten als gevolg van de variabiliteit in de bodemdoorlatendheid te scheiden van die als gevolg van bepalingsfouten. Dit kan op verschillende manieren geschieden:

1. V a r i a b i l i t e i t i n b o d e m d o o r l a t e n d h e i d
   Deze kan worden vastgesteld door metingen in veelvoud te verrichten. Het aantal herhalingen, dat moet worden gedaan zal tijdens de meting moeten blijken.
2. Aangezien de oorzaak van de bepalingsfout, die het meest voorkomt, meestal is gelegen in het niet goed aansluiten van het monster aan de wand van de monsterbuis, zal een dergelijke fout als gevolg van lekkage zich het meest wreken bij monsters waar de omtrek (waarlangs lekkage kan optreden) groot is ten opzichte van de oppervlakte, dat wil zeggen bij monsters met een kleine doorsnede. Dit geldt eveneens voor toevallige doorlatendheidsvergroting als gevolg van scheuren en wormgangen. De oplossing hiervan moet gezocht worden in verkleining van de omtrek ten opzichte van het oppervlak dat wil zeggen in vergroting van de monsterdoorsnede, daar immers bij doorsnedevergroting de omtrek evenredig toeneemt, doch het oppervlak kwadratisch. Een bijkomend voordeel voor het gebruik van grotere kwelmeters zou zijn, dat men een integrale meting over een groter oppervlak verkrijgt en niet meer zo zeer afhankelijk is van het toeval waar een doorlatendheidsmeting wordt genomen. Een vergroting van de monster- of meetoppervlakte zal zeker praktische problemen met zich brengen, maar deze kunnen niet opwegen tegen de vergrote nauwkeurigheid, die aldus verkregen kan worden.

BEWERKING VAN DE GEGEVENS

Aanvankelijk is getracht tussen de verschillende gegevens verband te vinden op grond van het principe: doorlatendheid x drukhoogte = infiltratie. In de figurenserie IA tot en met ID is dit tot uiting gebracht.

DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN MET
KWELMETER

LAAG 0-5 CM.

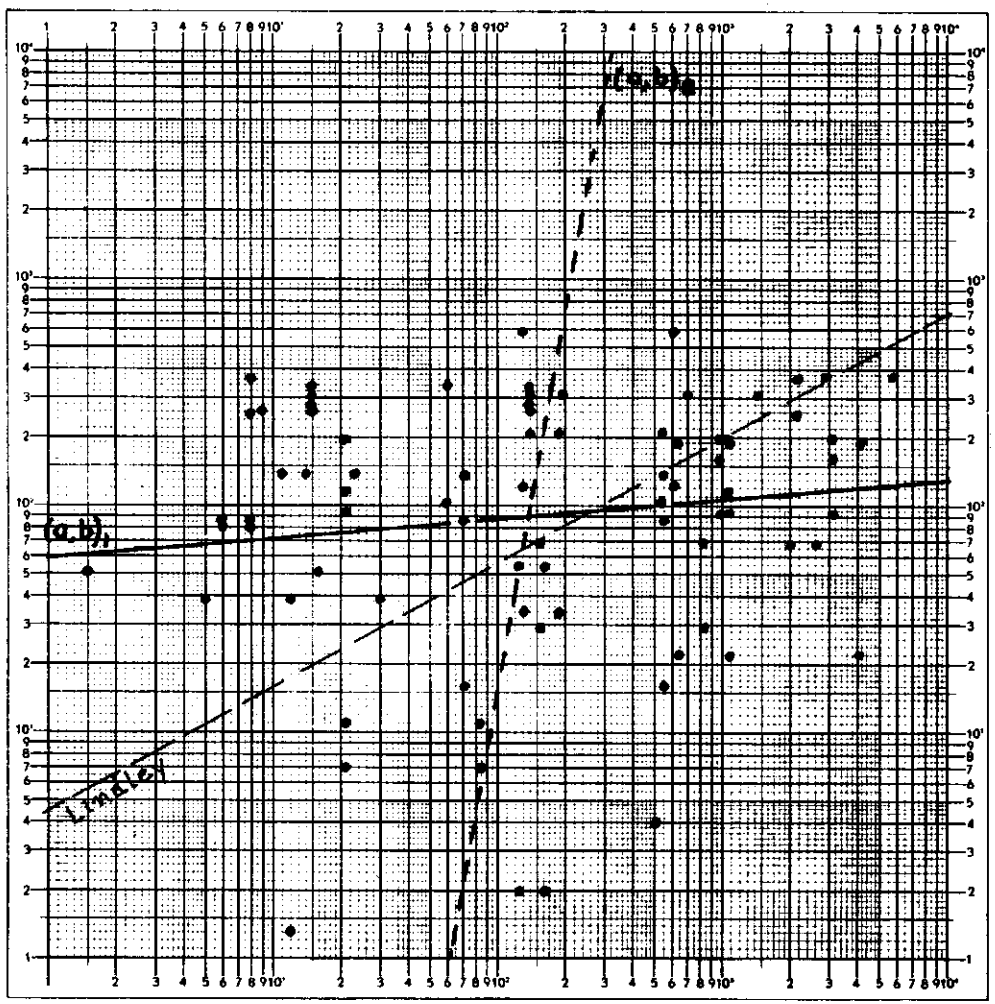


FIG I A

REGRESSIELIJNEN:

$\log y = a_1 \log x + b_1$

$a_1 = 0{,}07671$

$b_1 = 0{,}87109$

$\log x = a_2 \log y + b_2$

$a_2 = 0{,}1062$

$b_2 = 0{,}9836$

CORRELATIE-
COEFFICIENT:
0,11952

POTENTIAALVERSCHIL in CM
MAAL
DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN IN
STEEKMONSTERS

∞

DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN MET
KWELMETER

LAAG 5-15 CM.

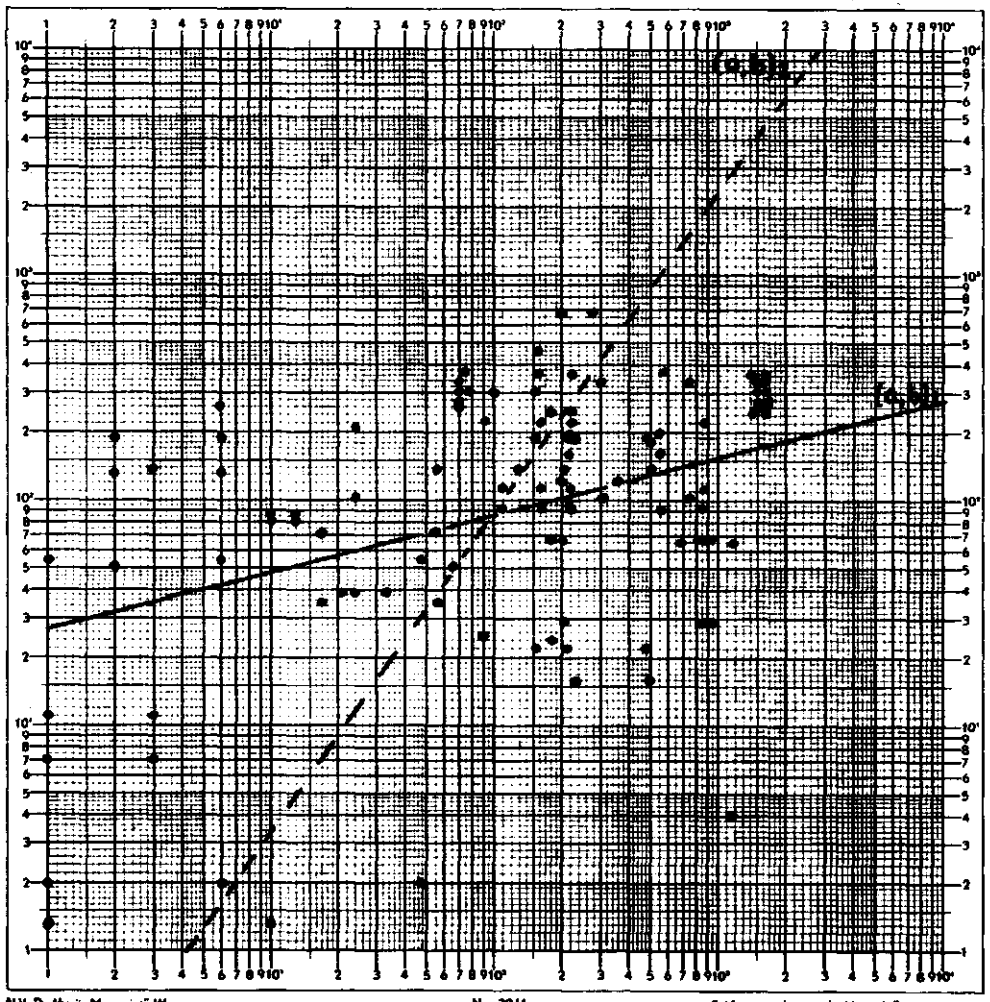


FIG IB

REGRESSIELIJNEN:

LOG $y = a_1 \log x + b_1$

$a_1 = 0{,}25897$

$b_1 = 0{,}60786$

LOG $x = a_2 \log y + b_2$

$a_2 = 0{,}7102$

$b_2 = 0{,}3371$

CORRELATIE-
COEFFICIENT:
0,42886

POTENTIAALVERSCHIL in CM
NAAR
DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN IN
STEEKMONSTERS

DOORLATENDHEID IN CM/ETM
GEMETEN MET
KWELMETER

LAAG 15-25 CM.

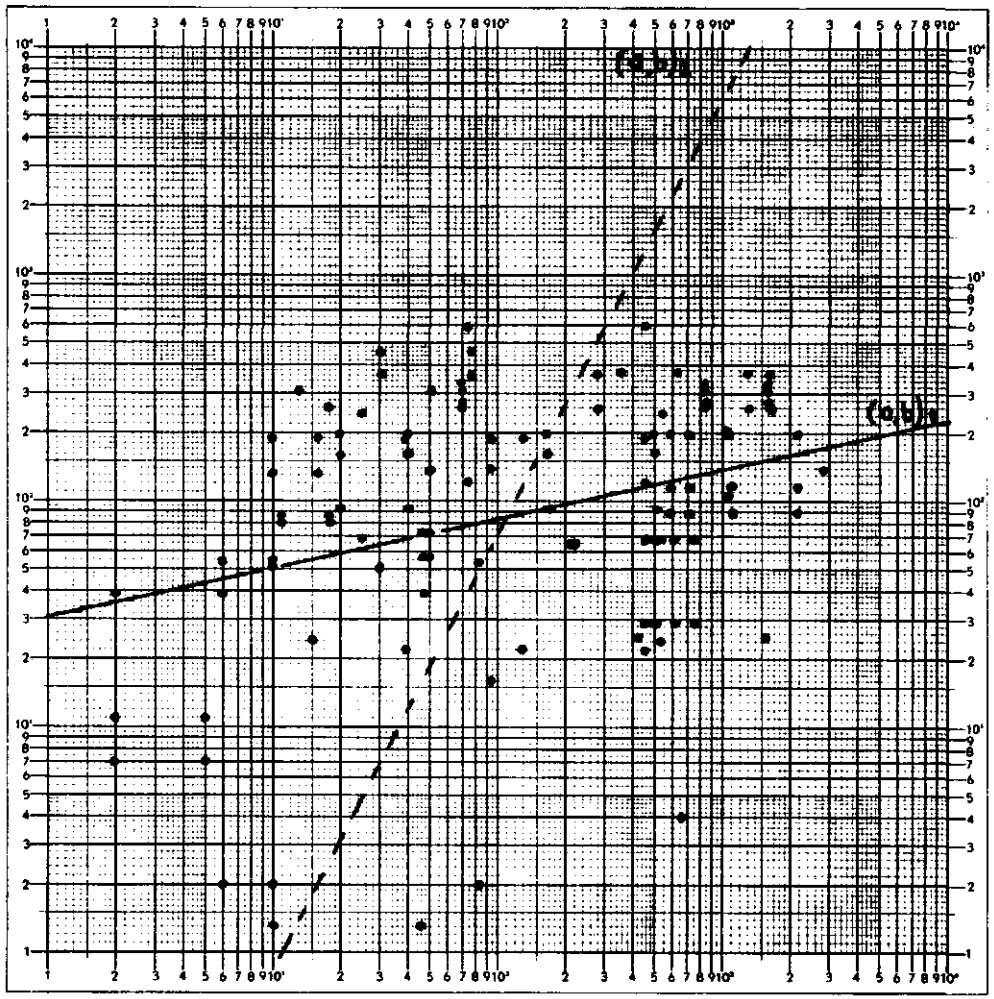


FIG IC

REGRESSIELIJNEN:

$\log y = a_1 \log x + b_1$

$a_1 = 0{,}22330$

$b_1 = 0{,}71047$

$\log x = a_2 \log y + b_2$

$a_2 = 0{,}5275$

$b_2 = 0{,}5682$

CORRELATIE-
COEFFICIENT:
0,34326

POTENTIAALVERSCHIL in CM
MAAL
DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN IN
STEEKMONSTERS

DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN MET
KWELMETER

LAAG 25-35 CM.

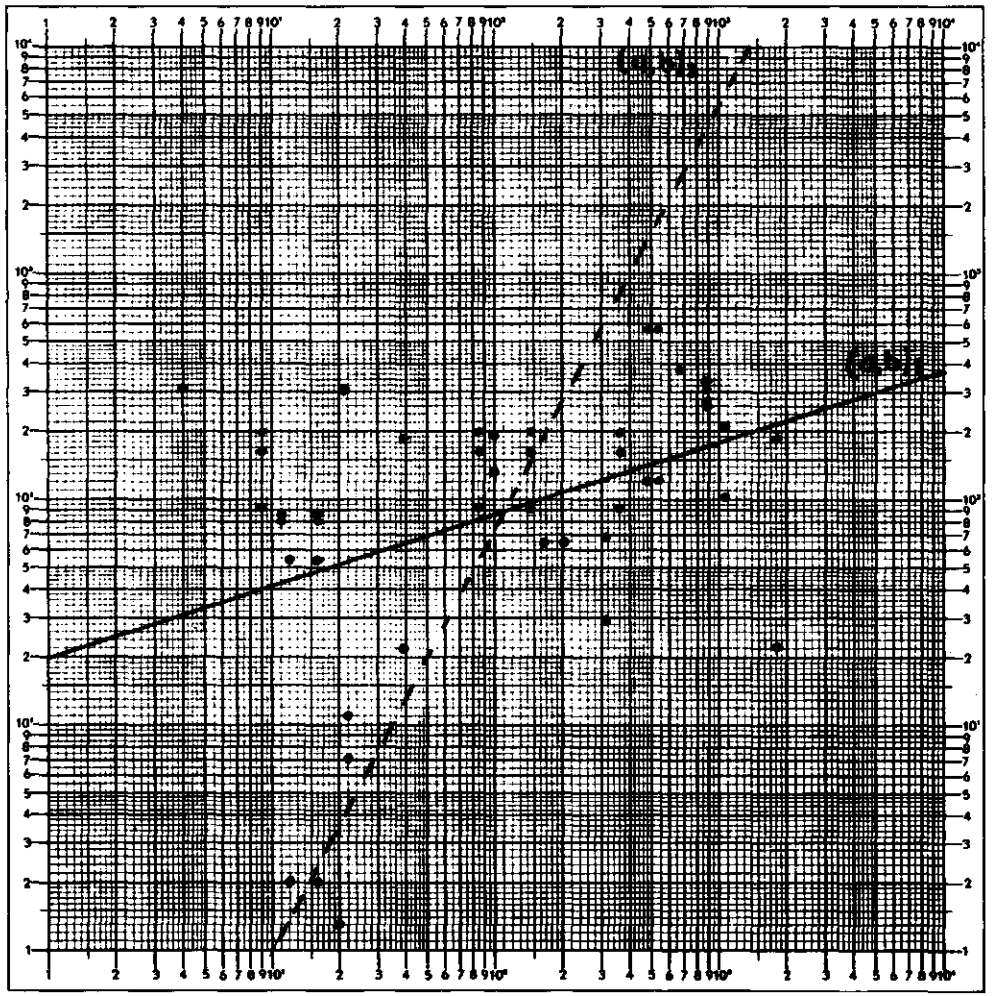


FIG 1 D

REGRESSIELIJNEN:

$\log y = a_1 \log x + b_1$

$a_1 = 0{,}31454$

$b_1 = 0{,}62600$

$\log x = a_2 \log y + b_2$

$a_2 = 0{,}4950$

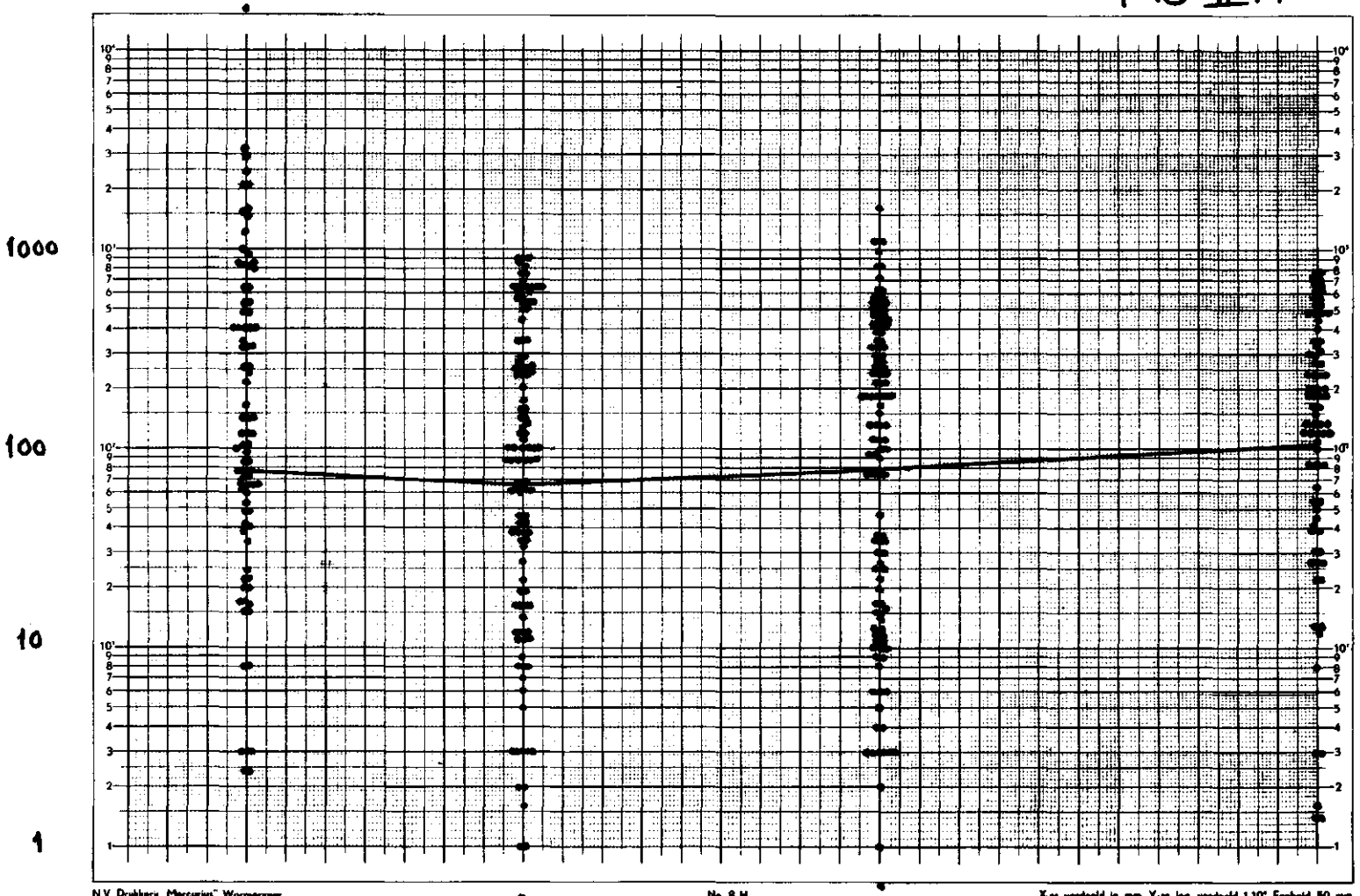
$b_2 = 0{,}5510$

CORRELATIE-
COEFFICIENT:
0,39458

POTENTIAALVERSCHIL in CM.
MAAL
DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN IN
STEEKMONSTERS

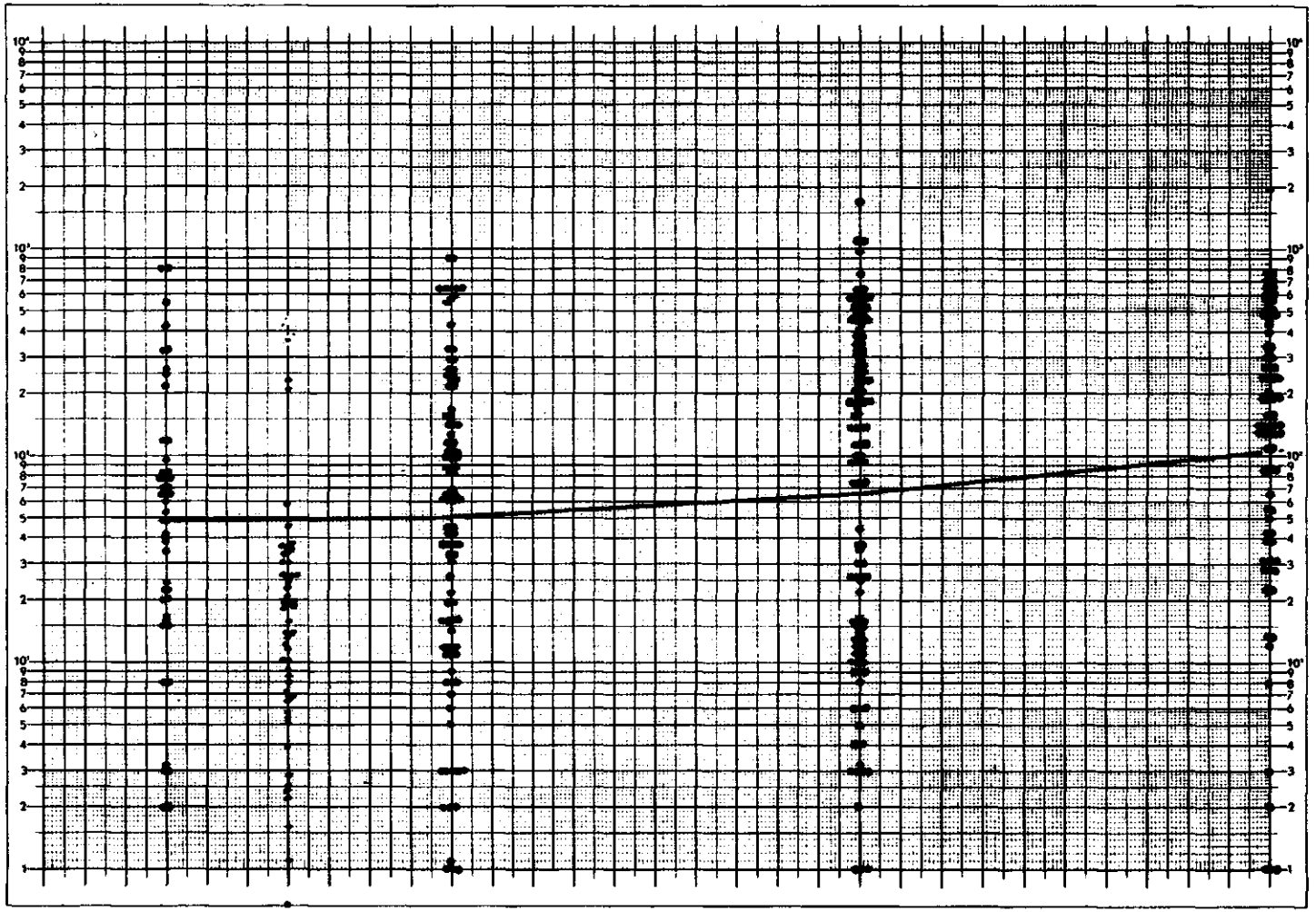
DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN in STEEKMONSTERS

FIG II A



DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN IN STEEKMONSTERS

FIG II B



De spreiding blijkt zo groot, dat het onontkoombaar lijkt het materiaal eerst op betrouwbaarheid te schiften, een conclusie, waaraan overigens grond gegeven wordt door de aanwezigheid van berekende regressielijnen en correlatiecoëfficienten.

Een eerste poging daartoe is verricht in de figuren IIA en IIB. Hierin is de gemeten doorlatendheid in de steekmonsters uitgezet tegen de diepte van bemonstering onder de slootbodem. Aangezien de diepst bemonsterde laag steeds uit grof rivierzand bestond en zich naar boven toe steeds meer de invloed van het organisch materiaal van het bodemlaagje manifesteerde zou men mogen verwachten dat de doorlatendheid van beneden naar boven toe af zou nemen. In fig. IIA is evenwel een toename van de doorlatendheid in het eerste laagje (0-5 cm) te zien. Dit kan het gevolg zijn van het feit, dat hierin veel monsters voorkomen, die door een verkeerde bewaring waren ingedroogd zodat lekkage langs de monsterwand optrad. In fig. IIB zijn althans de meetresultaten weggelaten van de monsters die visueel duidelijke kentekenen droegen van indroging. Het doorlatendheidsverloop wordt nu plausibeler. De moeilijkheid is evenwel dat er steeds nog een serie monsters zijn, die weliswaar niet op visuele kenmerken kunnen worden afgekeurd, doch waarin de indroging vermoedelijk reeds is begonnen, zodat doorlatendheidsvergroting als gevolg van lekkage kan zijn opgetreden. Een deel van de spreiding in doorlatendheid ~~meet~~ zal vermoedelijk op rekening van dit verschijnsel geschreven moeten worden. Een voorlopige conclusie op grond van fig. IIB zou kunnen luiden, dat de gemiddelde verkleining van de doorlatendheid van de ondergrond naar de slootbodem toe inderdaad wijst op een zeefwerking van het organische sliblaagje op de bodem, hoewel de aangetroffen doorlatendheden (± 10-200 cm/etm) op zichzelf nog niet op de aanwezigheid van een hoge intreeweerstand wijzen. De doorlatendheid in de laag op gem. 3 cm diepte blijkt gemiddeld slechts de helft te bedragen van die op 30 cm diepte.

Teneinde aan de berekening een vastere basis te kunnen geven, is vervolgens van elke meting de radiale weerstand berekend volgens richtlijnen, door ERNST verstrekt.

Voor leidingen met een overwegend halfronde bodemvorm en grotere waterdiepte is daarbij gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$W = \frac{1}{\pi K} \ln \frac{4D_1}{\pi r_o} \qquad (1)$$

waarbij W = radiale weerstand
D_1 = diepte van de ondoorlatende laag
K = doorlatendheid
r_o = straal van het natte oppervlak

Voor overwegend platte bodemvormen met geringe waterdiepten gaat deze formule over in:

$$W = \frac{1}{\pi K} \ln \frac{16D_1}{\pi Bw} \qquad (2)$$

waarbij Bw = de leidingbreedte op de waterspiegel

Hierna is berekend

$$q_o = P \times V_o \qquad (3)$$

waarin q_o = infiltratie over de gehele slootbreedte
V_o = de infiltratie, verkregen uit de kwelmeters
P = de natte omtrek van de leiding

Vervolgens kan de radiale weerstand worden berekend uit:

$$W = \frac{\Delta h}{q_o} \qquad (4)$$

waarin Δh = drukverschil tussen sloot- en grondwaterstand

Tenslotte kan K worden berekend uit:

$$K = \frac{W\, q_o}{\Delta h} \qquad (5)$$

In de figurenserie IIIA tot en met IIIC zijn de aldus berekende K-waarden uitgezet tegen de gemeten doorlatendheden per laag. Ook van deze figurenserie zijn de berekende regressielijnen ingetekend en de correllatiecoëfficiënten berekend.

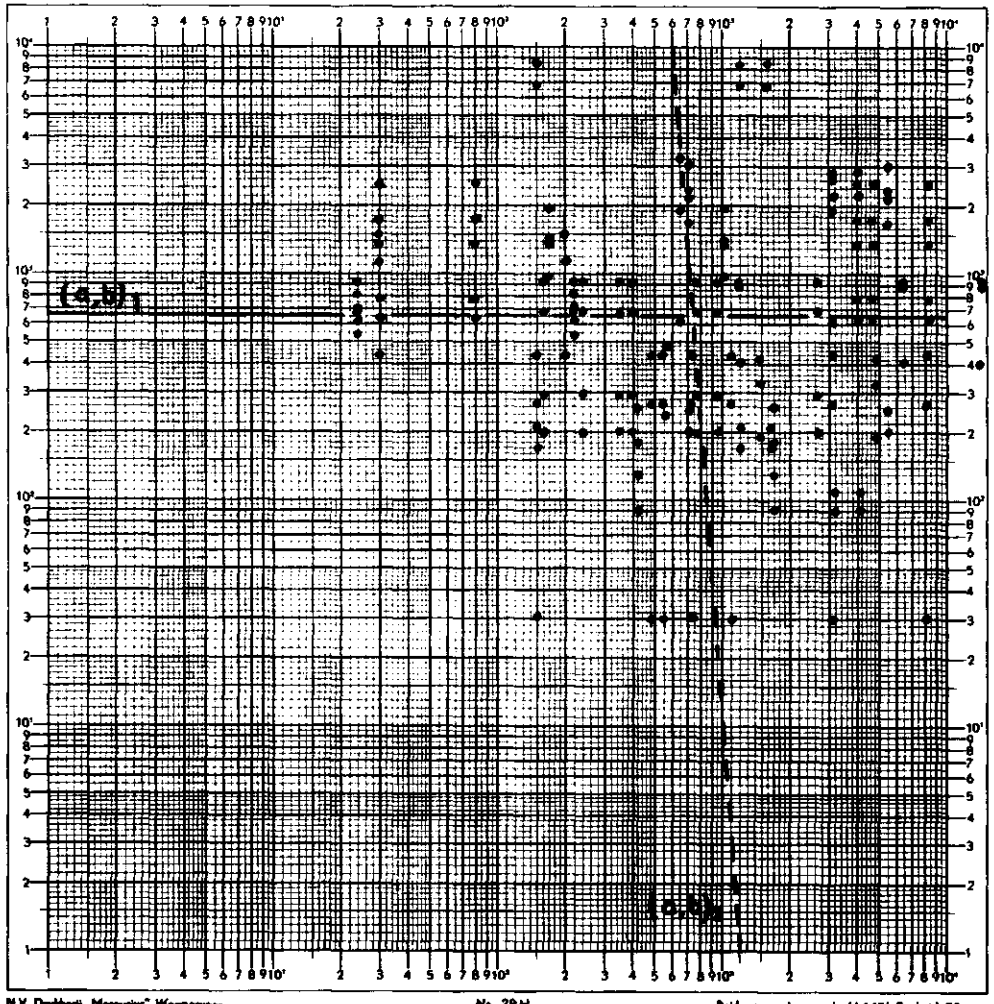
DOORLATENDHEID in CM/ETM
BEREKEND
VOLGENS:

$$K = \frac{\frac{1}{\pi k} \ln \frac{4 D_1}{\pi R_0}}{W_{rad}}$$

of

$$K = \frac{\frac{1}{\pi k} \ln \frac{16 D_1}{\pi B_w}}{W_{rad}}$$

FIG III A



LAAG 0-5 CM.

REGRESSIELIJNEN:

LOG y = a_1 LOG x + b_1

a_1 = − 0,01182

b_1 = 1,0698

LOG x = a_2 LOG y + b_2

a_2 = − 0,0544

b_2 = 2,0058

CORRELATIE-
COEFFICIENT:
− 0,0162

DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN in
STEEKMONSTERS

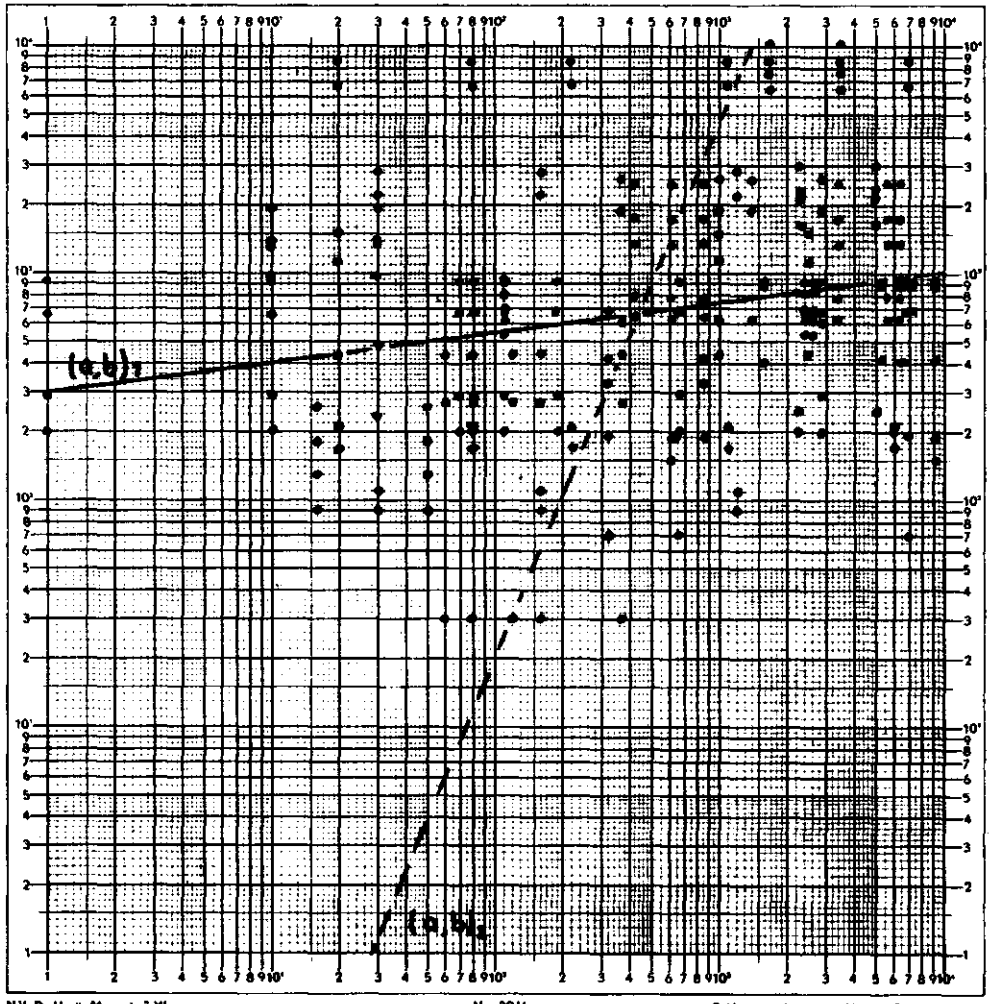
DOORLATENDHEID in CM/ETM
BEREKEND
VOLGENS:

$$K = \frac{\frac{1}{\pi \lambda} \ln \frac{4 D_1}{\pi R_o}}{W_{rad}}$$

of

$$K = \frac{\frac{1}{\pi \lambda} \ln \frac{16 D_1}{\pi B_w}}{W_{rad}}$$

FIG III B



LAAG 5 - 15 CM

REGRESSIELIJNEN:

LOG y = a_1 LOG x + b_1

a_1 = 0,12797

b_1 = 1,6365

LOG x = a_2 LOG y + b_2

a_2 = 0,4265

b_2 = 0,0918

CORRELATIE-COEFFICIENT:
0,2120

DOORLATENDHEID in CM/ETM GEMETEN in STEEKMONSTERS

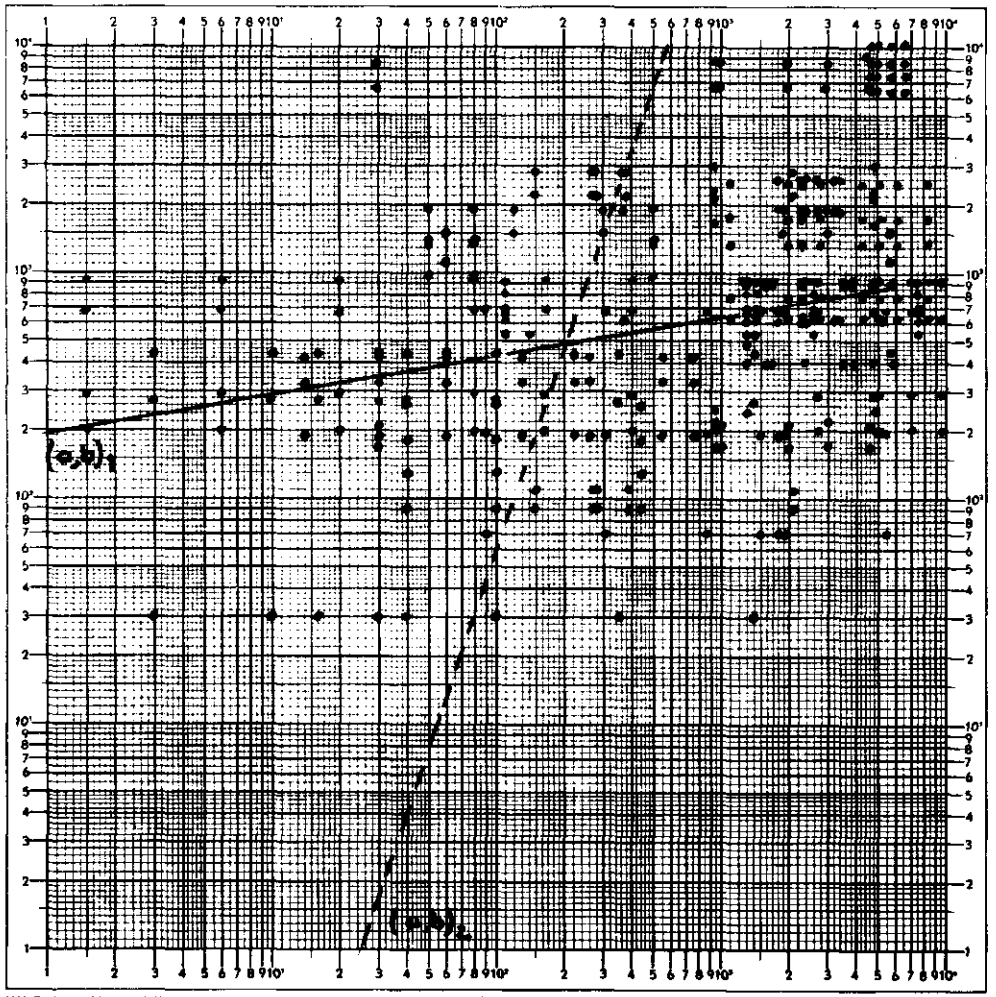
DOORLATENDHEID in CM/ETM
BEREKEND
VOLGENS:

$$K = \frac{\frac{1}{\pi K} \ln \frac{4 D_1}{\pi R_0}}{W_{rad}}$$

of

$$K = \frac{\frac{1}{\pi K} \ln \frac{16 D_1}{\pi B_w}}{W_{rad}}$$

FIG III C



LAAG 15-35 CM

REGRESSIELIJNEN:

Log y = a_1 log x + b_1
a_1 = 0,16264
b_1 = 1.4949

Log x = a_2 Log y + b_2
a_2 = 0,6001
b_2 = 0,7484

CORRELATIE-COEFFICIENT:

0,2483

DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN in STEEK MONSTERS

N.V. Drukkerij „Mercurius" Wormerveer No. 29H

Zelfs met uitsluiting van de op visuele gronden afgekeurde monsters blijft er nog een spreiding in het materiaal, die te groot is om mee verder te kunnen werken. Aangezien de grote spreiding een duidelijke vaststelling van de samenhang in de weg staat is tenslotte nog getracht dit doel door middel van een wat subjectievere methode te bereiken. Dit is, wat men zou kunnen noemen, een selectieve methode, gebaseerd op de volgende gedachtengang:

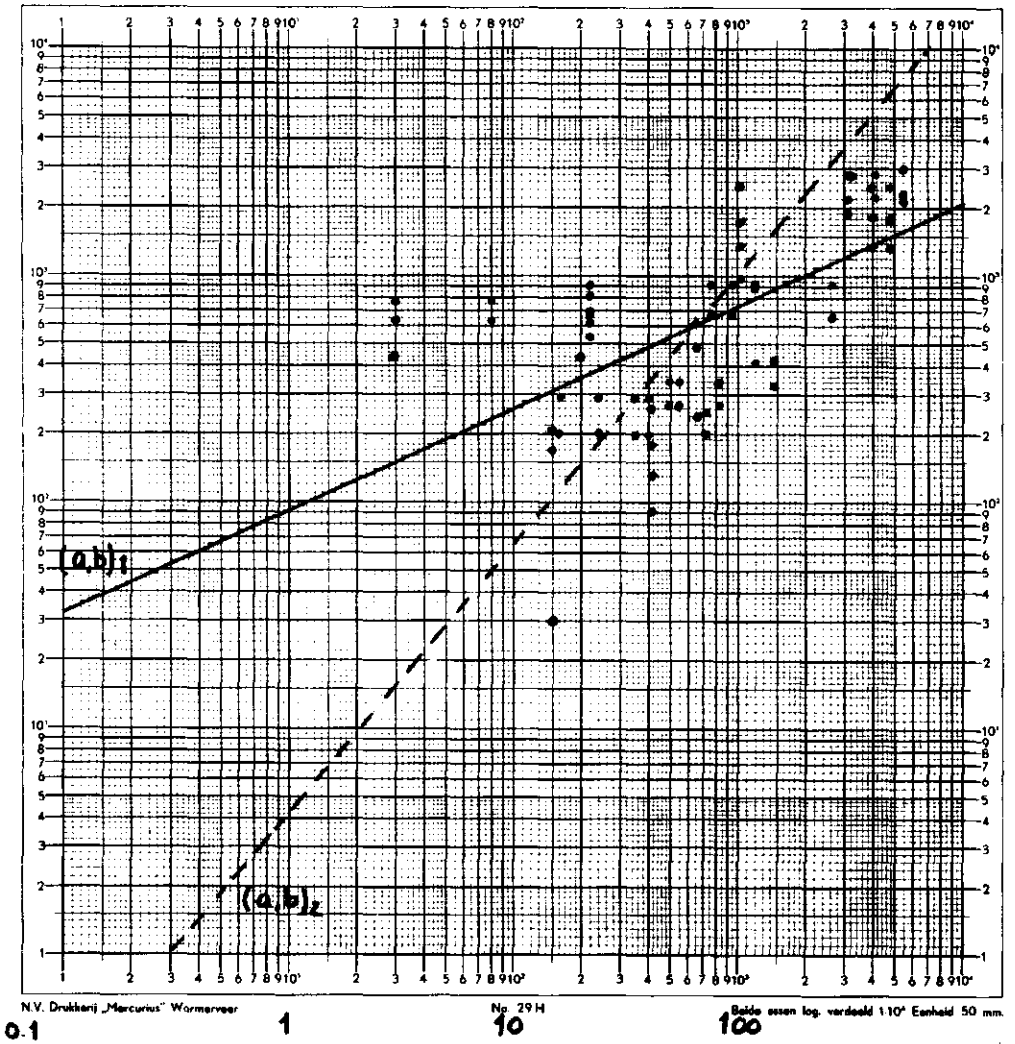
Bij de kwelmeterresultaten zowel als bij de steekmonstermetingen komen grote variaties in doorlatendheid voor binnen één proefplek. Deze zijn gedeeltelijk het gevolg van de grote variabiliteit in de bodemdoorlatendheid en voor een ander deel van bepalingsfouten. Aannemende, dat deze grote verschillen op één proefplek reëel k u n n e n zijn, kan men stellen, dat de hoogst voorkomende doorlatendheden van kwelmeter en steekmonsters een beeld geven van de in werkelijkheid voorkomende hoogste doorlatendheden. Hetzelfde geldt voor de laagst voorkomende doorlatendheden. Daarom worden de grootste doorlatendheden uit kwelmeter en steekmonster per proefplek tegen elkaar uitgezet evenals de laagste.

Er zullen een aantal gevallen zijn waarin tussen gemeten en berekende doorlatendheden geen spoor van overeenkomst valt te ontdekken. In dergelijke gevallen geldt de overweging, dat als gevolg van een bepalingsfout een doorlatendheid nooit kleiner kan worden, wel groter. Daarom worden in dergelijke gevallen de hoogste doorlatendheden geëlimineerd. Dit leek de enige methode om die meetresultaten uit het materiaal te lichten die weliswaar niet direct op visuele gronden konden worden afgekeurd, doch die van lekkage konden worden v e r d a c h t. Dit is geschied in de figurenserie IVA tot en met IVD. De spreiding is sterk afgenomen, doch bovendien kan worden gesteld, dat de resterende spreiding overwegend een gevolg is van bepalingsfouten van mindere importantie bij de steekmonsterbepaling omdat deze methode nu eenmaal veel meer ruimte laat tot bepalingsfouten, alleen al door de veel ongunstiger verhouding tussen omtrek en oppervlak van het monster.

De berekende regressielijnen en correllatiecoëfficiënten zijn wederom gegeven. Duidelijk is ook aan de berekende correllatiecoëfficiënten te zien, dat de spreiding sterk is afgenomen.

DOORLATENDHEID in CM/ETM
BEREKEND

SELECTIEF FIG IV A



LAAG 0.5 CM

REGRESSIELIJNEN:

$\log y = a_1 \log x + b_1$

$a_1 = 0.4426$

$b_1 = 0.9704$

$\log x = a_2 \log y + b_2$

$a_2 = 0.8425$

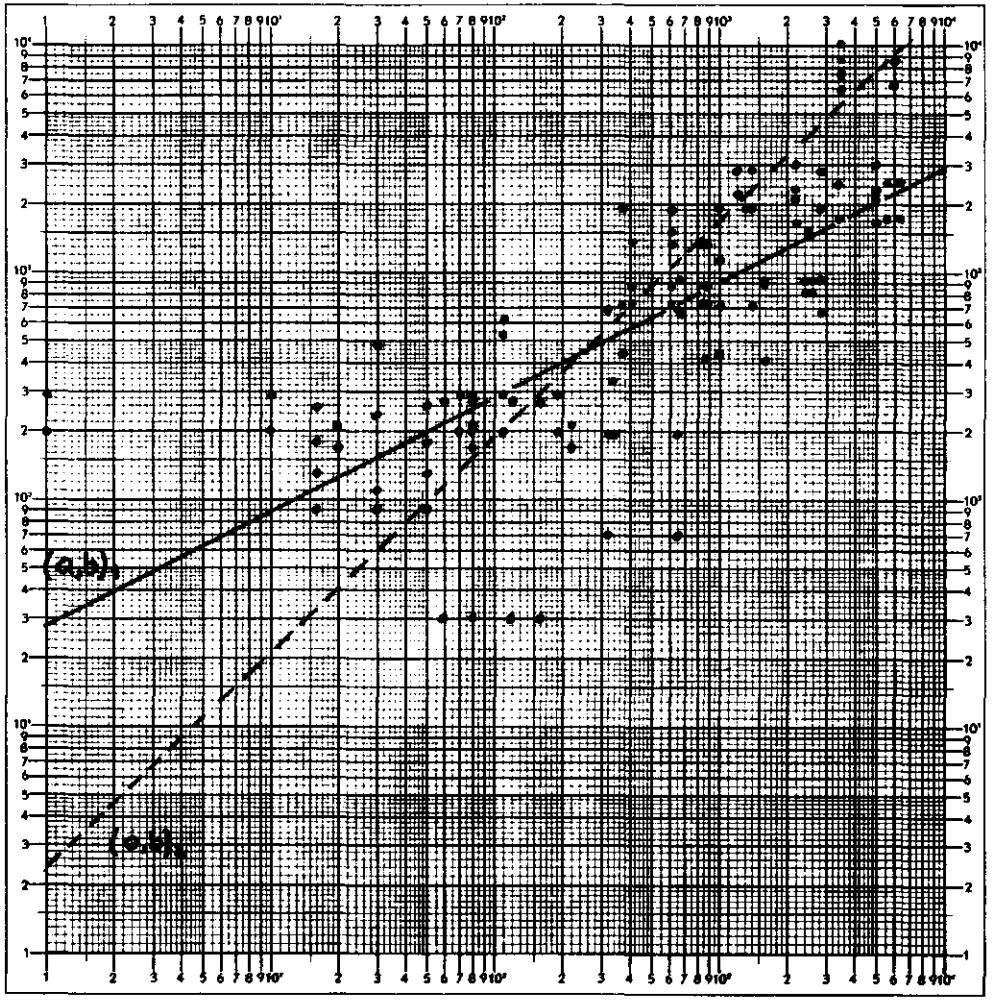
$b_2 = 0.3291$

CORRELATIE-COEFFICIENT:
0.6106

DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN in
STEEKMONSTERS

DOORLATENDHEID in CM/ETM
BEREKEND

SELECTIEF FIG IV B



LAAG 5 - 15 CM

REGRESSIELIJNEN :

LOG y = a_1 LOG x + b_1

a_1 = 0,5029

b_1 = 0,9550

LOG x = a_2 LOG y + b_2

a_2 = 1,0872

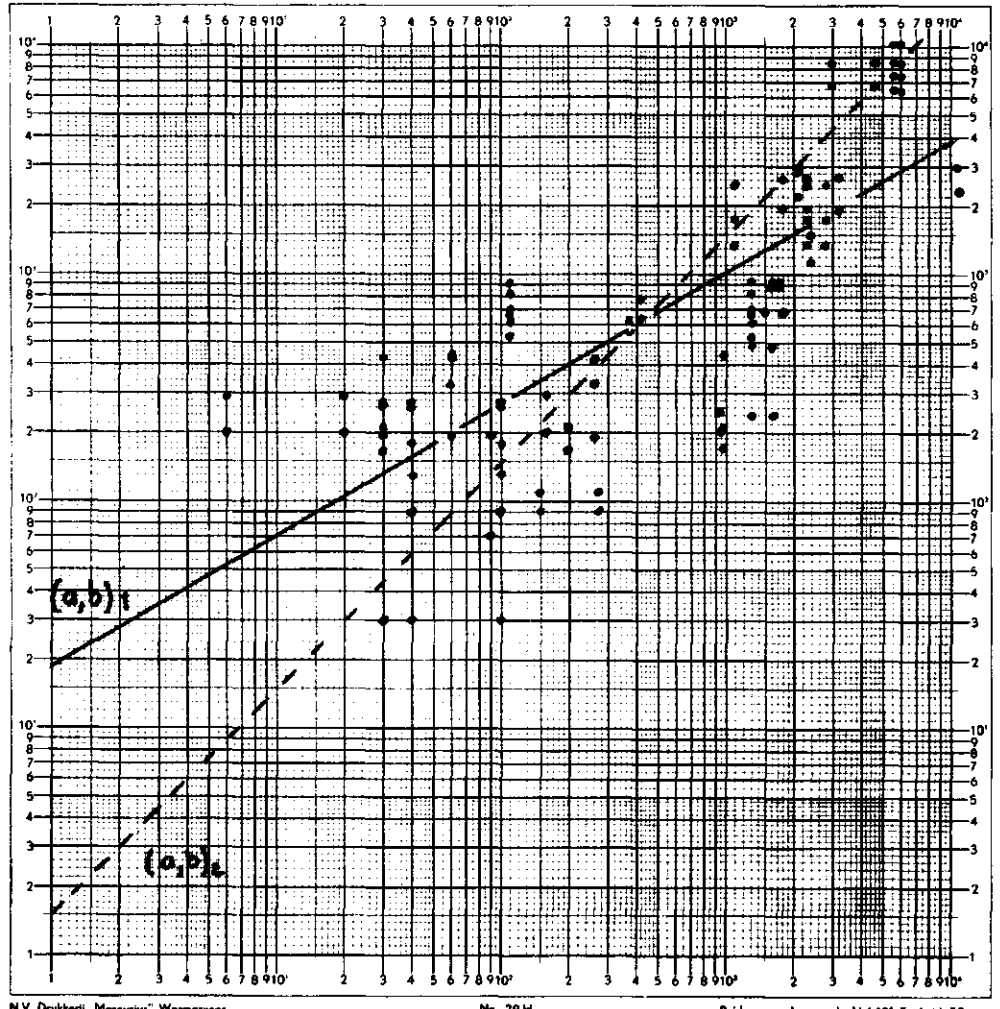
b_2 = −0,3140

CORRELATIE-
COEFFICIENT :
0.7394

DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN in
STEEKMONSTERS

DOORLATENDHEID in CM/ETM
BEREKEND

SELECTIEF FIG IV C



LAAG 15-25 CM

REGRESSIELIJNEN:

LOG $y = a_1 \log x + b_1$

$a_1 = 0{,}5778$

$b_1 = 0{,}8408$

LOG $x = a_2 \log y + b_2$

$a_2 = 1{,}0173$

$b_2 = -0{,}1740$

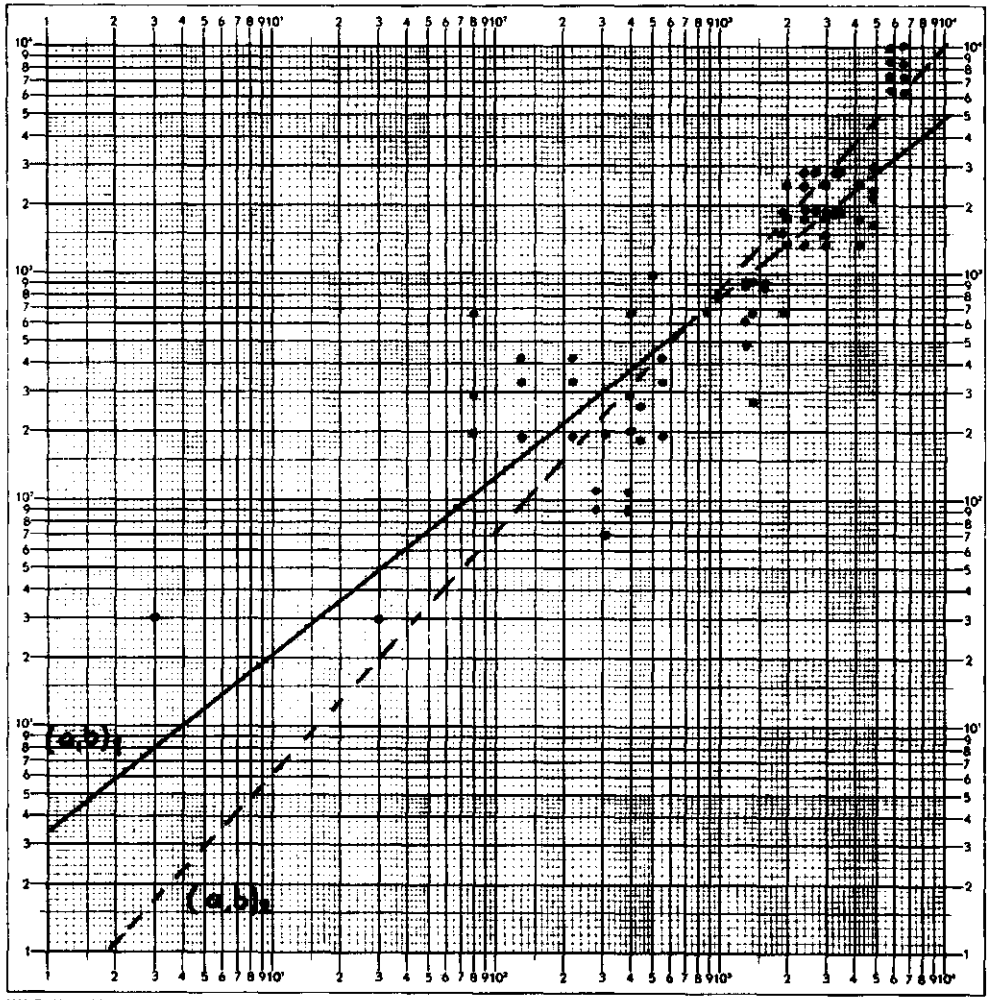
CORRELATIE-
COEFFICIENT:

0.7667

DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN in
STEEKMONSTERS

DOORLATENDHEID in CM/ETM
BEREKEN

SELECTIEF FIG IV D



LAAG 25-35 CM

REGRESSIELIJNEN:

Log y = a_1 Log x + b_1

a_1 = 0.7959

b_1 = 0,3167

Log x = a_2 Log y + b_2

a_2 = 0,9502

b_2 = 0,1977

CORRELATIE-COEFFICIENT:
0.8167

DOORLATENDHEID in CM/ETM
GEMETEN in STEEKMONSTERS

Er dient evenwel steeds te worden beseft dat deze nauwere samenhang alleen tot stand is kunnen komen op grond van een zekere subjectieve aanname, waarvan de geldigheid nog niet geheel bewezen is.

Wanneer de waarnemingen van beide manieren van doorlatendheidsbepaling een zekere onbetrouwbaarheid bezitten, kan men, volgens LINDLEY de schatting van de functionele relatie als volgt verkrijgen. (De berekening is geschied voor de puntenzwerm in fig. IA, omdat hier de monster- en bepalingsdiepte het meest overeenkomen):

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$b = m + \sqrt{m^2 + k} \qquad \text{waarbij:}$$

$$m = \frac{\Sigma(y - \bar{y})^2 - k\Sigma(x - \bar{x})^2}{2\Sigma(x - x)(y - y)}$$

$$k = \frac{\text{variantie van de enkele waarneming van y}}{\text{variantie van de enkele waarneming van x}}$$

De varianties van de enkele waarneming van resp. y en x worden berekend met:

$$\text{var. } y = \sqrt{\frac{\Sigma(y - \bar{y})^2}{n - 1}} \qquad \text{en} \qquad \text{var. } x = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

De var. y blijkt te bedragen: 0,589 en de var. x: 0,894
Zodat de waarde van k = 0,64

Verder is $\Sigma(x - \bar{x})^2 = 64,7375$ en $\Sigma(y - \bar{y})^2 = 28,1286$

terwijl $\Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y}) = 4,77$

m wordt dus: $\frac{28,1286 - 0,64 \times 64,7375}{2 \times 4,77} = -1,39$

b wordt: $-1,39 + \sqrt{(-1,39)^2 + 0,64} = 0,21$

a wordt: $0,9393 - 0,21.1,16278 = 0,69$

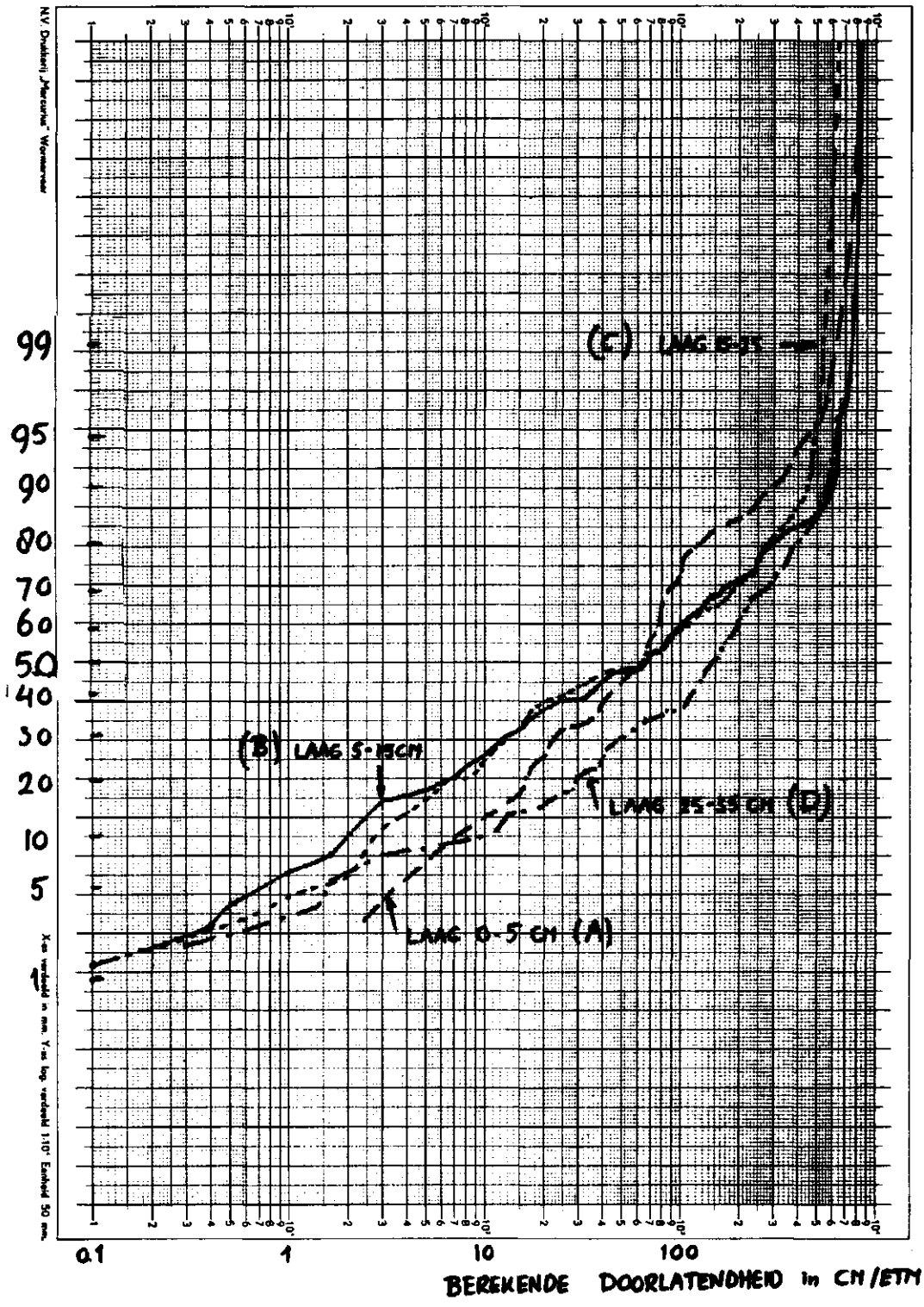
zodat $\log y = 0,69 \log x + 0,21$

Aangezien de regressielijn $(a,b)_1$ (zie fig IA) weergegeven wordt door:

$$\log y = 0,077 \log x + 0,87$$

KANSPERCENTAGE

FIG V A t/m D



en de regressielijn $(a,b)_2$ door:

$$\log y = 5{,}37 \log x - 5{,}28$$

wijkt het gevonden verband (ingetekend in fig. IA) wel wat af van de lijn, welke midden tussen de beide regressielijnen zou lopen (voor k=1, dus bij gelijke onbetrouwbaarheid van de waarnemingen).

Het blijkt niet goed mogelijk de spreiding in de meetresultaten van de steekmonsters te doorbreken en de oorzaken van deze spreiding, te weten de variabiliteit in de bodemdoorlatendheid en de bepalingsfouten, uiteen te rafelen zonder van een zekere verwachtingswaarde uit te gaan en daarmee de objectiviteit geweld aan te doen. Wel kunnen de steekmonsterresultaten per laag in een kansverdeling worden weergegeven, hetgeen is geschied in fig. V.

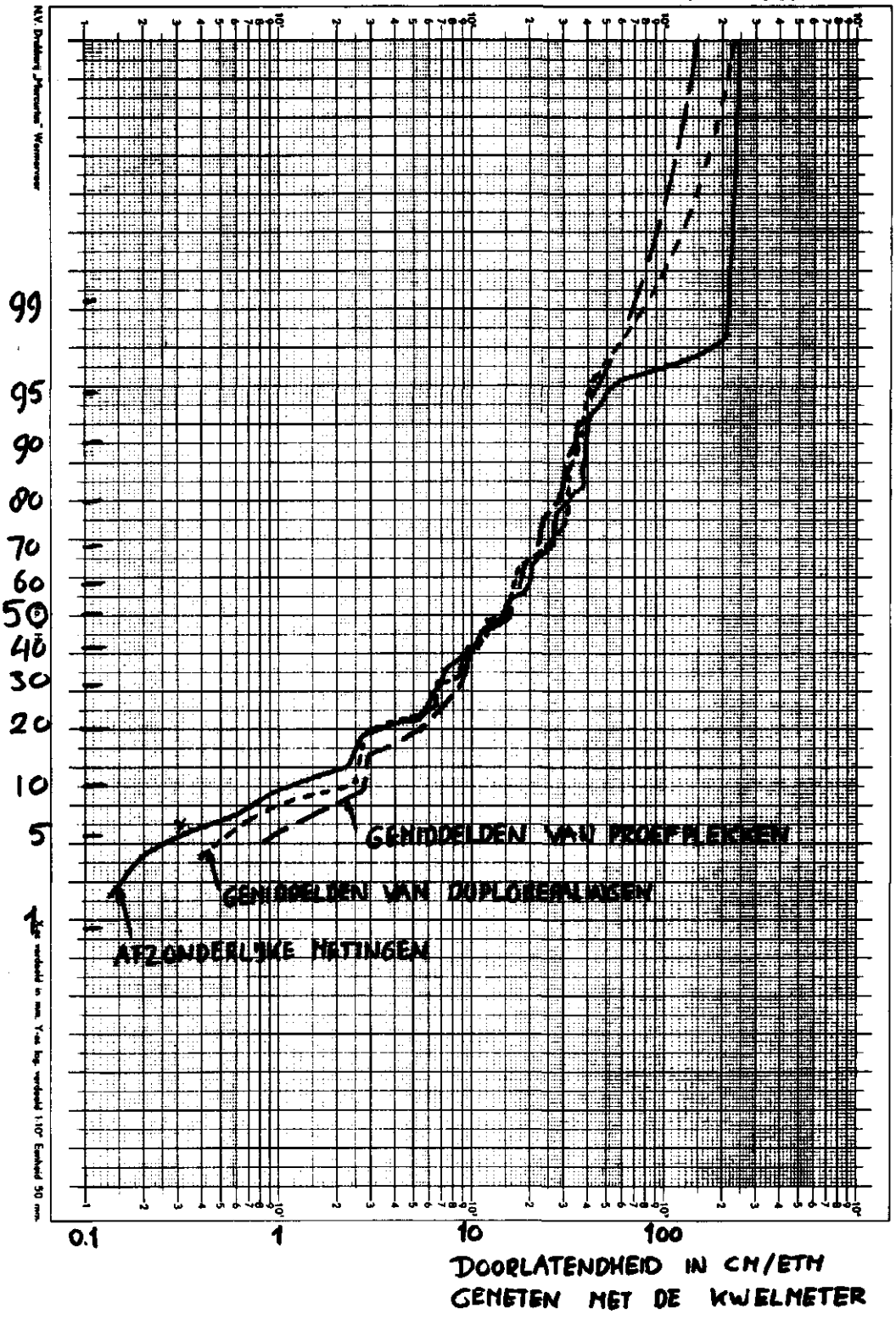
Bij onderlinge vergelijking in deze figuren blijken de lijnen B en C (5-15 en 15-25 cm) vrijwel identiek. Hiervan wijkt af lijn D (25-35 cm) en wel zodanig, dat de doorlatendheden boven 0,03 cm/etm. 10 à 20% minder voorkomen dan in hoger gelegen lagen. Het verschil treed vooral op bij doorlatendheden groter dan 1 cm/etm. Deze grotere doorlatendheden blijken in de laag 25-35 cm ongeveer 10 tot 20% minder vaak voor te komen dan in de daarboven gelegen lagen.

Ten aanzien van het laagje 0-5 cm, waarin een grote zeefweerstand werd verwacht, doet zich hetzelfde verschijnsel in dezelfde mate voor. Hier werd beschikt over 63 waarnemingen. De vorm van deze curve wijkt in zoverre van die van de lagen 5-15 en 15-25 cm af, dat ze elkaar bij het 50% punt snijden. Geringere doorlatendheden dan de bij dit punt voorkomende waarde van 0,17 m/etm. komen relatief minder voor in de laag 0-5, terwijl hogere doorlatendheden in het bovenlaagje relatief méér voorkomen. Als we dan tevens in alle lagen de verdeling van de gemeten doorlatendheden in ogenschouw nemen dan wijst niets erop, dat zowel de zeefweerstand als de radiale weerstand dusdanig groot zullen kunnen worden, dat van een belemmerende werking op de infiltratie vanuit leidingen gesproken kan worden.

Aangezien de invloed van bepalingsfouten op de meetresultaten van de kwelmeter waarschijnlijk van minder invloed zijn geweest, dan op die van de steekmonsters, kunnen de infiltratiemetingen met de kwelmeter misschien iets méér zeggen over de variabiliteit in de bodemdoorlatendheid.

KANSPERCENTAGE

FIG VI



Daartoe zijn in fig. VI kansverdelingen getekend van:

1. de afzonderlinge kwelmetingen
2. de gemiddelden van de duplobepalingen
3. de gemiddelden van de proefplekken

Wanneer er namelijk een verschil in helling of niveau tussen de drie curven zou bestaan, zou men hieruit conclusies kunnen trekken ten aanzien van de variabiliteit in de bodemdoorlatendheid. De drie genoemde curven dekken elkaar grotendeels, maar een verschil in steilheid is toch wel waarneembaar.

Wèl wijkt het niveau van deze curven sterk af van dat van de figuren VA t/m VD, hetgeen er op wijst dat de kwelmeter in het algemeen lagere doorlatendheden als resultaat geeft dan de steekmonstermethode. De gemiddelde hogere doorlatendheden uit de steekmonsters zijn evenwel opgebouwd uit sterker uiteenlopende afzonderlijke meetresultaten, zodat een voorlopige conclusie zou kunnen luiden, dat bij steekmonsters bepalingsfouten een grotere rol hebben gespeeld dan bij de kwelmeter.

kD-WAARDE

Tenslotte kan worden nagegaan of de meetresultaten leiden tot een inzicht in de grootte van de kD-waarde. De reeds gebruikte formule (4) $W_{rad} = \frac{\Delta h}{q_o}$ kan worden geschreven als:

$$q_o = \frac{h_o - h_1}{W_{rad}} \qquad (4a)$$

Is er slechts één raai aanwezig, dan zit er niets anders op dan symmetrie te veronderstellen, dus:

$$\tfrac{1}{2} q_o = kD \frac{h_1 - h_2}{\Delta x} \qquad (6)$$

waarbij Δx de horizontale afstand is tussen h_1 en h_2.

Omdat in het verloop van het freatisch vlak links en rechts van de leiding in het algemeen verschillen kunnen voorkomen is het zinvol de linkse en de rechtse raai gescheiden te houden en de kD-waar-

de te berekenen uit:

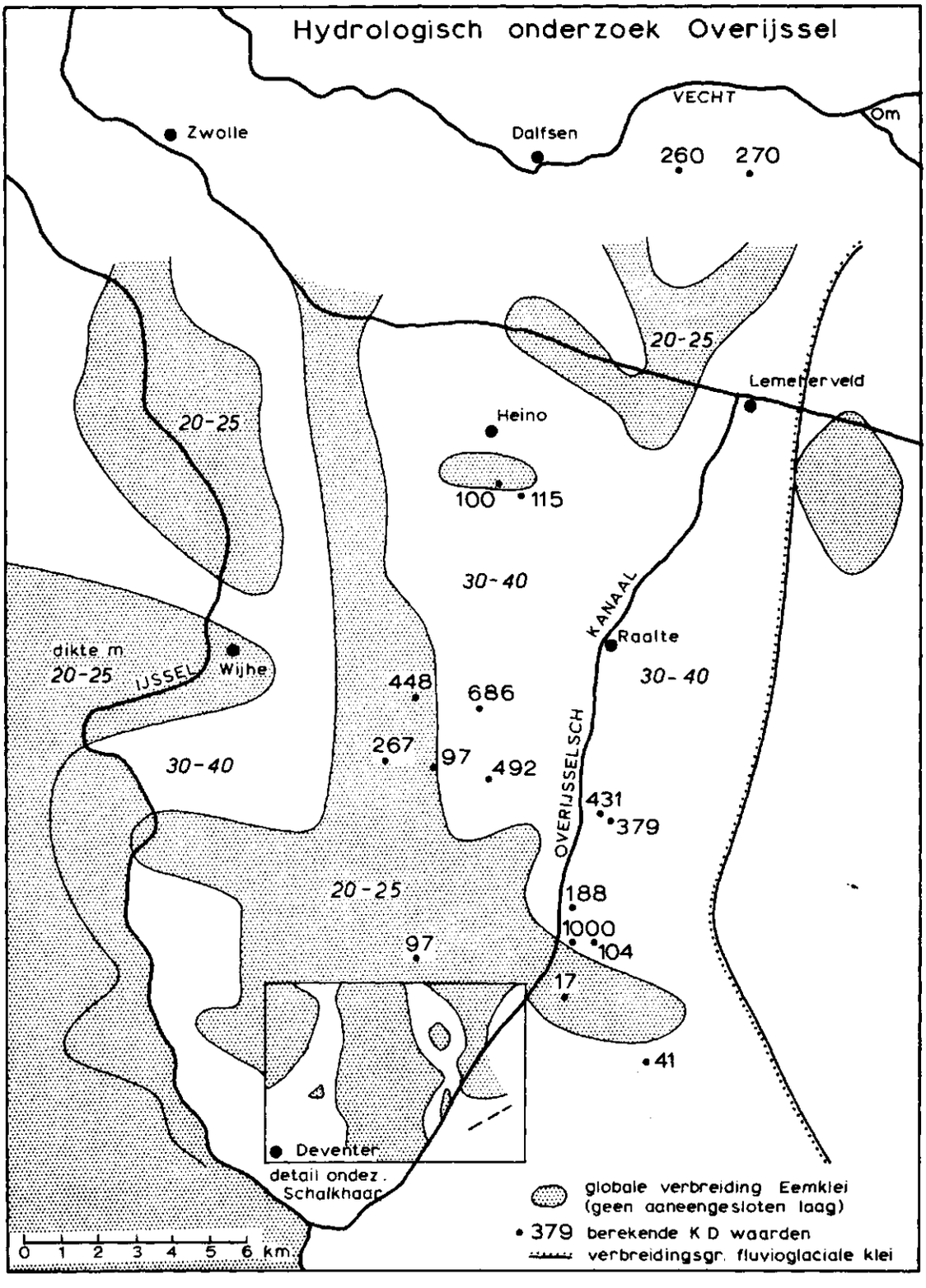
$$kD = \frac{q_o}{\left(\frac{h_1 - h_2}{\Delta x}\right)_L + \left(\frac{h_1 - h_2}{\Delta x}\right)_R} \qquad (7)$$

De gemiddelde kD-waarden, die aldus kunnen worden berekend, variëren tussen 10 en 1000 m^2/dag met een gemiddelde waarde van ca. 250 m^2/dag.

Er zijn al eerder uit andere gegevens kD-waarden van Salland berekend, o.a. door POMPER, doch hierbij stuitte men steeds op de onzerheid omtrent de aanwezigheid van Eemklei in de ondergrond. Deze Eemklei zou zich moeten bevinden op ± 15 m. diepte tussen maaiveld en fluvioglaciale klei in de ondergrond op ± 40 m diepte. In verband met de slechte doorlatendheid zou deze Eemkleilaag de kD-waarde ongunstig beïnvloeden. De vermoedelijke Eemkleiverbreiding op grond van geo-elektrische metingen is aangegeven in fig. VII. Hierin zijn tevens aangegeven de berekende kD-waarden, afkomstig uit het onderhavige onderzoek. Veel overeenkomst is er niet. Toch blijken de berekende kD-waarden, op een enkele dissonant na, wel een vloeiend verloop te vertonen, namelijk de hoogste waarden in de kern van het gebied tussen Olst, Wijhe, Raalte,en Heeten n.l. ca. 500 m^2/dag terwijl naar het zuiden toe de waarden dalen tot ca. 40 en naar Heino tot ca. 100 cm bij de Vecht weer te stijgen tot ca. 250 m^2/dag.

CONCLUSIE

Gebleken is, dat vooral het materiaal afkomstig uit de steekmonsters een zeer grote spreiding vertoont, welke het gevolg is van bepalingsfouten zowel als van variabiliteit in de bodemdoorlatendheid. De kansverdelingen van deze meetresultaten tonen tenslotte aan dat de verwachte grote zeefwerking van het organisch sliblaagje dat de bodem bedekt, niet duidelijk optreedt, maar vermoedelijk de aanwezige doorlatendheid ongeveer halveert.


Hydrologisch onderzoek Overijssel
VECHT
Om
Zwolle
Dalfsen
260
270
20-25
Lemelerveld
Heino
100
115
20-25
30-40
KANAAL
Raalte
dikte m
20-25
IJSSEL
Wijhe
448
686
30-40
267
97
492
OVERIJSSELSCH
431
379
20-25
188
1000
104
97
17
41
Deventer
detail ondez.
Schalkhaar
0 1 2 3 4 5 6 km
globale verbreiding Eemklei
(geen aaneengesloten laag)
• 379 berekende K D waarden
verbreidingsgr. fluvioglaciale klei

Een tweede conclusie is dat een goed inzicht is verkregen ten aanzien van de punten waarop een dergelijk onderzoek bij herhaling verbetering betracht. Deze verbeteringen spitsen zich toe op

1. Het onderkennen van de variabiliteit in de bodemdoorlatendheid zowel naar tijd als naar plaats.
2. Het terugdringen van de grootte van de bepalingsfouten tot aanvaardbare proporties.

STUWEN

Een bijkomend onderzoek is nog gedaan in de nabijheid van stuwen. Dit had een tweeledig doel:

1. Een inzicht te verkrijgen in de onderloopsheid van een stuw, dat wil zeggen in welke mate een waterbeweging door de grond heen plaats heeft van het hoger gelegen leidingpand naar het lagere en dus om het stuwlichaam heenstroomt.
2. Een inzicht te verkrijgen in de doorlatendheid van de bovenste laag van het profiel en het laagje slib en organisch materiaal dat de bodem is ingedrongen en deze bedekt. Boven de stuw, waar wegzijging plaats heeft, zal door de benedenwaarts gerichte waterstroming verstopping van de poriën kunnen optreden door meegevoerd slib. Beneden de stuw waar kwel optreedt en als gevolg daarvan de waterstroming in omgekeerde richting verloopt, zou men mogen verwachten dat de poriën juist schoongespoeld worden.

Het stromingsbeeld bij een stuw is ingewikkelder dan bij het ontbreken van een stuw. Zo zal op de wegzijging boven de stuw zowel het drukverschil tussen slootpeil en grondwatervlak van invloed zijn als het peilverschil tussen slootpeil boven en beneden de stuw, die zeker niet hetzelfde behoeven te zijn. Een gedeelte van het water zal dan ook afvloeien naar het grondwater terzijde van de leiding en een gedeelte zal om de stuw heenstromen en als kwel in het benedenste pand aan de dag treden. Teneinde deze stromingen te ontwarren, zouden eigenlijk méér gegevens ten dienste moeten staan.

Er staan 8 proefplekken bij stuwen ter beschikking.

De meetresultaten van de kwelmeters geven het volgende beeld:

	Doorlatendheid in cm/etm		
No	Boven de stuw		Beneden de stuw
5	2,5		59,7
7	25,4	36,4	17,8
8	3,9		25,0
10	6,5		26,7
11	0,13		10,2
21	30,3		5,1
BV I	37,5		2,2
BV III	26,0		4,8

De proefplekken 5, 8, 10 en 11 schijnen de veronderstelling te ondersteunen dat de weerstand van het organische sliblaagje boven de stuw aanzienlijk groter is dan beneden de stuw (5 tot 20 maal zo groot). De andere nummers schijnen evenwel het tegendeel aan te tonen, zodat het de voorkeur verdient met een definitieve conclusie te wachten tot méér resultaten bekend zijn.

De steekmonsterresultaten geven een wat ongenuanceerder beeld omdat de spreiding in de meetresultaten groter is:

	Gemiddelde doorlatendheid in cm/etm			
	laag 0-5 cm		laag 5-15 cm	
No	boven de stuw	beneden de stuw	boven de stuw	beneden de stuw
5	--	--	362	57
7	416	575	426	295
8	105	304	4,5	25,5
10	1805	560	720	760
11	91	71	39	163
21	50	1451	10,5	280
BV I	2185	2265	162	18
BV III	96	330	47	433

Deze cijfers geven geen steun aan de veronderstelling, dat bij steekmonsters op door vergelijking van meetresultaten van niet meer dan twee herhalingen boven en beneden de stuw gebaseerd een inzicht in de grootte van de zeefweerstand zou kunnen worden verkregen. De nummers 5, 8, 10 en 11 die bij bestudering van de kwelmeterresultaten tot een bepaalde conclusie leidden, ondersteunen hier die conclusie slechts bij de nummers 8 en 11 (alleen laag 5-15 cm), terwijl nu ook no 21 duidelijk tot dezelfde gevolgtrekking voert evenals BV III. Ook hier zijn echter evenveel resultaten, die tot een tegengestelde of tot geen enkele conclusie leiden.

AANWIJZINGEN VOOR EEN HERHALING

In de conclusie is reeds in twee hoofdpunten aangegeven, waar de verbeteringen in de werkwijze van dit onderzoek toe moeten leiden. Een apart onderzoek dient gewijd aan het verkrijgen van een inzicht in de variabiliteit in de bodemdoorlatendheid naar tijd en naar plaats. Metingen dienen te worden gedaan in veelvoud in de lengte over de bodem doch ook in de breedte en in het onderwatertalud. Een methode voor het bepalen van de wegzijging waarbij men zelf niet te water hoeft lijkt aantrekkelijk omdat bij de plaatsing van de kwelmeters op de tot nu toe gebruikelijke wijze het sliblaagje steeds sterk wordt verstoord vlak om de kwelmeter heen, zodat de zeefweerstand daar sterk wordt gewijzigd. Indien plaatsing zou kunnen geschieden vanaf een loopbrug in een aangepaste opstelling zou dit ongetwijfeld een verbetering kunnen betekenen. Voor wat betreft de steekmonsters zal moeten worden nagegaan wat voor invloed op de te meten doorlatendheid wordt uitgeoefend door:

1. Schudden of uitdrogen tijdens vervoer of opslag
2. Horizontaal houden van het monster tijdens gereedmaken voor meting

Ook hier lijkt een meting t e r p l a a t s e aantrekkelijk, omdat een groot deel van de tot nu toe aanwezige oorzaken van bepalingsfouten van tevoren worden uitgesloten. Het creëren van een extra drukhoogte in een meetbuis boven het bestaande slootpeil behoort

wellicht tot de mogelijkheden. Het is heel goed mogelijk, dat de problemen die dan ontstaan alléén liggen op het vlak van de rekentechniek.

ANDERE METHODEN

Eén van de andere methoden, die kunnen worden toegepast om een inzicht te verkrijgen in de mate van wegzijging is gebruik te maken van het debiet van stuwen en de inzijging over een groot bodemoppervlak die zo te verkrijgen is.

In een leiding in de Waterschap Bezuiden de Vecht, is de gehele zomer en herfst 1971 uit een bronbemaling water ingepompt. Het verschil in debiet tussen een bovenliggende stuw en een stroomafwaarts gelegen stuw is een maat voor de wegzijging (of kwel) welke heeft plaats gehad.

Door het verschil in debiet tussen twee boven elkaar gelegen stuwen te delen door het totale natte oppervlak (leidingvak lengte x gemiddelde natte oppervlak van het dwarsprofiel) verkrijgt men een maat voor de integrale wegzijging voor het gehele leidingvak. Een samenvatting van de op deze wijze verkregen uitkomsten volgt hieronder.

Datum	Wegzijging (+) of kwel (-) in mm/etm		
	Leidingvak		
	I	II	III
3 juni	+ 1,3	- 2,4	+ 1,7
15 juni	+ 1,6	- 14,1	- 16,4
30 juni	+ 6,3	- 15,0	+ 6,7
10 augustus	+ 24,8	- 12,5	+ 8,1
19 augustus	+ 12,7	- 9,5	+ 2,8
31 augustus	+ 15,4	- 6,6	+ 3,3
8 september	+ 14,2	- 4,8	+ 6,9
16 september	+ 6,3	+ 5,5	+ 2,2
28 september	+ 7,6	+ 0,9	+ 3,3
14 oktober	+ 1,4	- 11,0	+ 4,5
26 oktober	+ 3,7		
3 november	+ 4,7	+ 2,5	+ 1,6
10 november	+ 5,1		

Hierbij valt op dat het middelste leidingvak (II) gemiddeld 3 maanden later wegzijging gaat vertonen dan de beide andere panden. Dit zal waarschijnlijk in verband staan met een lagere ligging van het stroomgebied van dit leidingvak. Over de grootte van de wegzijging valt slechts op dat de grootte-orde veel geringer is dan wat uit de kwelmeter en steekmonsterresultaten naar voren is gekomen. Weliswaar zijn van deze debietmetingen niet de bijbehorende potentiaalverschillen opgenomen, zodat over de werkelijke wegzijging geen uitsluitsel kan worden gegeven. De potentiaal-verschillen kunnen namelijk aan het begin en het eind van een leidingvak aanzienlijk van elkaar verschillen. Globaal kan echter wel worden vastgesteld, dat de potentiaal-verschillen wel bijzonder hoog moeten zijn geweest, om een werkelijke wegzijging tot gevolg te hebben van dezelfde grootte-orde als kwelmeter en steekmonster als resultaat te zien hebben gegeven. Een voorzichtige conclusie zou kunnen zijn, dat, wanneer deze integrale metingen via de debieten juist zijn de kwelmeter blijkbaar alleen de relatief hoge infiltraties heeft gemeten. Dit zou dan verklaard moeten worden uit de overweging, dat de kwelmeter geplaatst is op plaatsen boven de benedenste stuw, waar alléén wegzijging optrad, terwijl de integrale metingen het verschil weergeven tussen het gedeelte van het leidingvak waar infiltratie optreedt (boven de benedenste stuw) en het deel waar nog drainage plaats vindt (beneden de bovenste stuw).

Wageningen UR library
P.O.Box 9100
6700 HA Wageningen
the Netherlands
library.wur.nl