

NOTA 627

25 juni 1974

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

ALTERRA

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

WATER- EN ZOUTOVERLAST GEZIEN IN RELATIE TOT DE  
VERBREIDING EN VERDIEPING VAN HET KANAAL  
VAN GENT NAAR TERNEUZEN

dr. L.F. Ernst en B. v. d. Weerd, ing.

---

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

---

## INHOUD

	blz.
INLEIDING	1
DE HOOGTELIKKING VAN DE GRONDEN GRENZEND AAN HET KANAAL	2
GEOLOGISCHE GESTELDHEID	3
UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	5
Plaatsing grondwaterstandsbuizen	5
RESULTATEN METINGEN IN DE AUTRICHEPOLDER	8
De stijghoogte van het grondwater	8
De wegzijging vanuit het kanaal	8
De intredeweerstand van het kanaal ter hoogte van de Autrichepolder	8
De verticale weerstand van de kanaalbodem	12
De bodemconstanten van het 2-lagen pakket	12
De intensiteit van de kwel	13
RESULTATEN METINGEN IN DE SLUISPOLDER	14
De stijghoogte van het grondwater	14
De wegzijging vanuit het kanaal	18
De intredeweerstand van het kanaal ter hoogte van de Sluispolder	18
De bodemconstanten en de kwel	19
DE ZOUTSCHADE	22
SAMENVATTING EN CONCLUSIE	26

In verband met het toenemend aantal klachten over gewassenschade, op landbouwgronden grenzend aan het Kanaal van Gent naar Terneuzen welke schade te wijten zou zijn aan de gevolgen van wateroverlast of zout, is op verzoek van het Landbouwschap door de Commissie Waterbeheersing en Ontziltiging een onderzoek ingesteld naar een mogelijk oorzakelijk verband tussen deze plaatselijk optredende wateroverlast en de uitgevoerde werkzaamheden in het kanaal.

Met het doel genoemd kanaal bevaarbaar te maken voor schepen tot 60 000 ton is in 1963 begonnen met verbreding en verdieping. De werkzaamheden werden in etappes uitgevoerd en zijn voltooid in 1969. Het kanaal is hierbij ongeveer twee maal zo breed gemaakt. De breedte bedraagt thans 150 m tot 200 m. De kanaalbodem is uitgegraven van - 6.62 m N. A. P. tot - 11.37 m N. A. P. Het kanaalpeil bleef ongewijzigd op 2.13 m N. A. P.

Naarmate de werkzaamheden aan het kanaal het eindstadium naderden, kwamen vanuit de landbouwsector klachten binnen over een toenemende wateroverlast. Deze wateroverlast heeft in jaren met een boven het gemiddelde uitkomende neerslag plaatselijk grote opbrengstderivingen tot gevolg. Het betreft hier in het algemeen gronden op korte afstand van het kanaal. De wateroverlast komt slechts voor op relatief kleine oppervlakten, van veelal minder dan 1 ha.

Over de waterhuishoudkundige toestand vóór de verbreding en verdieping van het kanaal zijn te weinig gegevens beschikbaar om de oude toestand met voldoende nauwkeurigheid te reconstrueren. Eventueel in het grondwaterregiem opgetreden veranderingen voortvloeiende uit de kanaalverbreding kunnen niet meer worden vastgesteld, hetgeen het onderzoek bemoeilijkt heeft. Gezien in dit licht is in de eerste plaats nagegaan of de schade aan de gewassen inderdaad een gevolg is van te hoge grondwaterstanden en zo ja welke factoren deze hoge waterstanden dan veroorzaken. In belangrijke mate heeft het onderzoek zich vervolgens gericht

op de vraag of gemotiveerde redenen aanwezig zijn, de door de betrokken landbouwers geopperde veronderstelling te rechtvaardigen dat de wateroverlast nauw samenhangt met de verbreding en verdieping van het kanaal. In dit verband zijn uit de binnengekomen schadegevallen twee proefplekken gekozen waarop het onderzoek zich heeft toegespitst. Deze onderzoeksplekken liggen in de Autrichepolder nabij Sas van Gent en de Sluispolder bij Terneuzen en staan aangegeven in fig. 1.

#### DE HOOGTELIKKING VAN DE GRONDEN GRENZEND AAN HET KANAAL

De maaiveldshoogten van de cultuurgronden grenzend aan het kanaal liggen voor het grootste deel van het areaal tussen de 1.00 m tot 3.00 m N. A. P. Gaat men uit van een gemiddelde ontwateringsdiepte van 1.20 m beneden maaiveld dan wil dit zeggen dat vrijwel over de hele lengte van het kanaal potentieel de voorwaarden aanwezig zijn voor afstroming vanuit het kanaal naar de aangrenzende polders. Wordt afgezien van verschillen in doorlatendheid dan is het duidelijk dat de kans op een beduidende afstroming het grootst zal kunnen zijn in de laagst gelegen polders. Op de plaatsen in de polders waar het onderzoek is uitgevoerd heeft het maaiveld de volgende hoogte:

Autrichepolder	0.90 m tot 1.15 m N. A. P.
Sluispolder	0.40 m tot 0.70 m N. A. P.
kanaalpeil	2.12 m N. A. P.

#### GEOLOGISCHE GESTELDHEID

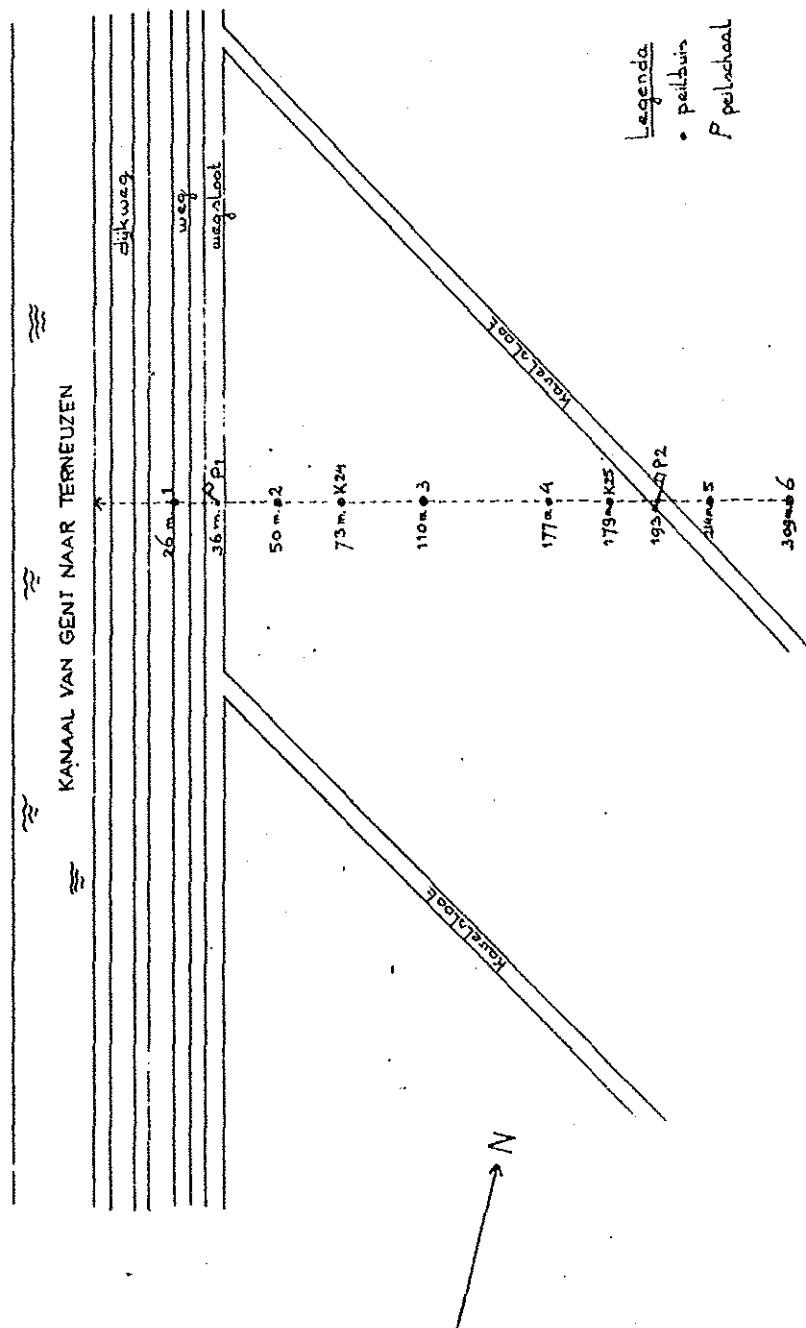
Aan de hand van de gegevens uit de publikatie 'Agrohydrologische Profielen van Zeeland' (DE RIDDER, c. s., 1957), aangevuld met eigen gegevens kon een inzicht worden verkregen over de geologische opbouw van de bodem nabij het kanaal.

Op 20-30 meter beneden maaiveld bevindt zich een dikke, zeer slecht doorlatende laag van Oligocene klei. Hierop rust het Boven Mioceen dat ter plaatse in het algemeen een dikte heeft van 10-15 meter. Op het Boven Mioceen worden vervolgens respectievelijk aangetroffen de Afzetting van Vlissingen, de Oude Wadafzettingen, de Jonge Holocene Scheldeloop, plaatselijk wat veen of verslagen veen en tenslotte als bovenste afzetting de Jonge zeeklei. De meeste van deze afzettingen kenmerken zich hydrologisch door een van plaats tot plaats zeer wisselende doorlatendheid. Het Boven Mioceen en de Oude Wadafzettingen kunnen als watervoerende



Fig. 2

# AUTRICHE POLDER



laag voorkomen, maar elders ook als waterkerende laag fungeren. De Afzetting van Vlissingen heeft eveneens een heterogene samenstelling met als gevolg sterk wisselende doorlaatfactoren. De bovengrond bestaat voornamelijk uit jonge zeeklei met daaronder soms een veenlaagje rustend op de oude zeeklei. Wanneer dit profiel volledig ontwikkeld is vormt het een zo slecht doorlatend pakket, dat slechts een zwakke kwel uit de ondergrond kan opstijgen en als zodanig een zeer gunstige invloed kan hebben. Deze mariene kleien zijn echter niet overal even dik. Op verschillende plaatsen hebben zandige afzettingen met een goede doorlatendheid de klei vervangen. Deze zandige lagen vindt men vaak als opvulling van erosiegeulen. Hydrologisch gezien zijn dergelijke geulen van grote betekenis omdat zij als het ware 'lekken' vormen in afsluitende deklogen, vooral als zij tot in de goede doorlatende ondergrond zijn ingesneden.

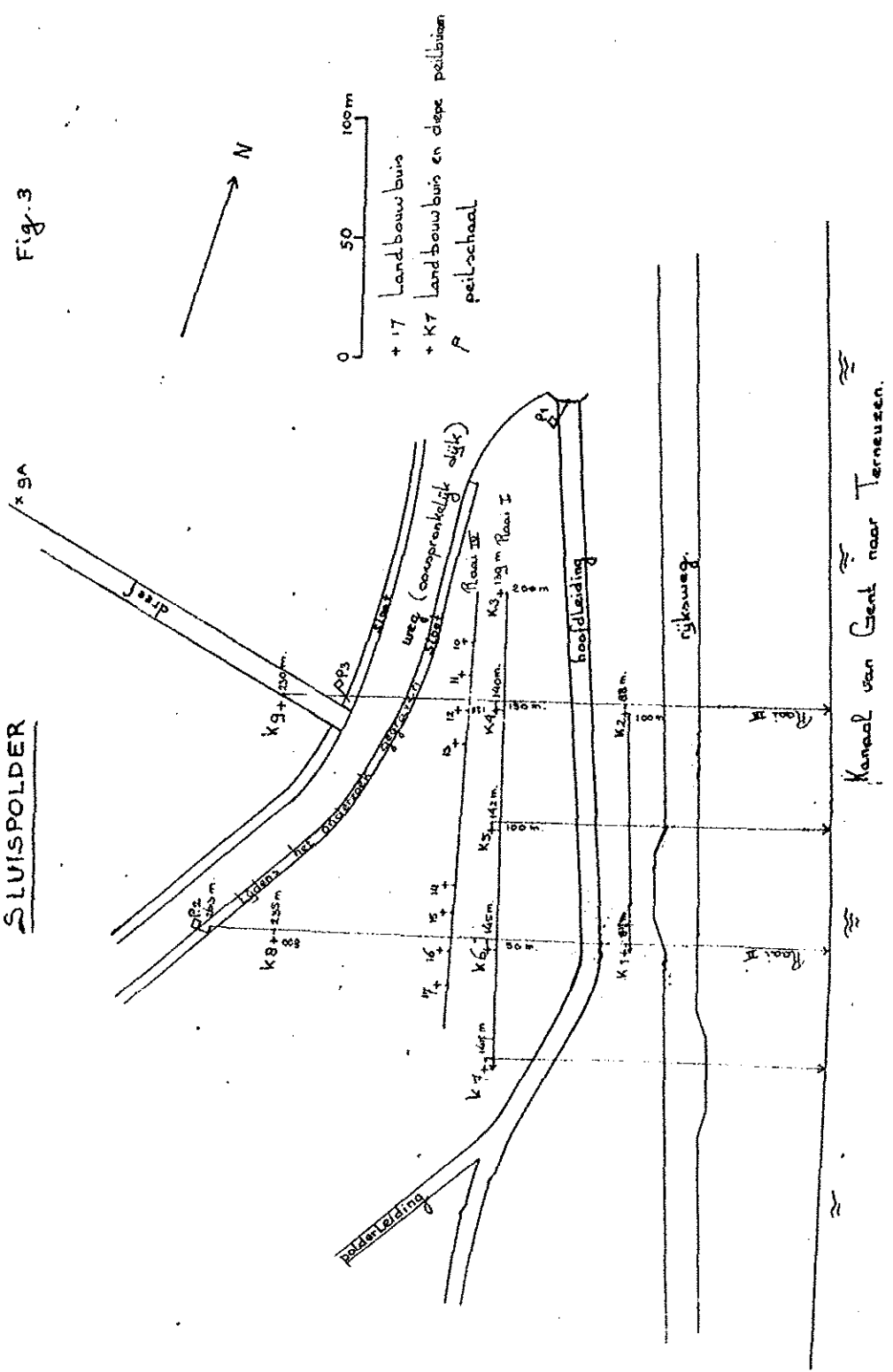
#### UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

##### Plaatsing grondwaterstandsbuizen

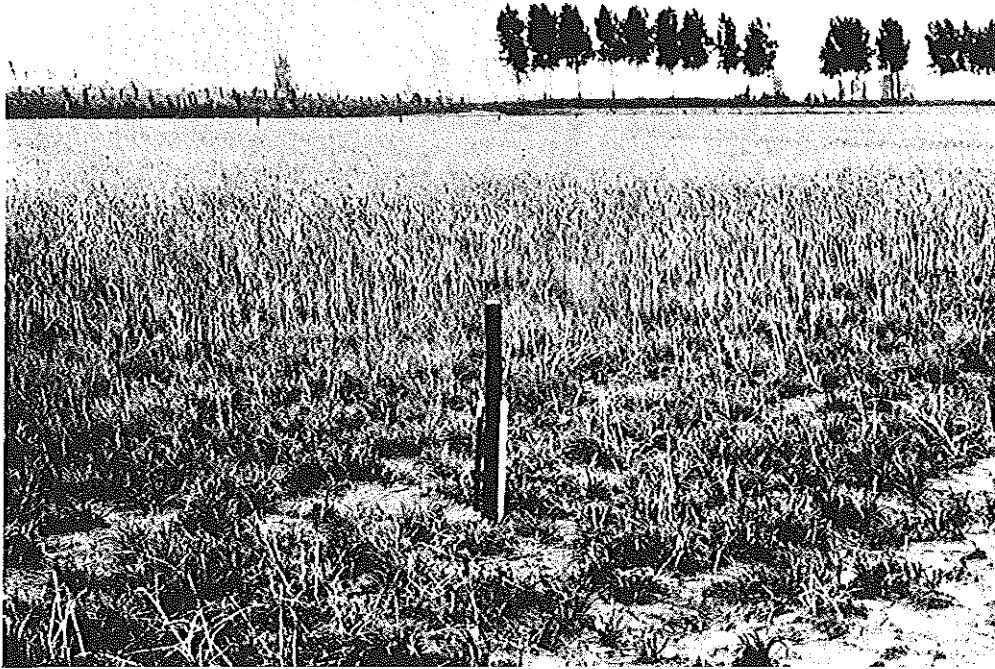
Voor het verkrijgen van een inzicht over de hoogte van de grondwater-spiegel en de stijghoogten van het diepere grondwater is zowel in de Autriche- als in de Sluispolder een aantal peilbuizen op verschillende diepten geplaatst. De ligging hiervan is aangegeven in de figuren 2 en 3. De ondiepe grondwaterstandsbuizen hebben een lengte van 0.50 tot 2.00 m, afhankelijk van de diepte van het grondwater ter plaatse. De diepere filters, op de figuren aangeduid als K-buizen, zijn geplaatst ter hoogte van de oude kanaalbodem op ca. - 6.50 m N. A. P. en ter hoogte van de nieuw gegraven bodem op ca. - 11.00 m N. A. P. De raai buizen in de Autrichepolder is loodrecht op de kanaaldijk geprojecteerd om op deze wijze de invloed van het kanaal op de grondwaterstand te kunnen vaststellen. In de Sluispolder was aanvankelijk slechts één raai (raai IV) geplaatst, min of meer evenwijdig aan het kanaal. Opmerkelijk in deze polder was namelijk de abrupte overgang van een goede naar een slechte stand van het gewas. Figuur 4 geeft hiervan een duidelijk beeld. De ligging van de raai werd zodanig gekozen, dat hieruit informatie kon worden verkregen over het grondwaterverloop tussen het gedeelte met een goede groei en met een slechte groei. In een later stadium is dit buizen-net uitgebreid met zowel diepe als ondiepe buizen in de raaien I, II en III.

SLUISPOLDER

Fig. 3







### SLUISPOLDER

Abrupte overgang van goed naar slecht in de stand van het gewas

## RESULTATEN VAN DE METINGEN IN DE AUTRICHEPOLDER

### De stijghoogte van het grondwater

Voor het verkrijgen van een inzicht in de zomertoestand zijn de waarnemingen van aug. t/m sept. 1970 per meetpunt gemiddeld. De uitkomsten zijn verwerkt in een verticale doorsnede van de raai-buizen en weergegeven in fig. 5. Uit deze figuur blijkt in de eerste plaats de aanwezigheid van een potentiaal verschil tussen het diepe en ondiepe grondwater. De opbolling van het freatisch grondwater tussen de sloten in een periode met een relatief grote verdamping duidt hier op het voorkomen van kwel.

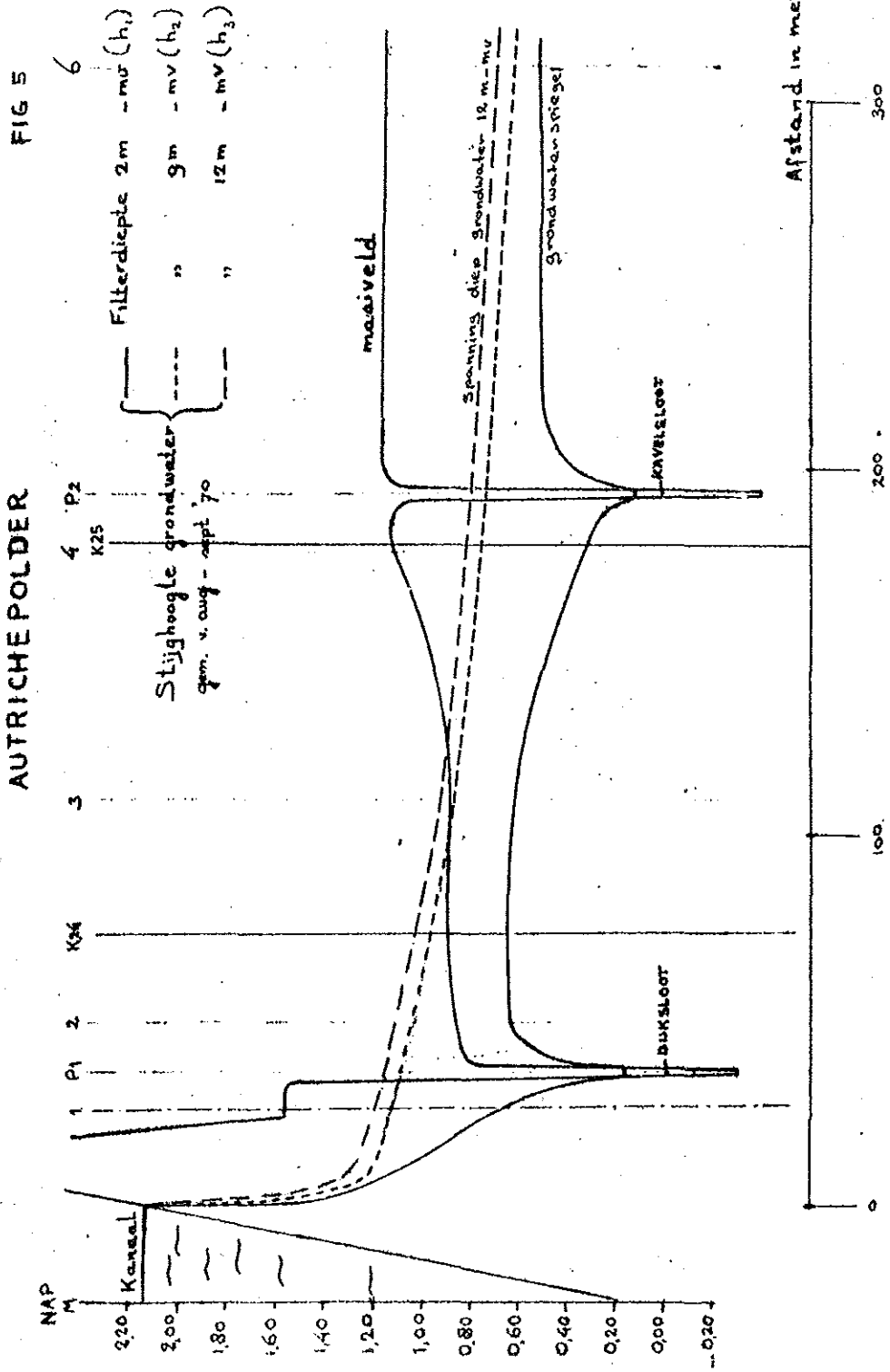
Uit het verloop van de stijghoogte van het diepe grondwater kan worden geconcludeerd dat deze kwel een gevolg is van afstroming uit het kanaal. Voorts laat fig. 5 duidelijk zien dat de gemiddelde grondwaterstand in de zomer op het eerste perceel grotendeels niet dieper dan 0.40 m - maaiveld komt. Deze gemiddeld zo hoge waterstand, die zoals reeds is opgemerkt, kan worden toegeschreven aan kwel, zal zonder twijfel in de meeste jaren reeds bij een normale neerslag tot dicht onder het maaiveld stijgen en daardoor schade aan het gewas toebrengen.

### De wegzijging vanuit het kanaal

Voor het verkrijgen van een indicatie over de omvang van de afstroming vanuit het kanaal naar de onderzoekspolders is gebruik gemaakt van wegzijgings- of kwelmeters (VAN DER WEERD, 1966). Met assistentie van de Havendienst van Rijkswaterstaat is met deze apparatuur in het ruim 13 meter diepe kanaal een drietal metingen uitgevoerd ter hoogte van de onderzoekspolder. Bij de Autrichepolder werd op deze wijze een gemiddelde wegzijging gemeten van 4 mm/dag. De metingen werden uitgevoerd in nov. 1970. Indien wordt aangenomen dat de afstroming naar beide zijden van het kanaal even groot is, dan betekent dit bij een kanaalbreedte ter plaatse van 200 meter een afstroming naar beide kanten van  $0.4 \text{ m}^3/\text{m, dag} = 0.4 \text{ m}^2/\text{dag}$ .

### De intrede weerstand van het kanaal ter hoogte van de Autrichepolder

In kanalen waar ondergrondse afstroming plaatsvindt kan zich na verloop van tijd een minder goed doorlatende laag vormen, die ontstaat door verstopping van de grondporeën en sedimentatie van slib op de bodem.



Aan de hand van de vergelijking:

$$q = kDi \quad (1)$$

waarbij  $i$  de hellingsgradient  $\frac{dh}{dx}$  is van het diepe grondwater, is getracht enig inzicht te krijgen over de grootte van de verticale weerstand onder de kanaalbodem. Hierbij is  $x$  = afstand loodrecht op kanaaloever. Om bij 2 waarnemingspunten de helling  $i$  dichtbij het kanaal te bepalen zal het niet-lineaire beloop van de potentiaal in het diepe grondwater worden afgeleid met behulp van de formule van Mazure:

$$h_3(x) = h_3(0) e^{-\frac{x}{\sqrt{kDc}}} = h_3(0) e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (2)$$

Daarbij wordt er vanuit gegaan dat de  $kD$ - en  $c$ -waarde constant zijn, althans over de afstand waar de diepe filters zijn geplaatst. Verder wordt aangenomen dat het freatisch vlak horizontaal is en dat er geen verschillen zijn in zijdelingse afstroming (d. w. z. loodrecht op de raairichting). In dit geval bestaat er een lineair verband tussen de logaritme van de potentiaal en de afstand tot de kanaaloever. De stijghoogte ( $h_3$ ) van het diepe grondwater is hierbij uitgedrukt ten opzichte van de gemiddelde polderwaterstand die de resultante is van de grondwater- en de slootwaterstanden. Aan de hand van fig. 5 is deze gesteld op 0.50 m N. A. P. In fig. 6 is een en ander op half logaritmisch papier weergegeven. Door de beide punten is een lijn getrokken, die geëxtrapoleerd naar de  $y$ -as een waarde voor  $h(0)$  aangeeft. De rechte lijn getrokken door de beide waarnemingspunten lijkt redelijk aanvaardbaar. De helling van de lijn bepaalt de waarde van het produkt  $kDc$ . Deze waarde kan gevonden worden, daar uit formule (2) onmiddellijk volgt:

$$\frac{h_3(x_{25})}{h_3(x_{24})} = \frac{e^{-\frac{x_{25}}{\lambda}}}{e^{-\frac{x_{24}}{\lambda}}} \quad (3a)$$

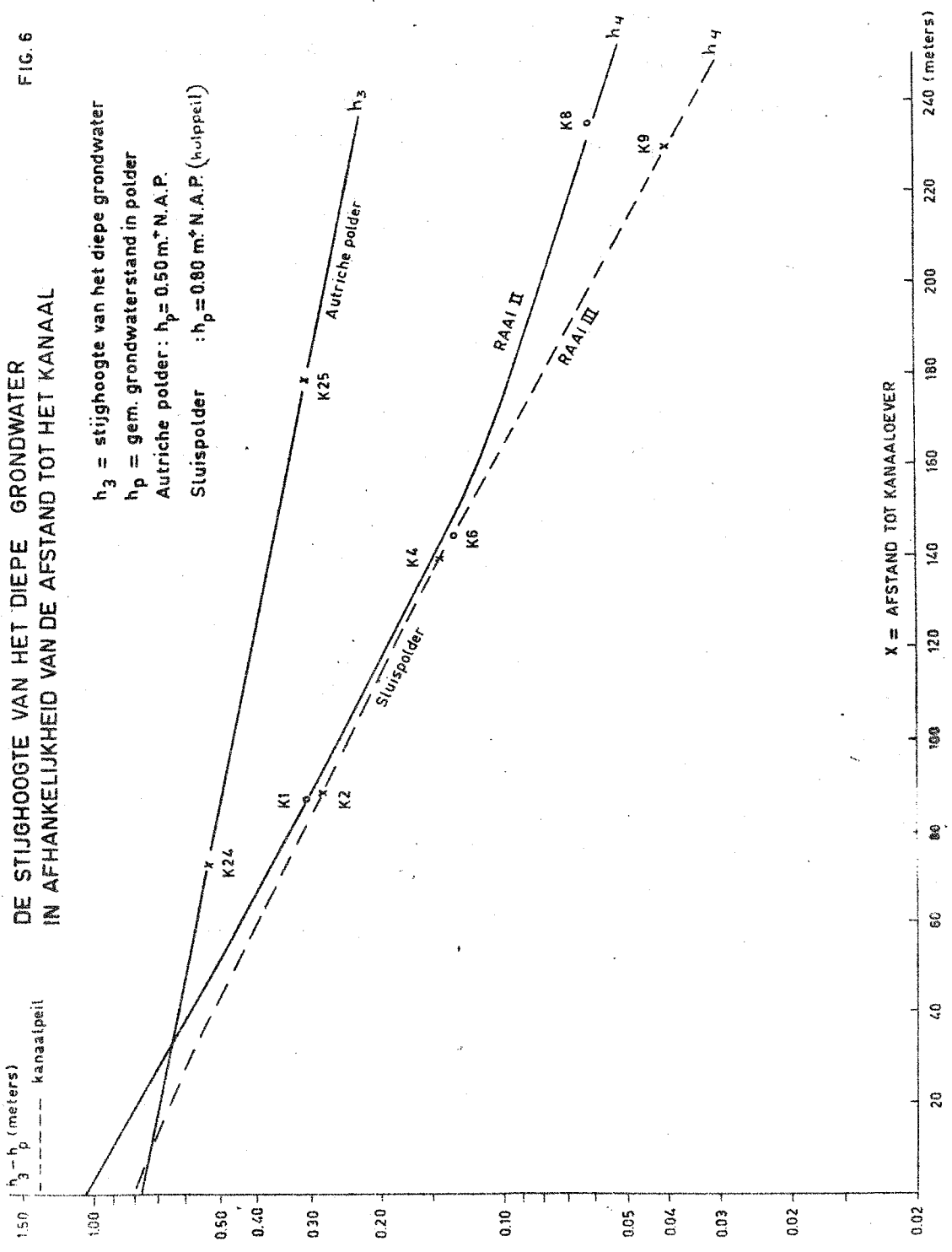
$$\text{of wel: } \frac{x_{25} - x_{24}}{\lambda} = \ln \frac{h_3(x_{24})}{h_3(x_{25})} \quad (3b)$$

Na substitutie vindt men:

$$\lambda = \frac{179-73}{\ln \frac{0.53}{0.30}} = \frac{106}{\ln 1.77} = \frac{106}{0.57} = 186 \text{ meter.}$$

Dit mag men een redelijke uitkomst achten.

FIG. 6  
 DE STIJGHOOGTE VAN HET DIEPE GRONDWATER  
 IN AFHANKELIJKHEID VAN DE AFSTAND TOT HET KANAAL



$h_3$  = stijghoogte van het diepe grondwater  
 $h_p$  = gem. grondwaterstand in polder  
 Autriche polder :  $h_p = 0.50 \text{ m}^* \text{ N.A.P.}$   
 Stuispolder :  $h_p = 0.80 \text{ m}^* \text{ N.A.P. (hulppeil)}$

$X = \text{AFSTAND TOT KANAALOEVER}$

De verticale weerstand van de kanaalbodem:

De rechte lijn door de waarnemingspunten in fig. 6 geeft op de y-as een waarde voor  $h_o$  van 0.77 m ten opzichte van de gemiddelde polderwaterstand ( $h_p$ ) of wel  $0.77 \text{ m} + 0.50 \text{ m} = 1.27 \text{ m N. A. P.}$

Dit is dus de stijghoogte van het diepe grondwater onder de kanaalbodem.

De verticale weerstand van de kanaalbodem kan nu worden berekend met:

$$w_v = \frac{h_k - h_3(0)}{q(0)} = \frac{2,15 - 1,27}{0,4} = 2,2 \text{ dagen/meter} \quad (4)$$

Hierbij is:  $w_v$  = verticale weerstand onder de halve kanaalbodem

$h_k$  = kanaalpeil

$h_3(0)$  = stijghoogte diepe grondwater onder kanaal

$q(0)$  = afstroming naar één zijde van het kanaal

Voorts geldt:

$$k_b = \frac{D}{w_v u} \quad (5)$$

waarbij:  $D$  = laagdikte

$u$  = halve bodembreedte kanaal

$k_b$  = doorlatendheid kanaalbodem

Wordt voor de dikte van de bodemlaag 0.50 m aangenomen dan is:

$$k_b = \frac{0.50}{2,2 \times 100} = 0,002 \text{ m/dag}$$

De bodemconstanten van het 2-lagen pakket

Voortbouwend op de in de vorige paragraaf vermelde uitgangstellingen kan een gemiddelde waarde worden berekend voor de  $kD$  en  $c$  in het onderzochte gedeelte van de Autrichepolder met:

$$kD = \frac{q(0)}{i(0)} \quad (6)$$

Voor de  $i(0)$  wordt uit fig. 5 gevonden een waarde van 0,04.

$q(0)$  is de afstroming uit het kanaal =  $0,4 \text{ m}^2/\text{dag}$ .

$$kD = \frac{0,4}{0,04} = 100 \text{ m}^2/\text{dag}$$

Daar  $\lambda = \sqrt{kDc} = 186$  meter, volgt nu als gemiddelde waarde voor de verticale weerstand van de afdekkende bovenlaag:

$$c_{\text{gem}} = \frac{186^2}{100} = 350 \text{ dagen}$$

Deze c-waarde kan van plek tot plek zeer variabel zijn. Gezien het vrij regelmatig verloop van het freatisch vlak lijkt deze variabiliteit hier echter waarschijnlijk niet aanwezig te zijn.

De intensiteit van de kwel

De horizontale afstroming kan worden berekend door formule (6), welke is afgeleid uit formule (2), nu in een iets algemenere vorm te schrijven:

$$q(x) = -kD \frac{dh_3}{dx} = \sqrt{kD} e^{-\frac{x}{\sqrt{kDc}}} \quad (7)$$

Door substitutie van de gevonden waarden van kD en c in formule (7) kan men voor verschillende afstanden x tot de kanaaloever de volgende uitkomsten vinden:

x	0	100	200	300 meter
$\frac{x}{\lambda}$	0	0,54	1,08	1,62
$e^{-\frac{x}{\lambda}}$	1	0,58	0,34	0,20
$h_3(x)$	0,78	0,45	0,265	0,155
q(x)	0,40	0,23	0,14	0,08

Voor een berekening van de kwelintensiteit (K) kunnen de volgende formules dienen:

$$K(x) = dq/dx \quad \text{of wel} \quad K(x) = h_3/c \quad (8a, b)$$

Voor de gemiddelde waarde van de kwel kan het beste worden gebruik gemaakt van:

$$K_{\text{gem}} = \frac{q(x_1) - q(x_2)}{x_2 - x_1} \quad (9)$$

De gemiddelde kwel over een strook van 300 meter breedte langs het kanaal kan nu worden berekend met behulp van (9):

$$K_{\text{gem}} = \frac{0,4 - 0,08}{300} = 0,0011 \text{ m/dag} = 1,1 \text{ mm/dag}$$

Wegens de evenredigheid van de getallen in de laatste 3 regels van voorgaande tabel is onmiddellijk af te lezen dat 80% van de kwel omhoog komt in een 300 meter brede strook langs het kanaal en slechts 20% op grotere afstand van het kanaal.

## RESULTATEN VAN DE METINGEN IN DE SLUISPOLDER

### De stijghoogte van het grondwater

De hydrologische situatie in deze polder wordt weergegeven door de verticale doorsnede van een aantal raaien peilbuizen, loodrecht op en evenwijdig aan het Kanaal van Gent naar Terneuzen. Zie voor de ligging en nummering van deze raaien fig. 3.

Aanvankelijk was alleen raai IV geplaatst, bestaande uit landbouwbuizen met het filter op 0.50 m tot 2.00 m beneden maaiveld, afhankelijk van de grondwaterdiepte. De opzet van deze raai was na te gaan of de grondwaterstand de oorzaak was van de slechte structuur en de slechte stand van het gewas op een deel van het perceel, alsmede van de abrupte overgang van een slechte naar een goede gewasstand (fig. 4).

Naderhand zijn de overige raaien I, II en III geplaatst. Behalve landbouwbuizen zijn buizen met filters op het niveau van de oude en de nieuw gegraven kanaalbodem geplaatst. Het voornaamste doel hiervan was een inzicht te geven in de mate van heterogeniteit van de verticale stromingsweerstand binnen de oppervlakte van een perceel.

Fig. 7 en 8 tonen aan dat de slechte gewasstand een gevolg moet zijn van de gemiddeld zeer hoge grondwaterstand in de zomer (ca. 0.15 m -mv.). De abrupte overgang van een slechte naar een goede stand van het gewas blijkt samen te vallen met de verandering op korte afstand van de grondwaterdiepte. In het gedeelte met een goede gewasgroei is de grondwaterstand ca. 80 cm lager dan in het gedeelte met wateroverlast.

Uit de grondboringen tot 2.00 meter is gebleken dat zich ter plaatse van de diepere waterstanden op ca. 1.60 meter beneden maaiveld een slecht doorlatende kleilaag bevindt, die op de plaats waar de hoge grondwaterstanden voorkomen ontbreekt. Deze laag is ingetekend in fig. 7. Het profiel kan hier worden gekenschetst als een zavelig zandig pakket.

De figuren 9 en 10 zijn de verticale doorsneden van respectievelijk de raaien II en III, loodrecht op het kanaal weergegeven. Uit beide figuren blijkt in de eerste plaats, dat er evenals in de Autrichepolder een potentiaal verschil bestaat tussen het diepe en het ondiepe grondwater.



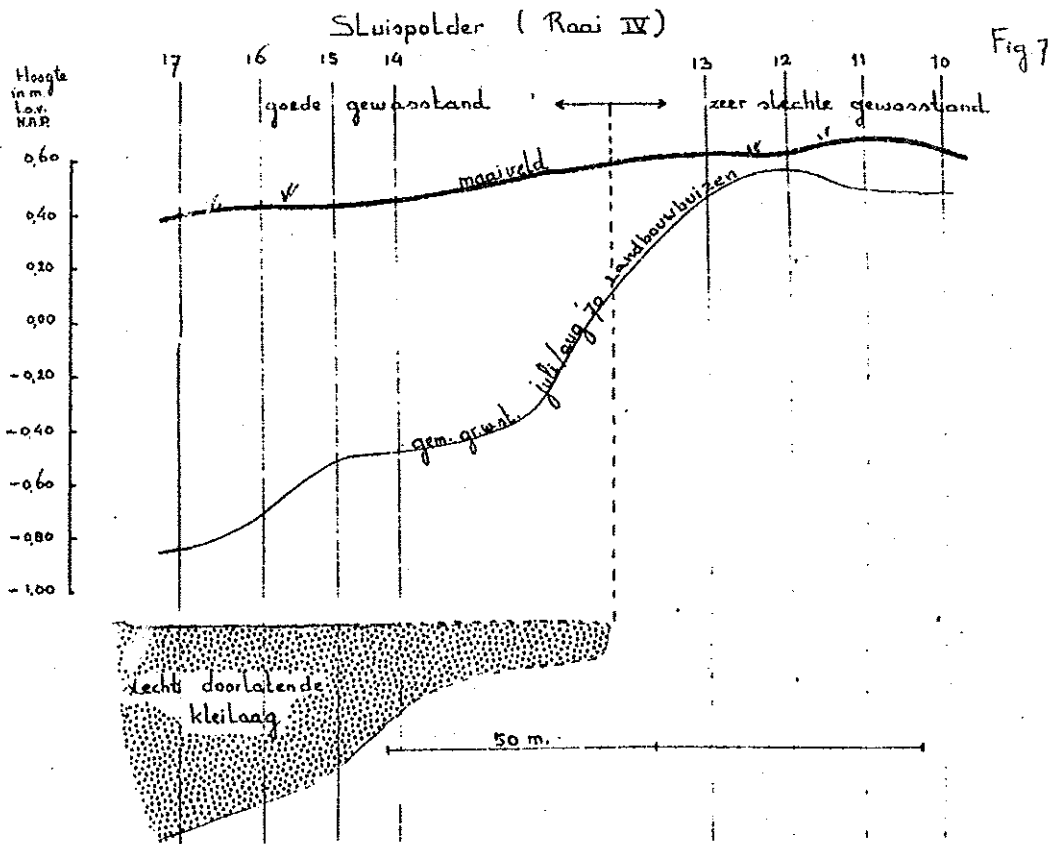


Fig. 8.

SLuispolder  
 Raai 1

stijghoogte grondwater  
 (gemidd. vaug./sept '70)

—	Fillerdiepte	1-2 m - m.v.
-o-o	"	5 m. "
---	"	8 m. "
- - -	"	13 m. "

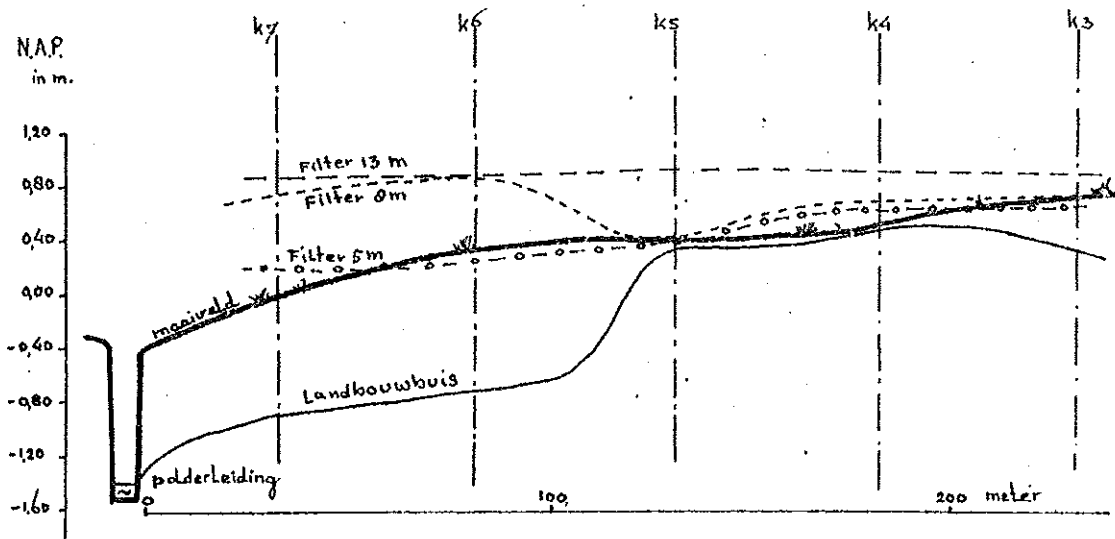


Fig. 9

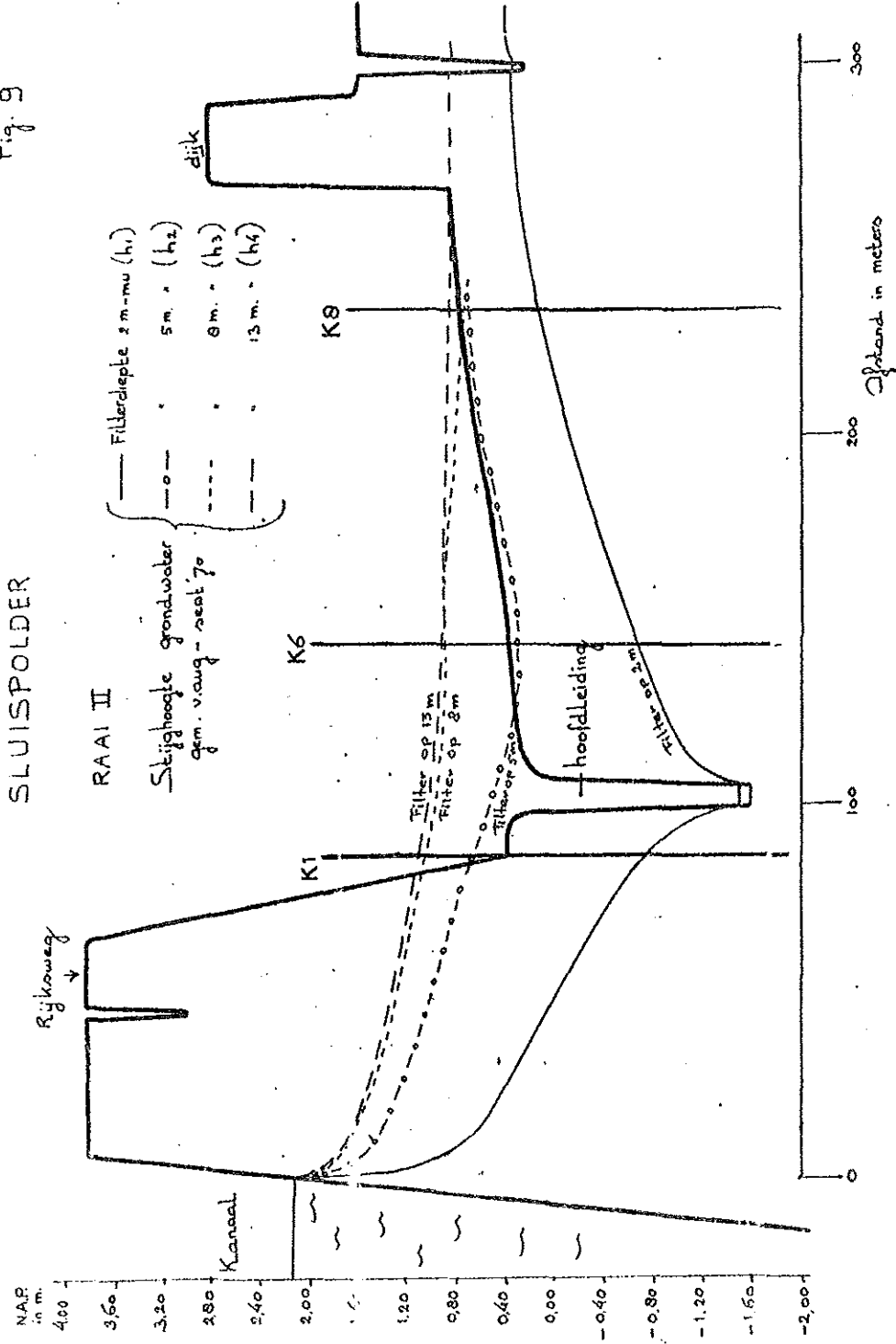
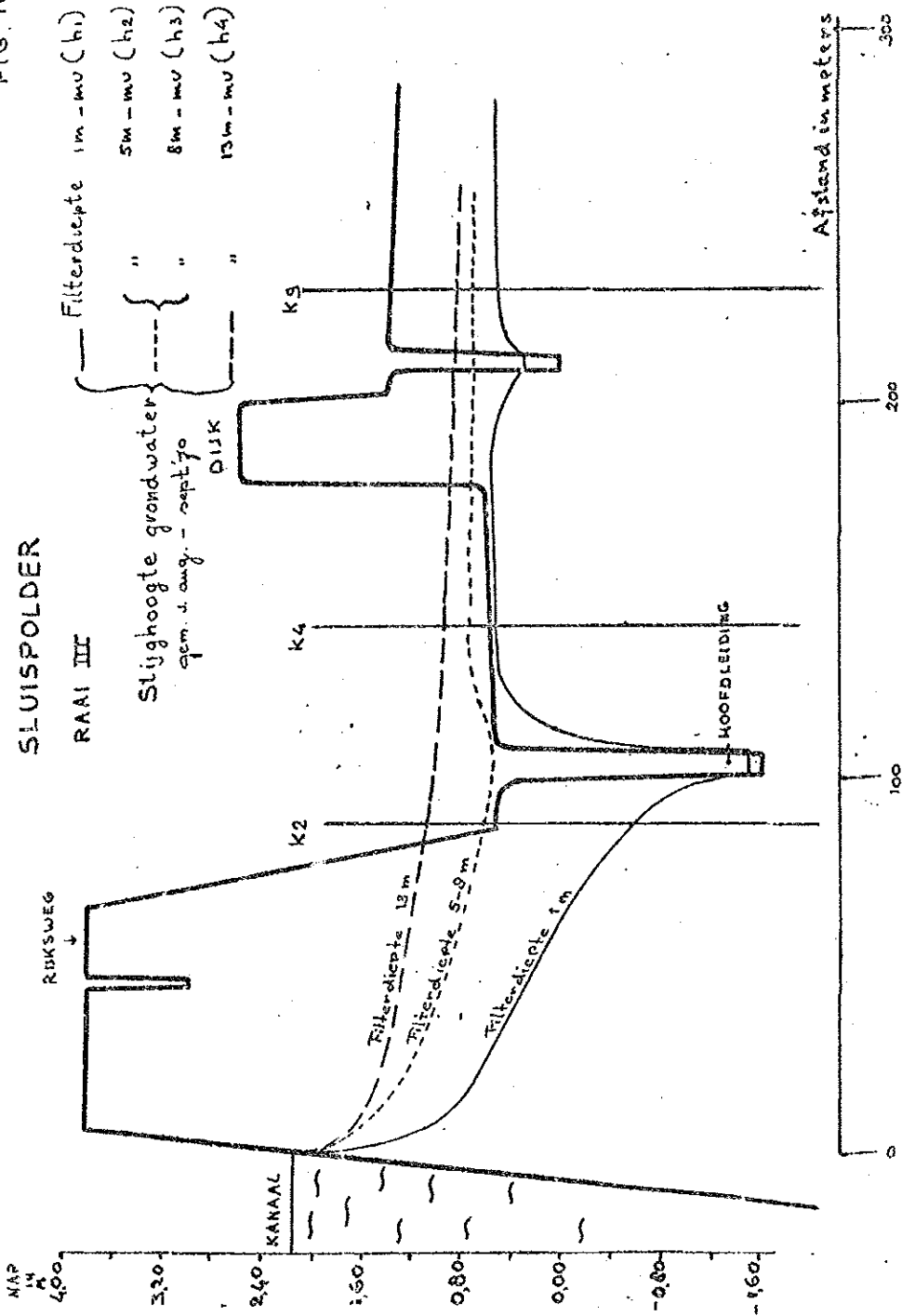


FIG. 10



Dit wijst op de aanwezigheid van kwel. Het verloop van de stijghoogtelijnen van het diepe grondwater geeft aan dat deze kwel haar oorsprong vindt in het kanaal. De figuren 9 en 10 laten duidelijk zien, dat het stijghoogteverloop  $h(x)$  voor de raaien II en III vrijwel gelijk is. Het zeer ondiepe freatisch oppervlak in raai III zou men daarbij kunnen verklaren door aan te nemen dat de bovengrond in raai III tot een diepte van ca. 2 m onder maaiveld zoveel slechter doorlatend is dan in raai II, dat hierdoor geen verschil in kwelintensiteit optreedt.

Het lijkt echter nog eerder mogelijk dat het hoge freatisch oppervlak in raai III een gevolg is van een erosiegeul, waar alle kleilagen zijn opgeruimd en later grovere zanden dan in de omgeving zijn afgezet. Dit zou dan inhouden dat de kwelstroming in raai III belangrijk sterker zou zijn dan in raai II.

#### De wegzijging vanuit het kanaal

Evenals voor de Autrichepolder zijn tegenover de Sluispolder enkele metingen verricht in het kanaal met het doel de intensiteit van de ondergrondse afstroming vanuit het kanaal naar de aangrenzende polders vast te stellen. Uit deze metingen, die in juli 1970 zijn uitgevoerd, blijkt dat over een breedte van ca. 150 meter kanaalbodem gemiddeld 23 mm/dag ondergronds afstroomt. Uitgaande van de veronderstelling dat de afstroming naar beide zijden van het kanaal gelijk is, duidt dit op een afstroming naar de Sluispolder van  $1.7 \text{ m}^2/\text{m}^1$ , dag.

#### De intredeweerstand van het kanaal ter hoogte van de Sluispolder

Op dezelfde wijze als dit is gedaan voor de Autrichepolder is in fig. 6 de stijghoogte van het diepe grondwater logaritmisch uitgezet tegen de afstand van het kanaal. In genoemde figuur is zowel raai II als raai III weergegeven. In dit geval is er echter minder reden een zuiver rechte lijn te verwachten. Immers, de verschillen in bodemgesteldheid en in hoogte van het freatisch vlak doen reeds vermoeden, dat de raaien II en III niet gelijkwaardig zijn. Bovendien kan men aanvoeren dat het grote peilverval tussen de hoofdleiding en de kavel-sloot en de mogelijk ook daarmee samenhangende verschillen in grondwaterstand een bezwaar vormen tegen het toepassen van de formule van Mazure.

Door de gemeten stijghoogten van het diepe water op enkel-logaritmisch papier uit te zetten ten opzichte van een peil  $h_p = 0.80$  m N. A. P. blijkt echter toch dat voor beide raaien het verband ongeveer rechtlijnig is. Uit extrapolatie van de door de punten getrokken lijnen vindt men onder de kanaalbodem verschillende hoogten van het diepe grondwater en wel respectievelijk 1.90 m en 1.60 m N. A. P. voor raai II en III. Aan afstroming uit het kanaal is in raai III gemeten  $1.7 \text{ m}^2/\text{dag}$ . Met behulp van vergelijking (4) wordt voor de intredeweerstand in deze raai gevonden:

$$w_v = \frac{2.15 - 1.60}{1.7} = 0,325 \text{ dagen/meter}$$

Wordt ook hier, evenals dit is gedaan voor de Autrichepolder, voor de verdichte bodemlaag een dikte van 0.50 m aangehouden, dan is bij een kanaalbreedte van 150 m

$$k = \frac{0.50}{0,325 \times 75} = 0,02 \text{ m/dag}$$

Uit deze berekeningen blijkt dat hier de kanaalbodem in raai III in vergelijking met de Autrichepolder een 10 maal geringere weerstand heeft.

Men kan zich nu afvragen of deze waarden voor  $w_v$  en  $k_b$  ook in grootte-orde in raai II geldig zijn. Gaat men hiervan uit dan volgt uit het kleinere verschil  $h_k - h_4(0)$  en de ongeveer gelijke helling  $i(0) = \frac{dh_4}{dx(0)}$ , dat de afstroming dan ongeveer 0,5 maal zo groot zou moeten zijn, een mogelijkheid die reeds tevoren als niet onwaarschijnlijk werd aangeduid.

De bodemconstanten en de kwel

Op analoge wijze als voor de Autrichepolder werd gedaan, kunnen  $kD$ -waarden voor beide raaien van de Sluispolder worden bepaald. Voor de hellingsgradient in fig. 6 wordt voor raai II en III een vrijwel gelijke waarde gevonden, die gesteld kan worden op  $i = 0,01$ . De meest betrouwbare  $kD$ -waarde kan nu voor raai III met behulp van formule (6) worden gevonden:

$$kD = \frac{1,7}{0,01} = 170 \text{ m}^2/\text{dag}$$

Met minder zekerheid volgt tenslotte voor raai II een uitkomst ongeveer gelijk aan de Autrichepolder:

$$kD = \frac{0,85}{0,01} = 85 \text{ m}^2/\text{dag}$$

Op grond van het vermoeden dat de afdekkende kleilaag in raai III tussen hoofdleiding en kavelsloot ontbreekt dan wel dunner is of een veel betere doorlatendheid heeft en daardoor een sterkere toestroming van diep grondwater naar de bovengrond veroorzaakt, zou men verwachten dat de grondwaterspiegel  $h_4(x)$  volgens de diepere buizen daar een sterkere indeuking zou moeten vertonen. Dat een dergelijk effect in de afgebeelde doorsneden niet zichtbaar is, kan worden verklaard uit de verschillen in  $kD$ -waarde. Het kan eventueel ook mede veroorzaakt worden door kleine meetfouten van niet meer dan enkele centimeters. Hoe dit ook zij, uit de doorsneden blijkt dat  $h_4(x)$  voor de raaien II en III zo weinig verschillend zijn (parallelstroming), dat beide raaien onafhankelijk van elkaar twee-dimensionaal mogen worden behandeld.

Voor beide raaien is op grond van de zeer kleine helling voor  $h_4(x)$  bij  $x = 300 \text{ m}$  - namelijk  $i = 0,0011$  - te concluderen dat in een 300 meter brede strook langs het kanaal zelfs 90% van de kwel omhoog komt.

Door substitutie van bovengenoemde waarden in formule (9) volgt voor de gemiddelde kwel in raai II:

$$K_{\text{gem}} = \frac{(0,85 - 0,085)1000}{300} = 2,5 \text{ mm/dag}$$

Daar de gemiddelde waarde van het verschil  $h_4 - h_1$  rond 120 cm bedraagt, vindt men voor de verticale weerstand van de afdekkende laag met behulp van formule (8b):

$$c_{\text{gem}} = \frac{h_4 \text{ gem}}{K_{\text{gem}}} = \frac{1,20}{0,0025} = 480 \text{ dagen}$$

Hieruit volgt dat de sterkere kwel in raai II ten opzichte van de Autrichepolder veroorzaakt wordt zowel door de grotere doorlatendheid van de kanaalbodem als door het relatief grote verschil in stijghoogte tussen diep en ondiep grondwater.

Dat de toestand in de Sluispolder bij raai II ondanks de sterke kwel toch nog vrij goed is, kan tenslotte worden verklaard uit de diepe ligging van het peil van de hoofdleiding, welke de zeer sterke kwel aantrekt maar daarbij toch de grondwaterspiegel  $h_1$  op voldoende diepte beneden maaiveld houdt.

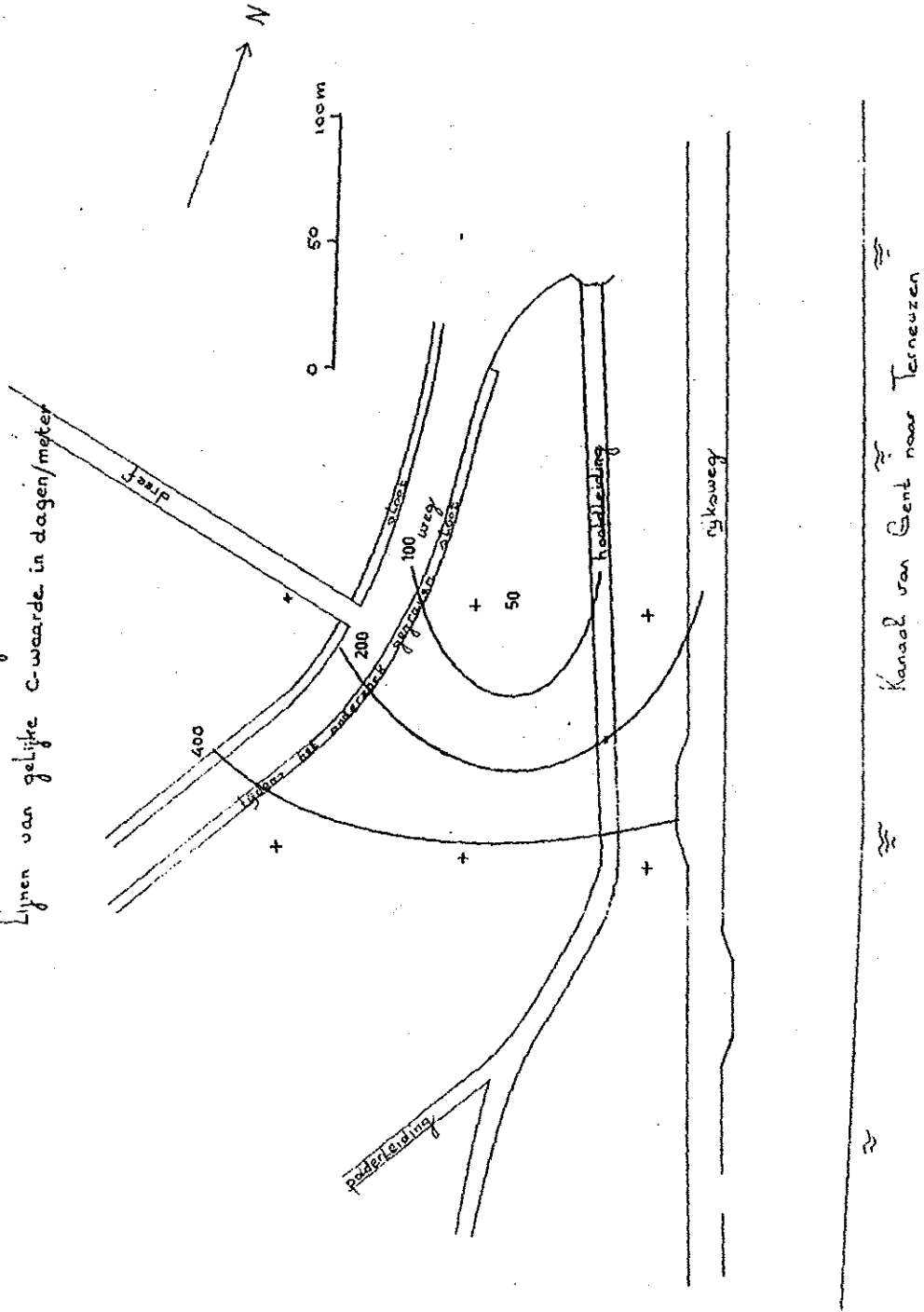
Dezelfde formules toegepast op raai III levert respectievelijk op:

Sluispolder

Vertikale stromingsweerstand

Lijnen van gelijke C-waarde in dagen/meter

Fig 11



Kanaal van Gent naar Terneuzen

rijkaweg

hoofdleiding

paddeleiding

dreef

400

200

100

50

0 50 100m

N



$$K_{\text{gem}} = 5 \text{ mm/dag}$$

$$c_{\text{gem}} = 140 \text{ dagen}$$

Zou men binnen raai III nog onderscheid willen maken, dan lijkt het meest waarschijnlijke dat tussen hoofdleiding en kavelsloot de minimum weerstand ongeveer 50 dagen kan bedragen (gem. potentiaalverschil in verticale richting 50 cm dus gem. kwel 10 mm/dag en daarbuiten ongeveer 250 dagen, zie fig. 11).

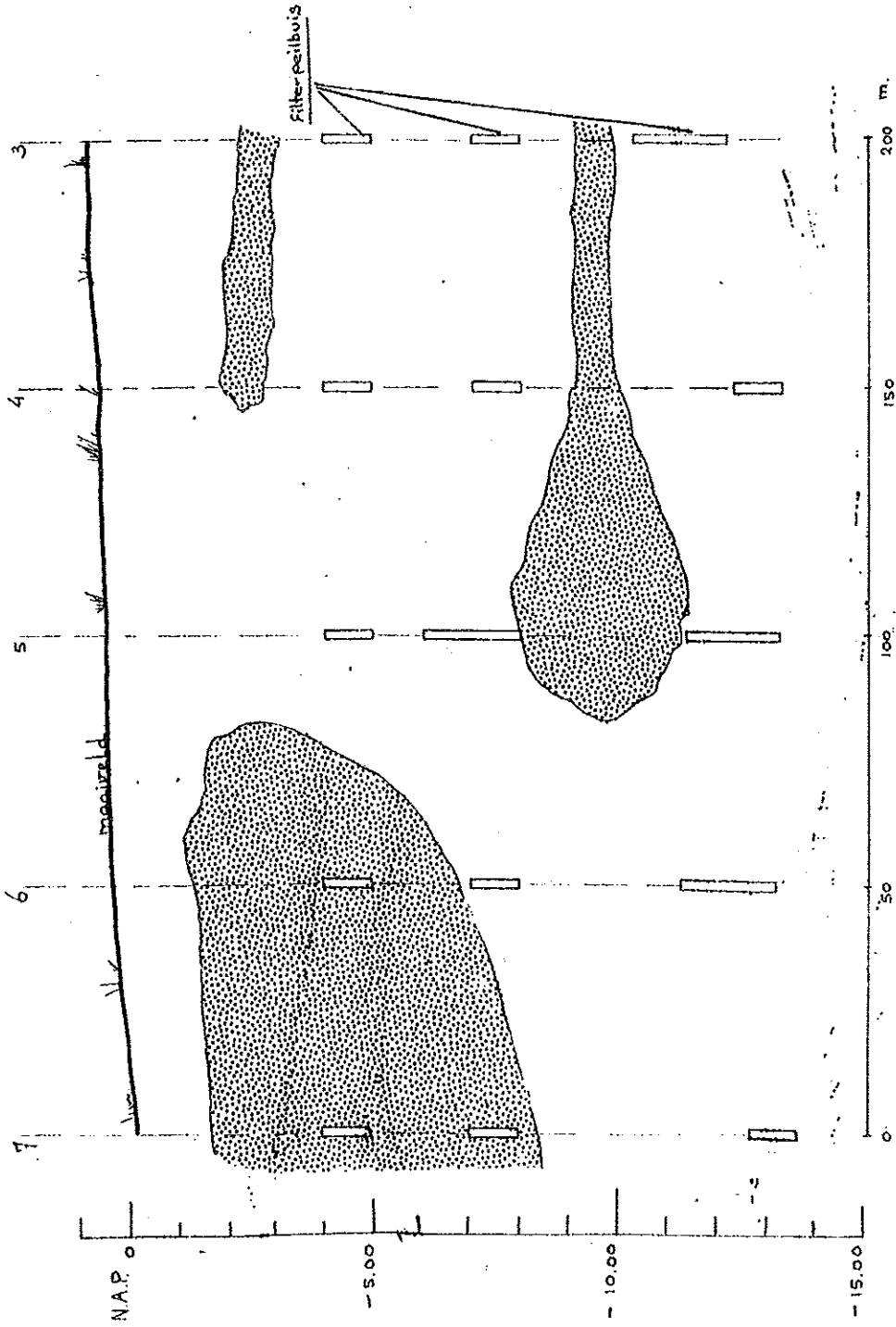
Aan de hand van de gemeten potentiaalverschillen tussen de peilbuizen op verschillende diepten (fig. 8) is de vermoedelijke ligging van de slecht doorlatende lagen van raai I schetsmatig weergegeven in fig. 12. De hier getoonde heterogeniteit komt overeen met wat in Nederland bij vrij veel pompproeven uit de boringen werd afgeleid. Het is aannemelijk dat de hier geschetste onderbroken gelaagdheid ook in de richting loodrecht op het kanaal zal voorkomen. In dit verband is het dan ook waarschijnlijk dat zich bij de verbreding en verdieping van het kanaal situaties hebben voorgedaan gelijkwaardig aan die welke door fig. 13 wordt weergegeven. Onder dergelijke omstandigheden is er geen sprake van een aan de verbreding evenredige verschuiving van het kwelpatroon, maar van een duidelijke verslechtering van de toestand door een toename van de kwel.

## DE ZOUTSCHADE

In de Sluispolder waren in de zomer van 1970 duidelijk visuele kenmerken aanwezig die wezen op een combinatie van wateroverlast met zoutschade. Niet alleen waren deze kenmerken er bij het gewas, maar ook de grond vertoonde plaatselijk een duidelijke natriumstructuur. In verband hiermede zijn ter plaatse van de grondwaterstandsbuizen in juni 1970 grondmonsters genomen op een diepte van 0-10 cm en 50-60 cm beneden maaiveld. Van deze monsters is het C-cijfer bepaald. Ook van het grondwater op ca. 1 meter diepte is het chloridegehalte vastgesteld. De resultaten van deze analyses zijn weergegeven in fig. 14. Duidelijk blijkt hieruit dat in het gedeelte van de Sluispolder waar de hoge waterstanden voorkomen reeds dicht onder maaiveld veel te hoge concentraties zout in de bodem aanwezig zijn. Dit is niet verwonderlijk als men in dezelfde figuur ziet dat het grondwater een chloridegehalte heeft van ca. 5 g.  $\text{Cl}^-$ /l.

Fig. 12

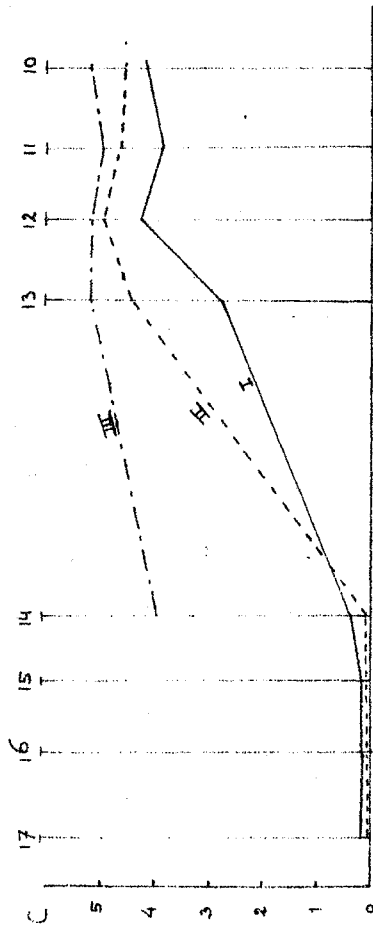
Ligging slecht doorlatende lagen, ingeschetst aan de hand van de potentiaalverschillen in fig. 7.





C - cijfer grondmonsters en chloridegehalte grondwater (juni 1970)  
 Sluispolder (Raai IV)

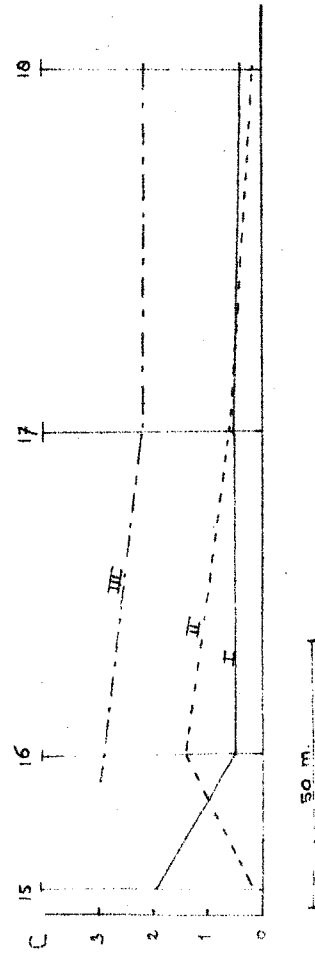
Fig. 14



Legenda:

- IV = nummer gr.wat. buis
- I = c. cijfer van grondmonster op 0-10 cm - mv
- II = " " " " 50-60 cm - mv
- III = Chloridegehalte grondwater in g Cl/l op ca. 1 m. - mv.

Outriche polder



50 m

Door de in dit poldergedeelte voorkomende sterke kwel is het te verwachten dat in de winter de zoetwaterlaag van het grondwater zich hier niet verder zal uitbreiden dan een halve meter dikte. Er blijkt uit fig. 14 dat, op het tijdstip van monstername waaraan een droge periode voorafging, dit zoete water niet meer aanwezig was. Aangenomen mag worden dat dit reeds was verbruikt door capillaire opstijging. In het gedeelte van het perceel waar veel lagere grondwaterstanden voorkomen blijkt de bovengrond niet verzilt te zijn.

In de Autrichepolder is het grondwater minder zout dan in de Sluispolder, zoals fig. 14 illustreert. De zoutconcentratie in de bovengrond is aanzienlijk lager dan in het gedeelte van de Sluispolder waar schade optreedt, maar hoger dan in het goede deel van de Sluispolder. Tijdens de waarnemingsperiode is hier geen zoutschade aan de gewassen geconstateerd.

#### SAMENVATTING EN CONCLUSIE

Naar aanleiding van klachten over schade door wateroverlast in de zone grenzend aan het Kanaal van Gent naar Terneuzen en die in verband werden gebracht met de verbreding en verdieping van dit kanaal, is op een tweetal plaatsen, te weten in de Autrichepolder en in de Sluispolder, onderzoek verricht naar de oorzaken van deze wateroverlast. Het feit dat geen grondwaterstandsgegevens beschikbaar waren over de oorspronkelijke toestand, dat wil zeggen vóór dat met het graafwerk werd begonnen, maakte een vergelijking van de oude met de nieuwe toestand onmogelijk. Dit impliceert dat dit onderzoek niet tot een conclusie kon leiden waarin een absoluut antwoord wordt gegeven op de vraag of de wateroverlast op de betreffende percelen waar schade is geconstateerd, door de vergroting van het kanaal wel of niet is toegenomen. Bij het onderzoek is dan ook in de eerste plaats nagegaan of ondergrondse afstroming vanuit het kanaal naar de belendende landbouwgronden plaatsvindt en zo ja of er motieven aanwezig zijn om aan te nemen dat plaatselijk de afstroming is toegenomen als gevolg van de verbreding en verdieping van het kanaal.

In dit kader zijn voor het meten van de potentiaalverschillen in het grondwater op de onderzoeksplekken peilbuizen op verschillende diepten geplaatst. Aan de hand van de hieruit verkregen gegevens kon worden

vastgesteld dat afstroming vanuit het kanaal verantwoordelijk is voor de ook nog in de zomer hoog voorkomende grondwaterstanden. Vooral op het onderzoeksperceel in de Sluispolder werden zeer hoge grondwaterstanden gemeten. Dit freatisch grondwater bleek ca. 5 g. Cl<sup>-</sup>/l te bevatten, waardoor de bovengrond ter plaatse geheel verzilt bleek te zijn. Opmerkelijk in deze polder was in het jaar 1969 toen met de metingen werd begonnen, de scherpe overgang van een goede naar een slechte gewasstand (fig. 4).

Door middel van wegzijgingsmetingen in het kanaal ter plaatse van de onderzoeksplekken is de grootte van de afstroming vastgesteld. Ter hoogte van de Autrichepolder werd op deze wijze een afstroming gemeten van 0,4 m<sup>2</sup>/dag. Bij de Sluispolder bleek de afstroming aanmerkelijk groter te zijn. Hier werd in raai III gemeten 1,7 m<sup>2</sup>/dag. Vermoedelijk is ook in raai II de afstroming nog wel dubbel zo groot als in de Autrichepolder. Dit ondanks het feit dat de hoofdleiding in deze polder 100 meter verder van het kanaal verwijderd ligt dan de wegsloot in de Autrichepolder die direct aan de kanaaldijk grenst. De oorzaak hiervan moet in belangrijke mate worden toegeschreven aan de bijna 10 maal geringere intredeweerstand van de kanaalbodem ter hoogte van de Sluispolder (0,325 dagen/meter), de grotere kD-waarden (170 m<sup>2</sup>/dag) in raai III in dit onderzoeksobject, tegenover 100 m<sup>2</sup>/dag in de Autrichepolder en aan een lager peil in de dijksloot (Sluispolder -1,5 m<sup>NAP</sup>; Autrichepolder +0,2 m N. A. P.).

Een belangrijk facet van het uitgevoerde onderzoek is de gevonden heterogeniteit in de berekende verticale stromingsweerstand. Hiermede kunnen ook de grote verschillen in gewasgroei in de Sluispolder (fig. 4) worden verklaard. Bovendien wordt het hierdoor duidelijk dat de verbreding van het kanaal niet altijd slechts een evenredige verschuiving van het kwelpatroon tot gevolg gehad behoeft te hebben. Dit eerste geldt namelijk alleen voor die gevallen waar sprake is van een horizontaal homogeen pakket. Komen echter over korte afstand verschillende bodemconstanten voor, dan kan de verbreding een verandering in de intensiteit van afstroming en daarmee een verandering van het kwelpatroon in de aan het kanaal grenzende gronden tot gevolg hebben.

Een dergelijke situatie is afgebeeld in fig. 13.

In principe kunnen door de verbreding de verschillen in bodemconstanten langs het kanaal ook in gunstige richting gewerkt hebben waardoor de

kwel kan zijn afgenomen. De kans hierop is echter door de verdieping van het kanaal gering. De potentiaalmetingen in de peilbuizen op verschillende diepten wijzen namelijk in de Sluispolder op een grotere homogeniteit van de watervoerende laag in het traject waar de verdieping heeft plaatsgevonden dan in het gedeelte van het bodemprofiel boven de hoogte van de oude kanaalbodem. In dit gedeelte blijken zich voornamelijk de minder goed doorlatende banken te bevinden. Gezien in dit licht is de kans groot dat een slecht doorlatende laag bij de verdieping van het kanaal werd doorbroken, waardoor de radiale stromingsweerstand kan zijn verkleind. Als gevolg hiervan kan de kwel groter geworden zijn, waardoor er schade kan ontstaan of wel reeds bestaande schade kan toenemen. Dit effect is niet in de gegeven berekeningen opgenomen, daar deze berekeningen alleen betrekking hebben op de huidige toestand en zoals reeds werd aangeduid de toestand van voor de verbreding bekend zou moeten zijn.

Dat dergelijke situaties slechts incidenteel voorkomen op relatief kleine oppervlakten van minder dan 1 ha is wel aannemelijk gezien de gegevens van de onderzoeksplekken. De zone waarbinnen nog schade onder invloed van afstroming uit het kanaal kan ontstaan zal zich maximaal tot ca. 300 meter van het kanaal uitstrekken.

In de Sluispolder werd in het tijdvak dat de metingen ten behoeve van het onderzoek werden verricht ter plaatse de dijk tussen de Sluis- en de Goeschepolder afgegraven en langs de op het tracé nieuw aangelegde weg een kavelsloot gegraven (fig. 3). Met de vrijgekomen grond werd een deel van het onderzoeksperceel opgehoogd. Tijdens het onderzoek was reeds een gunstig effect van deze werkzaamheden op de grondwaterstanden merkbaar en dit zal ongetwijfeld ook gunstig doorwerken op het opbrengstniveau.

#### LITERATUUR

RIDDER, N. A. DE, 1957. Agrohdrologische profielen van Zeeland  
(Ministerie van Landbouw en Visserij)

WEERD, B. VAN DER, 1966. Apparatuur voor het meten van slootkwel  
I. C. W. Mededeling nr. 95.