

it voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

NN31545.0851

DE TE VERWACHTEN VERANDERINGEN IN HET GRONDWATERNIVEAU
IN DE AANGRENZENDE POLDERS TIJDENS DE UITVOERING
VAN DE DIJKVERHOGING TEN WESTEN VAN DE
VEERHAVEN PERKPOLDER

Ing. B. van der Weerd

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

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.

544228

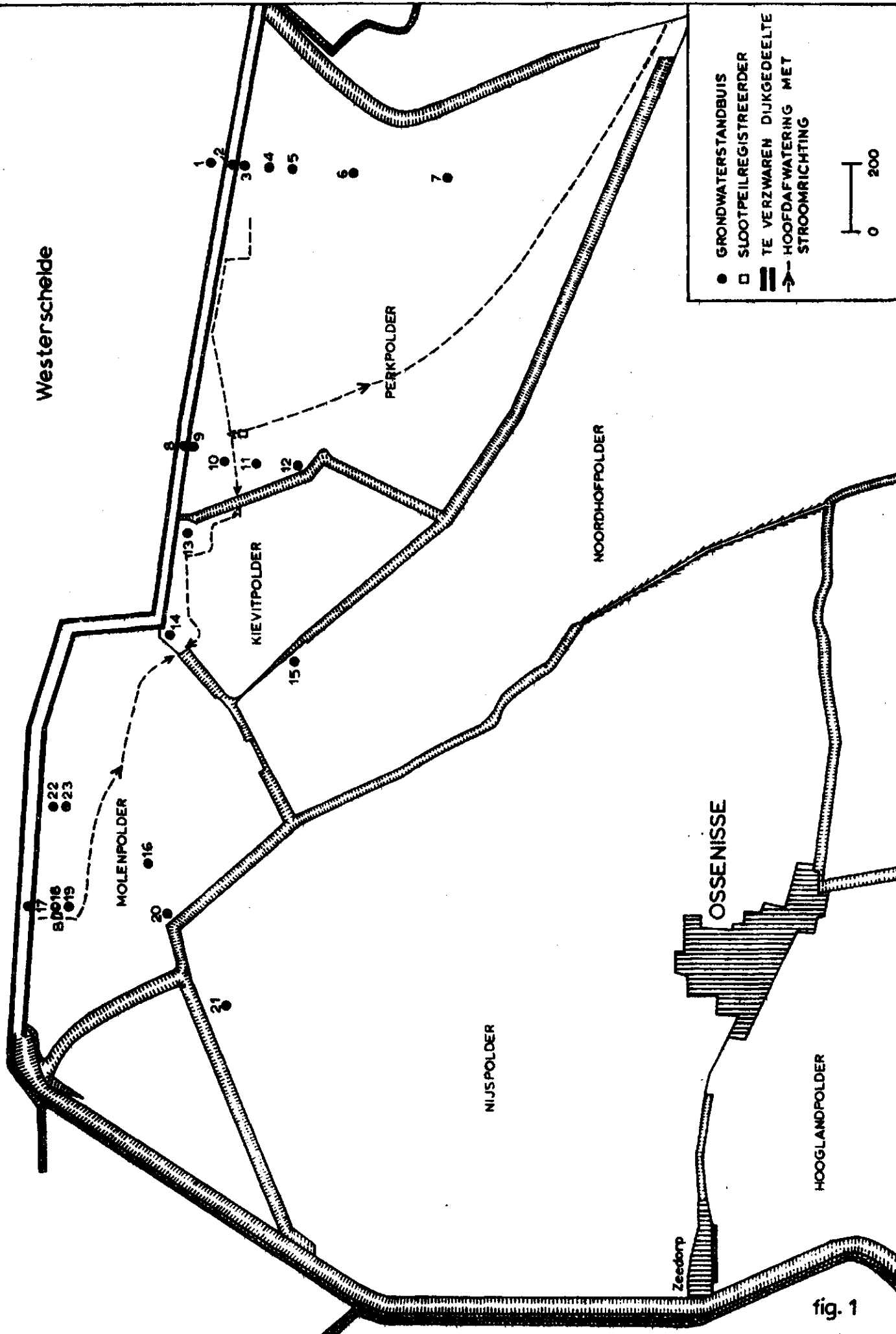
I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. BESCHRIJVING ONDERZOEKSGBIED	3
2.1 BODEMGESTELDHEID	3
2.2 HOOGTELIIGGING	5
2.3 AFWATERING	5
3. VERZAMELDE MEETGEGEVENS	5
4. WIJZE VAN ONDERZOEK	7
5. BEREKENING HYDROLOGISCHE CONSTANTEN	7
5.1 DE GETIJBEWEGING	7
5.2 DE k_{Dc} -WAARDEN	7
6. DE TE VERWACHTEN WATEROVERLAST IN DE POLDERS	16
6.1 FAKTOREN BEPALEND VOOR DE WATEROVERLAST	16
6.2 BEREKENING GRONDWATERSTROMING	16
7. SAMENVATTING EN CONCLUSIE	22
LITERATUUR	23
VERKLARING VAN GEBRUIKTE NOTATIES	24

1. INLEIDING

In het kader van de deltawerken zal binnenkort in Oost-Zeeuws-Vlaanderen aan de verzwaring van 3 km Westerscheldedijk worden begonnen, gelegen langs de Perk-, Kievit- en Molenpolder (fig.1). De oude zeedijk zal worden verbreed en opgehoogd van 6 m tot 9.50 m + N.A.P. De verbreding zal met uitzondering van het gedeelte tussen de dijkpalen 20 en 27, aan de landzijde plaatsvinden. De benodigde hoeveelheid zand zal rechtstreeks met behulp van een zandzuiger en persleiding van uit de Westerschelde in het werk worden gespoten t.w. tussen de bestaande dijk en een landinwaarts aan te brengen perskade. In eerste aanleg zal het zand worden opgespoten tot een hoogte van 3.50 m + N.A.P. Vervolgens zal op het opgespoten gedeelte een tweede perskade worden aangebracht waarna zal worden gespoten tot een hoogte van 6 m + N.A.P. Tijdens deze werkzaamheden zal zout Westerscheldewater van uit het spuitvak ondergronds naar de belendende polders kunnen afstromen en schade kunnen aanrichten aan landbouwgewassen en beplanting. In verband hiermede is door de Provinciale Waterstaat van Zeeland verzocht eventuele veranderingen in de water- en zouthuishouding die ten gevolge van de werkzaamheden in de belendende polders zouden kunnen optreden vast te stellen. Het voor dit doel gewenste inzicht in de nul-situatie maakte het verzamelen van gegevens inzake grondwaterstanden en slootpeilen vòòr het begin van de werkzaamheden noodzakelijk.

De tot nog toe verzamelde gegevens boden echter, naast het vastleggen van de uitgangstoestand, de mogelijkheid een prognose te maken van de veranderingen die in de grondwaterstanden kunnen optreden als de werkzaamheden volgens de bestaande plannen worden uitgevoerd. De uitkomsten van deze bewerking zijn van dien aard dat het van belang leek deze in een nota vast te leggen, nog vòòr dat de wijze van uitvoering definitief zijn beslag heeft gekregen.



- GRONDWATERSTANDBUIS
- SLOOTPEILREGISTREERDER
- ▬ TE VERZWAREN DIJKGEDEELTE
- ↑ HOOFDAFWATERING MET STROOMRICHTING



fig. 1

2. BESCHRIJVING ONDERZOEKSGBIED

2.1 BODEMGESTELDHEID

De ondergrond bestaat overwegend uit zanden. Tussen 20 á 30 m - N.A.P. bevindt zich een slecht doorlatend pakket van klei en leem (Geol. Dienst 1962). Boven dit vrijwel afsluitende pakket bevindt zich de Formatie van Halsteren. Hierin kunnen als gevolg van de heterogene samenstelling sterk uiteenlopende doorlatendheden voorkomen. In de Formatie van Vlissingen die op het vorige pakket is afgezet kunnen eveneens in horizontale en verticale richting sterk wisselende doorlaatfactoren voorkomen. In het algemeen geldt dit pakket als één van de belangrijke watervoerende lagen met in de grovere delen k-factoren van 15 - 30 m/dag (de Ridder e.a. 1957).

Het onderzoeksgebied wordt in belangrijke mate gekenmerkt door een holocene erosiegeul die het oorspronkelijk profiel tot aan de Afzetting van Halsteren (+ 22 m - N.A.P.) doorsnijdt. Van het jonge zeezand, waarmee deze geul is opgevuld, is bekend dat hierin doorlaat-factoren voorkomen van 3 - 15 m/dag en soms zelfs van 15 - 30 m/dag.

De grens van het jonge zeezand ligt in de westelijke helft van de Molenpolder. Ten westen hiervan bevinden zich oude wadafzettingen met ongeveer 1 meter veendikte op 3 meter beneden maaiveld en hieronder een circa 3 meter dik pakket van oude blauwe zeeklei. De doorlatendheid van dit pakket is zeer gering. De bovenste afzetting in de rest van het onderzoeksgebied bestaat overwegend uit lichte zavel. Alleen aan de westzijde van de Perkpolder komt langs de Doordijk een smalle strook met zware zavel voor. De gronden zijn op de Stibokakaart gekarakteriseerd als kalkrijke poldervaaggronden. In het noord-oostelijk deel van de Molenpolder bestaat de bovengrond uit zeer fijn zand behorende tot de kalkhoudende vlakvaaggronden. Vroeger werden deze gronden aangeduid met de landschappelijke naam plaatgrond. Een overzicht van de geologische opbouw in het onderzoeksgebied ter hoogte van de zeedijk is weergegeven in fig.2. Deze figuur is ontleend aan het rapport van de Geol. Dienst. De jonge zeeklei die op verschillende plaatsen als kleine eenheden dicht onder de oppervlakte veelal gelaagd wordt aangetroffen heeft in het algemeen een geringe doorlatendheid.

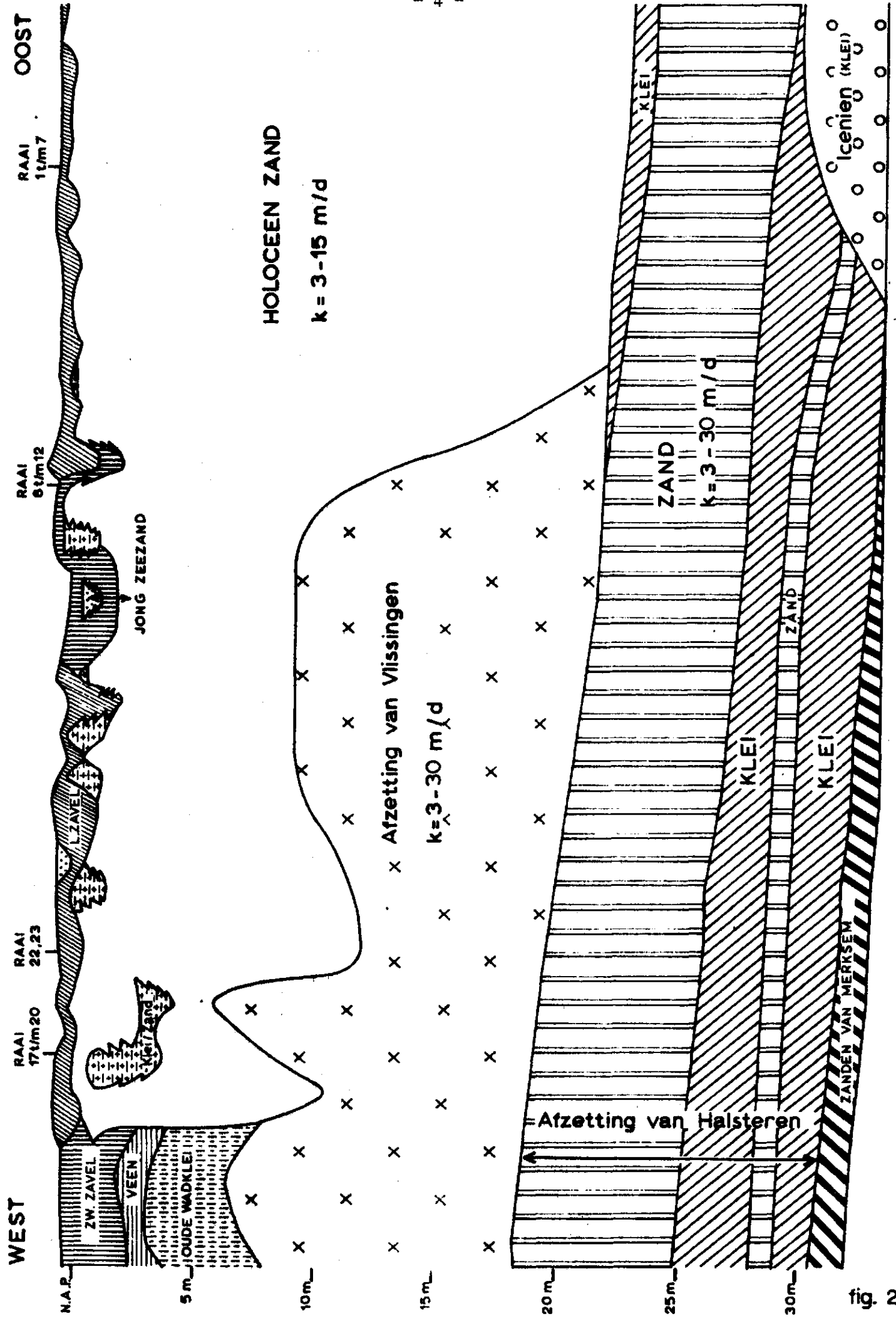


fig. 2

2.2 HOOGTELIKKING

In de Perkpolder ligt het maaiveld gemiddeld op 1.20 m + N.A.P. In westelijke richting neemt de hoogte iets af. De Molen- en Kievitspolder hebben een maaiveldhoogte van gemiddeld 0.80 m + N.A.P. Variaties van ± 0.25 m ten opzichte van het gemiddelde komen in alle 3 polders voor. De aan de zeedijk grenzende buitendijkse gronden hebben een hoogte van circa 0.00 m N.A.P.

2.3 AFWATERING

De Molen-, Kievit- en Perkpolder hebben respectievelijk een afwaterende oppervlakte van 52, 24 en 160 ha. De afwatering vindt plaats van West naar Oost. Via een duiker in het zuid-oosten van de Perkpolder wordt het overtollige water uit het gebied afgevoerd. Het onderzoeksgebied maakt deel uit van een bemalingseenheid van 1145 ha.

In de Molenpolder is in de hoofdafwatering een peil gemeten van gemiddeld 0.50 m - N.A.P. In de Perkpolder is het open water peil 0.80 m - N.A.P.

3. VERZAMELDE MEETGEGEVENS

In een drietal raaien loodrecht op de zeedijk en op enkele verspreide plaatsen in het gebied zijn in totaal 21 grondwaterstandsbuizen geplaatst. In fig.1 is een overzicht van de plaatsen van deze buizen weergegeven. Het filter van deze buizen heeft een lengte van 0.50 m en bevindt zich op een diepte van 2 à 2.5 m beneden maaiveld. Bij de meetpunten 2, 10 en 17 wordt de grondwaterstand continu geregistreerd. De overige meetpunten worden met medewerking van Prov. Waterstaat periodiek gemeten. Met behulp van deze gegevens zijn van de 3 raaien verticale doorsneden gemaakt waarin de gemiddelde zomer- en wintergrondwaterstand alsmede het slootpeil zijn weergegeven (fig.3).

Meetpunt 1 bevindt zich aan de buitenzijde van de zeedijk in het slik. Voor het verkrijgen van meer inzicht in de invloed van het slik op de grondwaterstand in de polder is hier in september 1974 een grondwaterstandsregistreerder geplaatst. Om het risico van het wegspoelen van het apparaat ten gevolge van golfslag en stroming zo klein mogelijk te houden zijn de metingen tot 1 etmaal beperkt. In de hoofdwaterringang in de Perkpolder en in de sloot bij buis 18 in de Molenpolder wordt het open waterpeil continu geregistreerd.

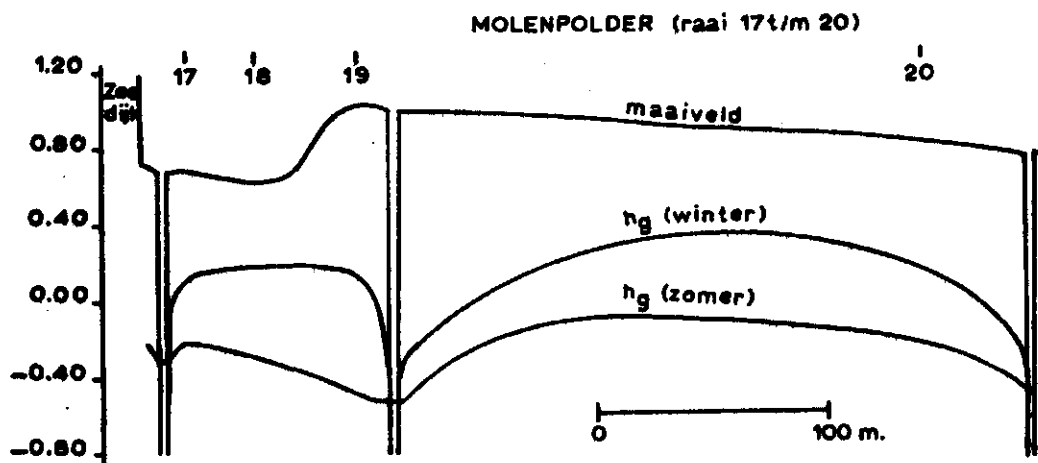
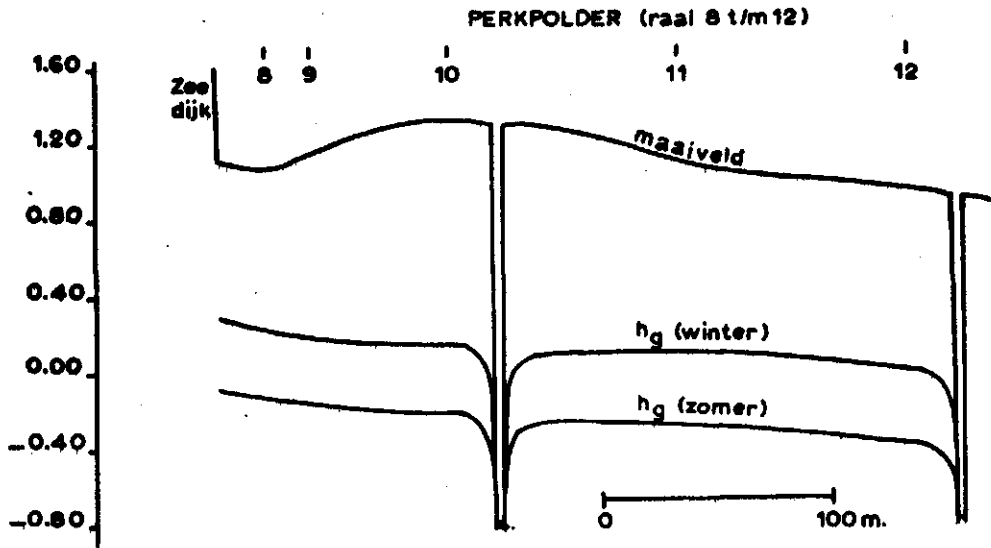
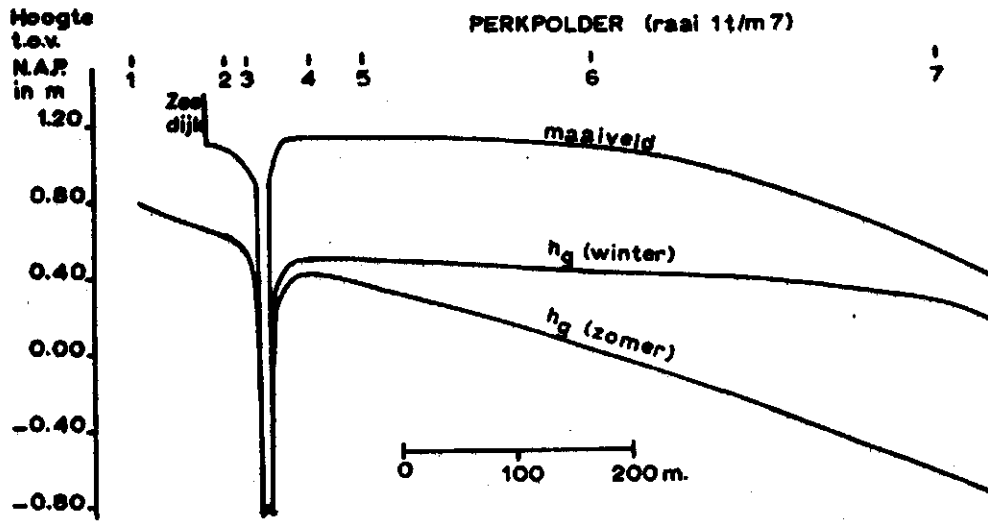


Fig.3 De gemiddelde zomer- en wintergrondwaterstand in de meetraaien loodrecht op de zeedijk.

Voor het verkrijgen van een inzicht in de invloed van de getijdebeweging op het grondwater op verschillende afstanden van de zeedijk zijn bij een aantal meetpunten per raai, voor 1 à 2 dagen, registreerders geplaatst. Bovendien werd ten behoeve van dit onderzoek door de Prov. Waterstaat in de buizen 3 t/m 7 en 18 t/m 19 op 16 oktober 1974 de grondwaterstand om het kwartier gemeten. Tijdens de uitwerking van de metingen ontstond behoefte aan enkele aanvullende gegevens waartoe voor een etmaal nog 2 grondwaterstandsregistreerders zijn geplaatst bij de meetpunten 22 en 23.

4. WIJZE VAN ONDERZOEK

Aan de hand van de gemeten demping en naijling van de getijdebeweging in het grondwater zijn enkele hydrologische constanten vastgesteld die gebruikt zijn voor het berekenen van de te verwachten veranderingen in de waterhuishouding van de polder tijdens de spuit werkzaamheden.

5. BEREKENING HYDROLOGISCHE CONSTANTEN

5.1 DE GETIJBEWEGING

Het waterpeil in de Westerschelde fluktueert onder invloed van de getijden van circa 2.50 m - N.A.P. tot 2.50 m + N.A.P. Het slik heeft tegen de zeedijk ongeveer een hoogte van 0.00 m N.A.P. Dit impliceert dat bij eb de buitendijkse gronden plaatselijk tot over een breedte van 300 meter droog vallen en de waterstand in het slik voornamelijk representatief is voor het potentiaal aan de buitenzijde van de zeedijk en voor de golfbeweging in de grondwaterstand landinwaarts.

In fig.4 zijn de resultaten weergegeven van een meting op 2 / 3 sept. 1974 in de meer oostelijk gelegen raai grondwaterstandsbuizen. Duidelijk blijkt hieruit dat bij daling van het Westerscheldepeil beneden het slikoppervlak, de waterstand in het slik (buis 1) bepalend wordt voor de grondwaterstand in de polder. De waterstand in het slik daalde tot 0.50 m - N.A.P. bij een ebstand in de Schelde van 2.40 m - N.A.P.

5.2 DE k_{Dc} -WAARDEN

Voor de berekening van de k_{Dc} -waarden is de door Wesseling (1959) gepubliceerde methode toegepast. Hiervoor zijn langs grafische weg de waarden voor de dempingsconstante α en de vertragingconstante β van de zich in het grondwater voortplantende golfbeweging bepaald uit de grondwaterstands-waarnemingen.

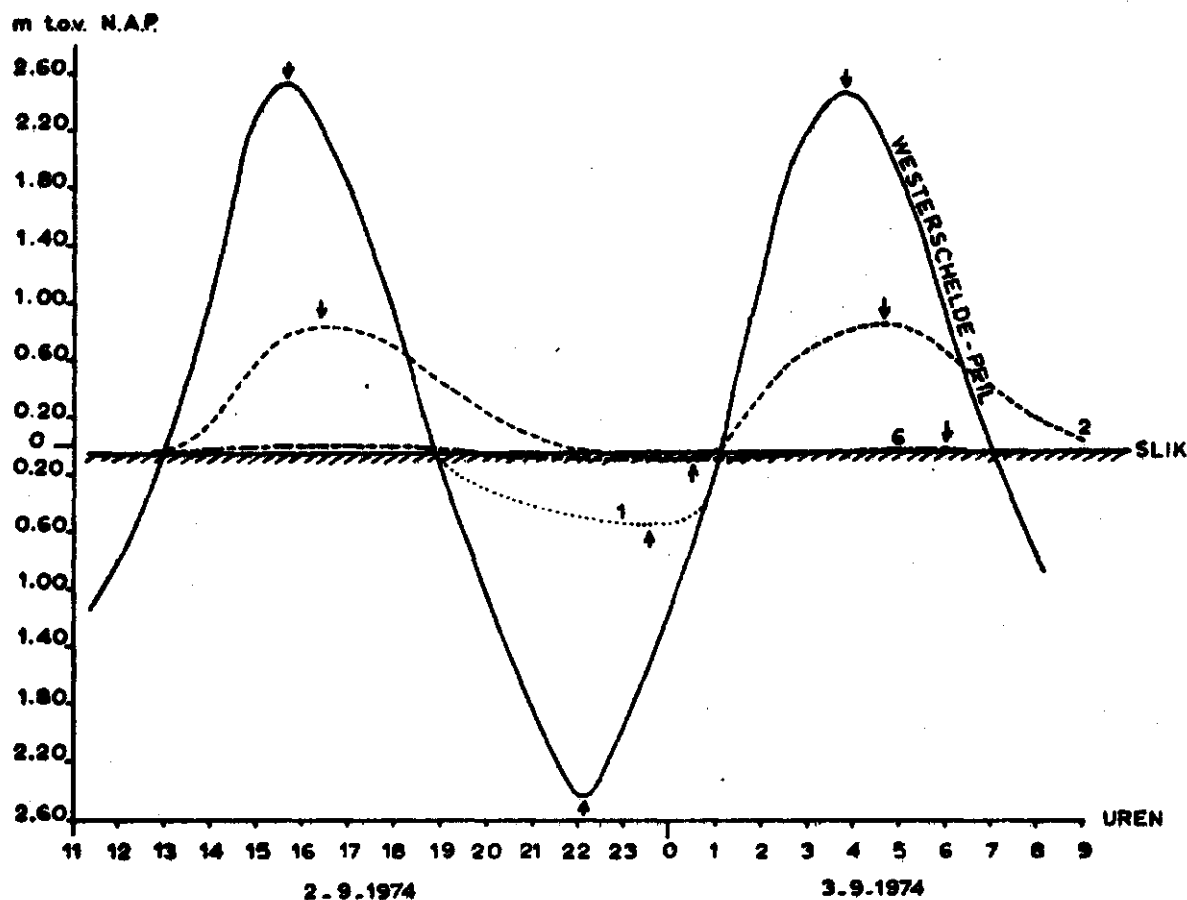


Fig.4 Getijdebeweging gemeten in de Westerschelde en de peilbuizen 1, 2 en 6.

Vervolgens zijn met de vergelijking:

$$Q^2 - \beta^2 = \frac{1}{kDc} \quad (1)$$

de waarden van de kDc berekend.

De verhouding van de amplitude S_x van een sinusoidale golfbeweging in het grondwater op een willekeurige afstand x tot die van het open water S kan namelijk worden voorgesteld door de vergelijking:

$$\ln \frac{S_x}{S} = -\alpha x \quad (2)$$

Wordt dus de natuurlijke logaritme van de amplitude verhouding uitgezet tegen de afstand x , dan zal volgens 2 een lineair verband door de oorsprong moeten ontstaan met een helling $-\alpha$.

De fasevertraging bedraagt βx . Wordt derhalve voor de waarnemingspunten bepaalde fasevertraging uitgezet tegen de afstand tot het open water dan zal ook deze figuur een rechtlijnig verband moeten geven dat door de oorsprong gaat.

De hellingstangens van de op deze wijze verkregen lijn geeft de waarde voor β aan.

De fluktuatie van de waarnemingen in punt 1 in fig.4 wijkt nogal af van een enkelvoudige sinus waardoor twijfel zou kunnen ontstaan over de juistheid van de bepaling van β . Omdat echter β klein is ten opzichte van α is de fout van de onnauwkeurigheid in β op de uitkomst te verwaarlozen.

Aan fig.4 zijn de voor de berekening benodigde gegevens van de buizen 1, 2 en 6 ontleend die in de volgende tabel zijn weergegeven.

Tabel 1: Enkele gegevens ontleend aan de waarnemingen in de buizen 1, 2 en 6.

buisnr.	afst. x (m)	H.W.	L.W.	S ampl.	$\ln \frac{S_x}{S_0}$	Fasevertr. in rad.
		N.A.P.	N.A.P.			
1	0	2.51	-0.52	1.51	0.00	0.00
2	60	0.86	0.08	0.47	-1.17	0.42
6	385	0.00	-0.04	0.02	-4.32	1.04

In fig.5 is de natuurlijke logaritme van de amplitude verhouding van de buizen 2 en 6 uitgezet tegen de afstand. Hetzelfde is gedaan met de fasevertraging. Door de desbetreffende punten zijn lijnen getrokken. De lijnen blijken niet door de oorsprong te gaan zoals vergelijking (2) suggereert. Dit duidt op een extra weerstand tussen het open water en het binnendijks gelegen peilfilter.

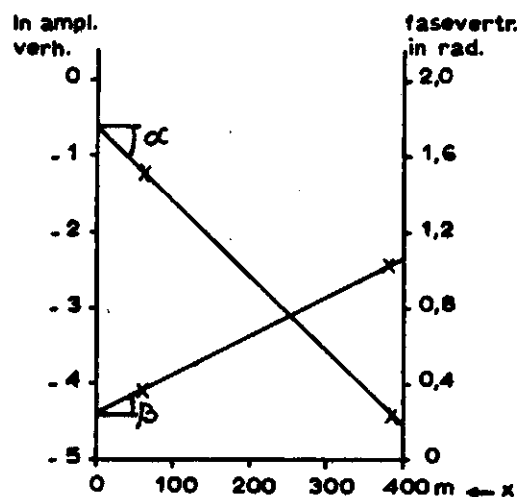


Fig.5 De e^c log. van de amplitudeverhouding en de fasevertraging in relatie tot de afstand, voor de meetpunten 2 en 6.

Dit soort weerstand, die geen invloed heeft op de uitkomsten omdat uitsluitend is gewerkt met de helling van de lijnen, wordt doorgaans bij dit soort analyses aangetroffen.

Uit fig.5 volgt nu:

$$\alpha = 9.60 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = 2.06 \cdot 10^{-3}$$

Substitutie van deze waarden in verg. 1 geeft:

$$\frac{1}{kDc} = (9.60 \cdot 10^{-3})^2 - (2.06 \cdot 10^{-3})^2 = 8.79 \cdot 10^{-5}$$

$$kDc = 11374$$

Wordt aan de hand van de geologische gegevens de dikte van de watervoorzorgende laag op 30 meter gesteld en voor de doorlatendheid van dit pakket een gemiddelde k-waarde aangehouden van 10 m/etm dan volgt voor de verticale weerstand (c) van de afdekkende bovenlaag een waarde van:

$$c = \frac{11374}{350} \approx 40 \text{ dagen/meter.}$$

Bij $kD = 200 \text{ m}^2/\text{d}$ is $c \approx 60$ dagen.

Voor dezelfde raai is de berekening herhaald met gebruikmaking van de metingen van 16 oktober 1974 in de buizen 2 t/m 5.

De gemeten grondwaterstanden zijn weergegeven in fig.6.

Met behulp van de gegevens uit deze figuur werd tabel 2 samengesteld.

Tabel 2: Gegevens van buizen 2 t/m 5 nodig voor de berekening van de hydrologische constanten.

buisnr.	x	TIJD		PEIL t.o.v. N.A.P.		S_x	$\ln \frac{S_x}{S_0}$	Fasevertr. in rad.
		L.W.	H.W.	L.W.	H.W.			
2	0	11u35	16u10	8	98	45.0	0.00	0.00
3	20	11u48	16u24	14.7	90.0	37.7	-0.177	0.11
4	70	12u18	16u54	29.7	72.0	21.2	-0.753	0.36
5	120	12u48	17u24	36.0	62.4	13.2	-1.226	0.61

De e^{\log} , van de amplitude verhouding en de fasevertraging zijn in fig.7 uitgezet tegen de afstand van de buizen ten opzichte van buis 2. Omdat nu alleen gewerkt is met de gegevens van binnendijks gelegen peilbuizen gaan hier de gemiddelde lijnen wel door de oorsprong.

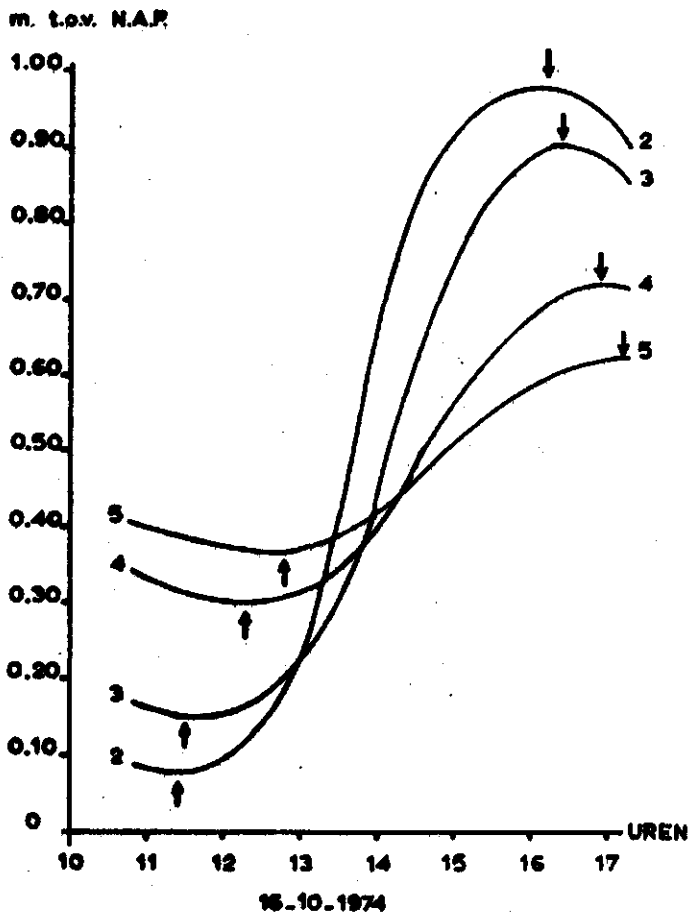


Fig. 6 Getijdebeweging gemeten in de peilbuisen 2 t/m 5.

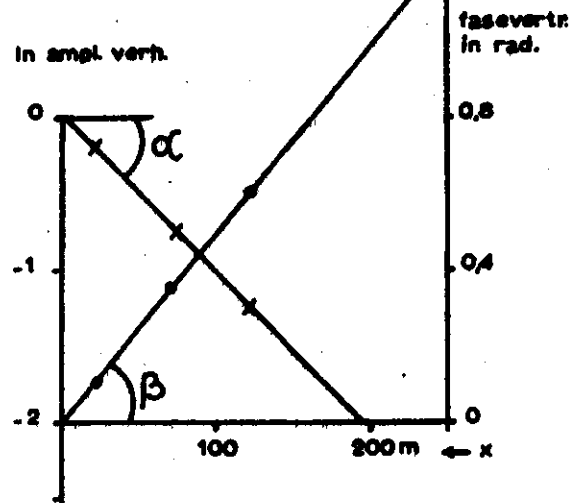


Fig. 7 De e^{\log} van de amplitude verhouding en de fasevertraging in relatie tot de afstand voor de meetpunten 2 t/m 5.

Uit de figuren volgt:

$$\alpha = 10.15 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = 5.0 \cdot 10^{-3}$$

Met verg. 1 is berekend:

$$\frac{1}{kDc} = 7.80225 \cdot 10^{-5}$$

$$kDc = 12817$$

Bij $kD = 300 \text{ m}^2/\text{d}$ is $c \approx 40$ dagen/meter.

Bij $kD = 200 \text{ m}^2/\text{d}$ is $c \approx 60$ dagen.

Een zelfde bewerking is uitgevoerd met de op 11 en 12 december 1974 geregistreerde grondwaterstanden in de buizen 9 t/m 11 waarvan de gemeten

golfbeweging in fig.8 is weergegeven.

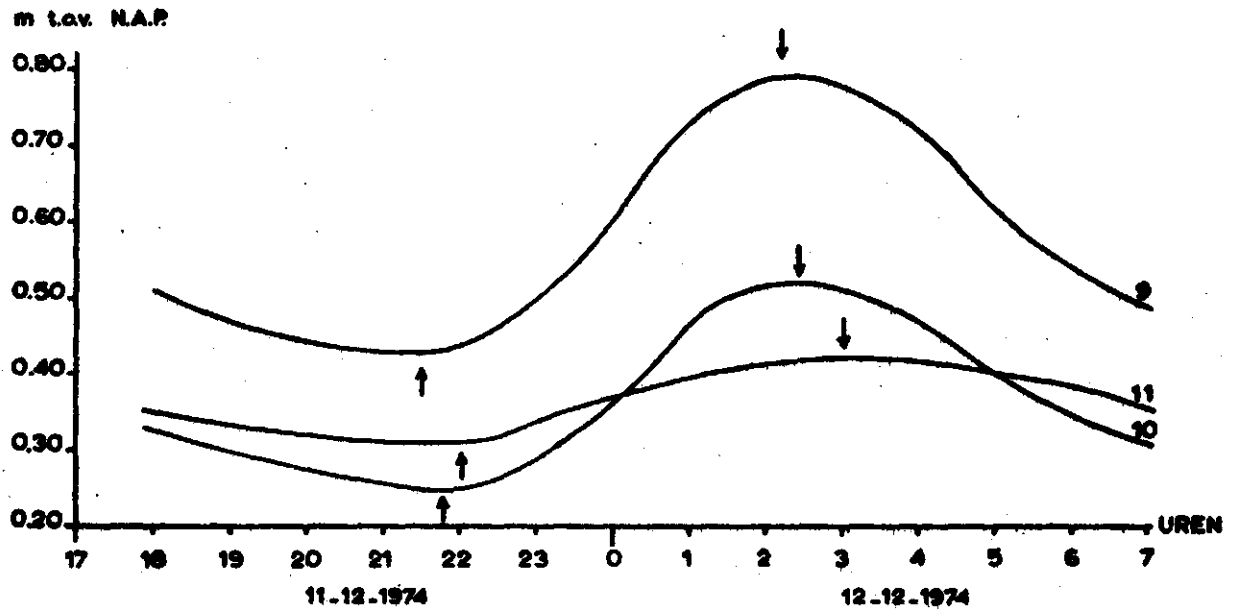


Fig.8 Getijdebeweging gemeten in de peilbuizen 9 t/m 11.

Hieraan zijn de in tabel 3 aangegeven waarden ontleend.

Tabel 3: Waarden voor de analyse van de buizen 9 t/m 11.

buisnr.	x	TIJD		PEIL t.o.v. N.A.P.		S_x	$\ln \frac{S_x}{S_0}$	Fasevertr. in rad.
		L.W.	H.W.	L.W.	H.W.			
9	0	21u30	2u10	0.42	0.78	0.18	0.00	0.00
10	60	21u45	2u25	0.26	0.52	0.13	-0.325	0.12
11	160	22u00	3u00	0.30	0.41	0.065	-1.019	0.33

Fig.9 levert de waarden voor α en β .

$$\alpha = 6.333 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = 2.067 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{1}{kDc} = \alpha^2 - \beta^2 = 3.584 \cdot 10^{-5}$$

$$kDc = 27902$$

Bij $kD = 300$ volgt voor de verticale weerstand

$$c = \frac{27902}{300} \approx 90 \text{ dagen/meter.}$$

Bij $kD = 200$ is $c \approx 140$ dagen.

De hier gevonden c -waarde blijkt ruim 2 x zo groot te zijn als de verticale weerstand in de meer oostelijk gelegen raai. Dit stemt overeen met de gegevens van de Stiboka die voor de strook grond langs de polderdijk, waarin de raai gevormd door de buizen 9 t/m 12 is geplaatst, een iets zwaarder bodemprofiel aangeven. Tegen de aanneming van een constante kD -waarde lijkt dus weinig bezwaar te zijn.

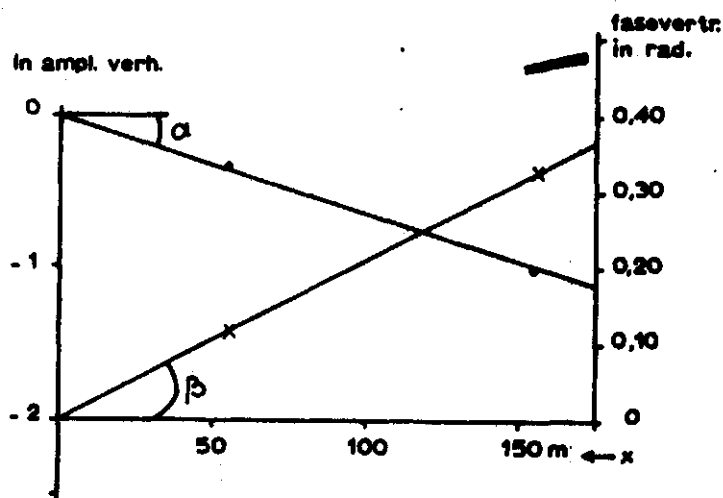


Fig.9 De $\log.$ van de amplitude verhouding en de fasevertraging in relatie tot de afstand, voor de meetpunten 9 t/m 11.

Voor de meer westelijk gelegen raai met de buizen 17 t/m 20 was het niet mogelijk de hydrologische bodemconstanten vast te stellen als gevolg van het feit dat de voortplanting van de getijdebeweging in het grondwater hier te gering is. In peilbuis nr. 17 werd een getijdefluctuatie gemeten van ongeveer 1 cm. In de overige buizen was de getijdeinvloed niet meer te meten. Beschouwt men de geologische doorsnede (fig.2) dan blijkt dat de raai peilbuizen juist boven een gelaagd kleipakket is geplaatst, waarvan de basis zich volgens de gegevens van de Geol. Dienst op ± 5 m - N.A.P. bevindt. Vermoedelijk heeft dit pakket een vrij groot afsluitend vermogen. Om deze veronderstelling te verifiëren zijn op een afstand van 250 meter oostelijk van deze raai tijdelijk 2 peilbuizen geplaatst. (Zie voor de ligging fig.3, de meetpunten 22 en 23.) De buizen zijn in de polder geplaatst op een plek waar volgens fig.2 het gelaagde kleipakket ontbreekt. De loodrechte afstand van buis 22 tot aan de waterlijn bedraagt circa 90 meter.

Buis 23 is 41 meter verder landinwaarts geplaatst. De van 14 t/m 16 december 1974 geregistreeerde grondwaterstanden zijn weergegeven in fig. 10. De metingen hebben plaats gevonden direkt na een periode met veel neerslag. Het gevolg hiervan is dat tijdens de meting door de drainerende invloed van de polderontwatering, het grondwater nogal is gedaald. Door over het meettijdvak zowel de dalende als de stijgende lijn van de golfbeweging te middelen is het effect van genoemde grondwaterstandsdaaling op de bepaling van de amplitude geëlimineerd.

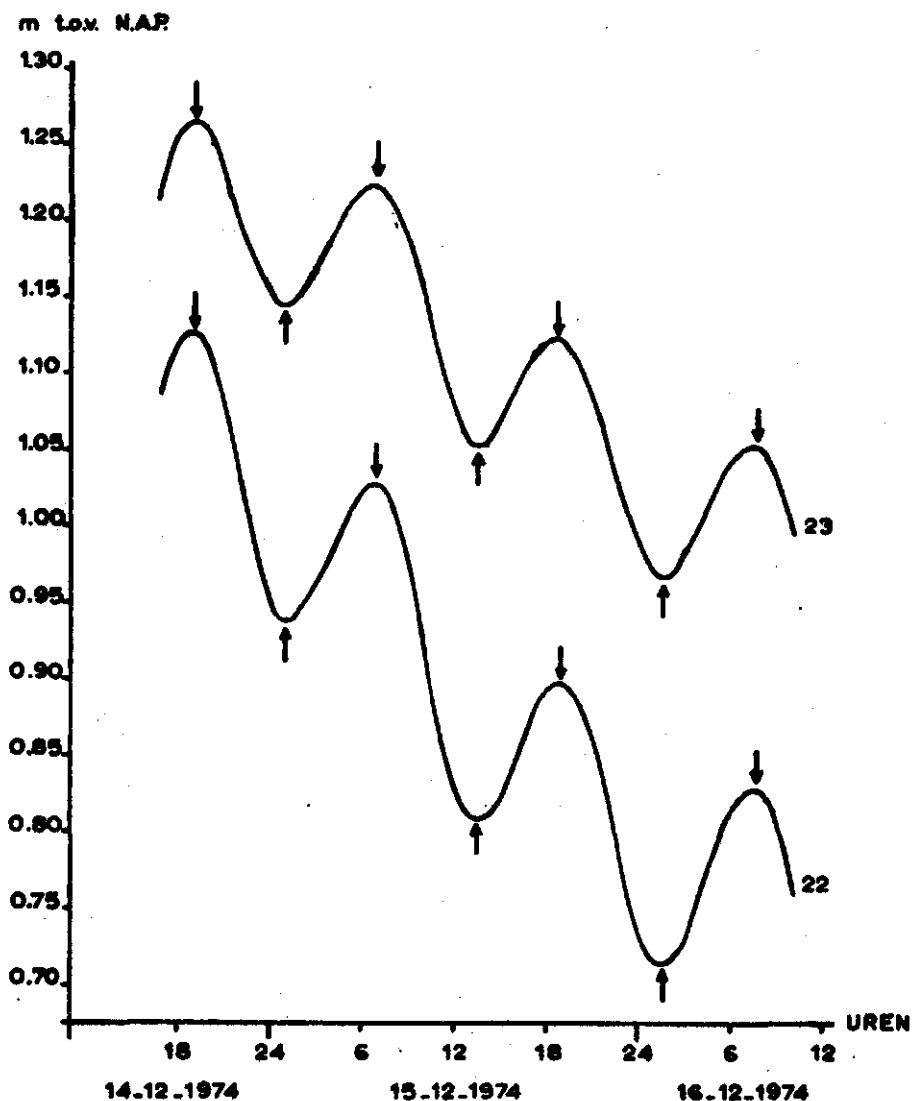


Fig.10 Getijdebeweging gemeten in de peilbuizen 22 en 23.

Aan de hand van fig.10 is voor buis 22 en 23 een waarde voor de amplitude (S) gevonden van resp. 10 cm en 7.5 cm. Daar de fasevertraging uit de geregistreeerde gegevens niet was te onderkennen moet zij minder dan 10 minuten hebben bedragen. Voor de berekening is zij gesteld op 5

minuten = 0.04 radiaal. Daar het hier slechts 2 waarnemingspunten betreft is het in dit geval niet mogelijk de constanten α en β grafisch vast te stellen. Gelet echter op de nauwe correlatie die er bestaat tussen de punten in de fig.7 en 9 en het door de oorsprong gaan van de door de punten getrokken lijnen, lijkt het in dit geval aanvaardbaar de constanten te berekenen met:

$$\alpha = \frac{\ln \frac{S_x/S_0}{x}}{x} \quad \text{en} \quad \beta = \frac{\text{fasevertr.}}{x}$$

Op deze wijze wordt gevonden:

$$\alpha = \frac{\ln \frac{7.5/10}{41}}{41} = - 7.017 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = \frac{0.04}{41} = 9.7561 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{1}{kDc} = \alpha^2 - \beta^2 = 4.8286 \cdot 10^{-5}$$

$$kDc = 20709$$

Bij $kD = 300 \text{ m}^2/\text{d}$ is $c = \frac{20709}{300} \approx 70$ dagen.

Bij $kD = 200 \text{ m}^2/\text{d}$ is $c \approx 100$ dagen.

De berekeningen resulteren in kDc -waarden voor het onderzoeksgebied die variëren van circa 11000 in het oostelijk deel tot 28000 in het westelijk deel van de Perkpolder. Voor de Molenpolder werd een $kDc \approx 20000$ gevonden. Daarnaast is echter ook in dezelfde polder, in de westelijke raai peilbuizen, een dermate geringe invloed van de getijdebeweging op het grondwater geconstateerd, dat het niet mogelijk was hier een waarde voor kDc vast te stellen. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in een plaatselijk aanwezig klei / zandpakket op een diepte van 1 tot 5 m - N.A.P. met vermoedelijk een hoge verticale stromingsweerstand. Dit pakket is echter van geringe afmetingen. De overeenstemming die is gevonden tussen de Stiboka gegevens inzake het verschil in zwaarte van de bovengrond met de berekende verschillen in kDc -waarden, doen een vrij homogeen watervoerend pakket vermoeden met variërende waarden voor de verticale weerstand. Bij een aanname van een doorlatendheid van gemiddeld 10 m/d en een dikte van het watervoerend pakket van 20 - 30 meter volgt uit de gevonden kDc -waarden een verticale stromingsweerstand (c) die afhankelijk van de plaats zal kunnen variëren van 40 - 140 dagen.

6. DE TE VERWACHTEN WATEROVERLAST IN DE POLDERS

6.1 FAKTOREN BEPALEND VOOR DE WATEROVERLAST

Tijdens de spuitwerkzaamheden zal vanuit het spuitvak water de ondergrond indringen en zijdelings afstromen. Deze afstroming zal zowel naar de zee- als naar de landzijde plaatsvinden. Globaal kan worden gesteld dat de helft naar de polders zal afstromen.

Gelet op de zandige grondslag aan de polderzijde zal het grondwater over een bepaalde afstand vanaf de perskade tot aan het maaiveld kunnen stijgen. Over welke afstand dit plaatsvindt is afhankelijk van een aantal factoren zoals:

- Het peil in en de breedte van het spuitvak;
- Maaiveldhoogte;
- Neerslag;
- Verdamping;
- Kwel;
- Doorlatendheid en dikte van het watervoerend pakket;
- Vertikale stromingsweerstand van de afdekkende laag;
- De drainageweerstand die het grondwater in geval van afvoer ondervindt bij afstroming naar het slotenstelsel ten gevolge waarvan een grondwateropbolling tussen de sloten zal ontstaan;
- Het slootpeil.

De meeste van deze factoren variëren van plaats tot plaats in het onderzoeksgebied.

6.2 BEREKENING GRONDWATERSTROMING

Om tot een benadering van de tijdens de spuitwerkzaamheden te verwachten situatie te komen is een schematisering van het stromingsprofiel noodzakelijk. De berekeningen zijn uitgevoerd met verschillende waarden voor een aantal van de hiervoor genoemde grootheden om op deze wijze een inzicht te krijgen in de kwel en in de verschillen in afstand waarover het grondwater tot het maaiveld zal stijgen.

Gebruik is gemaakt van vergelijkingen die het eerst door Mazure (1936) werden gepubliceerd. Met betrekking tot de stroming in het minder goed doorlatende afdekkende pakket is door Ernst voorgesteld in plaats van alleen een verticale weerstand de som van verticale weerstand en drainageweerstand te gebruiken.

Voor kDc zijn waarden ingevoerd die in orde van grootte overeenkomen met die welke in het vorig hoofdstuk zijn berekend.

De drainageweerstand kan globaal worden berekend met behulp van gegevens over de sloot- en grondwaterstand, neerslagoverschot en kwel. Voor het verkrijgen van een inzicht in de kwel is bij buis 2 een stijgbuis geplaatst in het watervoerend pakket met het filter op 10 meter diepte. De stijghoogte van het diepe grondwater was gemiddeld 10 cm hoger dan die van het freatisch water. De stijgbuis staat nabij de zeedijk. De horizontale ondergrondse invoer bij deze buis kan derhalve representatief gesteld worden voor de kwel in de polder ter hoogte van de buizen 1 t/m 7. De stijghoogte van het diepe grondwater was gemiddeld 1.50 m boven polderpeil.

Volgens Mazure geldt:

$$q_2 = Q_2 \sqrt{\frac{kD}{c}} \quad (3)$$

Voor deze raai is in hoofdstuk 1 een kDc -waarde van 12000 gevonden. Het is niet waarschijnlijk dat $kD < 200 \text{ m}^2/\text{d}$. Stel $kD = 200$ dan is $c = 60$ dagen.

De invoer aan kwel bedraagt dan:

$$q_2 = 1.50 \sqrt{\frac{200}{60}} = 2.74 \text{ m}^2/\text{d}$$

Over een polderdiepte van 1500 m betekent dit een gemiddelde kwelintensiteit van $\frac{2.74 \cdot 10^3}{1500} = 1.8 \text{ mm/d}$. Een vrij hoge kwel die vermoedelijk wat hoger ligt dan de gemiddelde kwel in het gehele onderzoeksgebied. Daar hierover echter geen verdere gegevens beschikbaar zijn is deze waarde aangehouden voor de berekening van de drainageweerstand waarvoor geldt:

$$I = \frac{\Delta h_m}{\bar{R} - \bar{E} + I_{ss}} \quad (4)$$

De drainageweerstand is in een ongedraineerd perceel in belangrijke mate afhankelijk van de aanwezigheid van veel of weinig sloten. Bij weinig sloten is de drainageweerstand relatief groot en veroorzaakt een relatief grote opbolling van het grondwater tussen de sloten. De kwel doet de opbolling nog toenemen.

Voor de neerslag en verdamping is het jaargemiddelde ingevoerd. Het gemiddelde neerslagoverschot bedraagt circa 200 mm/jaar ofwel 0.6 mm/dag.

De grondwaterstand ten opzichte van het slootpeil varieert per raai zoals uit de figuren 3 a, b en c blijkt.

Voor de raaien worden de volgende gemiddelde grondwateropbollingen (Δh_m) gevonden:

		Δh_m
raai	1 t/m 7	1.20 m
"	8 t/m 12	0.70 m
"	17 t/m 20	0.60 m

Door substitutie van deze waarden in verg. 4 is voor de drainageweerstand berekend, bij raai 1 t/m 7 $\bar{T} \approx 500$ dagen

" " 8 t/m 12 $\bar{T} \approx 300$ dagen

" " 17 t/m 20 $\bar{T} \approx 250$ dagen.

Voor een situatie zoals deze zich hier voordoet, waarbij over een beperkte breedte inzijging plaatsvindt gelden de volgende Mazure-formules, waarbij voor een verklaring der notaties wordt verwezen naar de betreffende

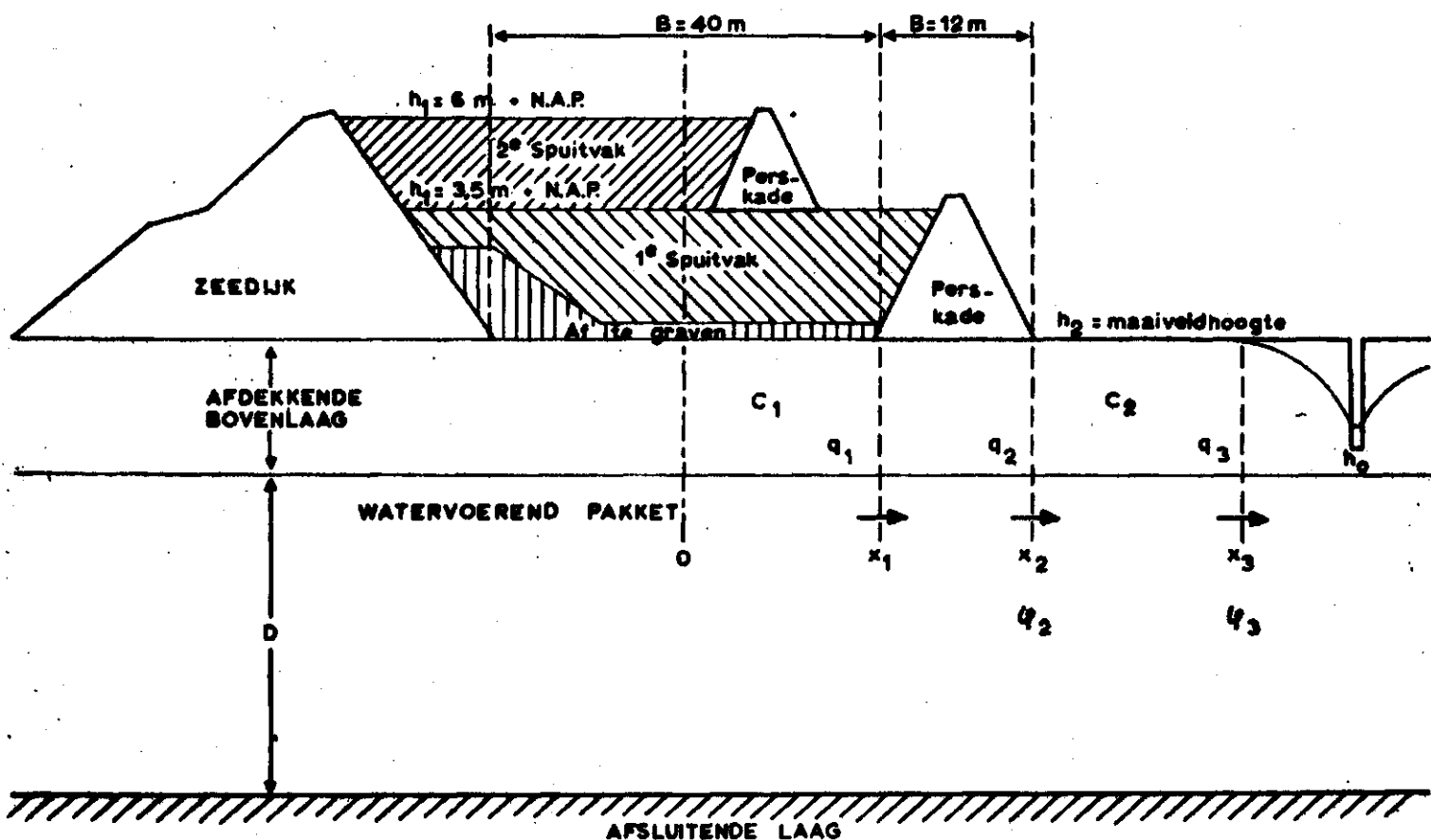


Fig.11 Geschematiseerd doorstromingsprofiel.

$$h_1 - \varphi(x) = a_0 \left[\exp. (x/\lambda) + \exp. (-x/\lambda) \right] \quad (5)$$

$$q(x) = -kD \frac{d\varphi}{dx} = a_0 \frac{kD}{\lambda} \left[\exp. (x/\lambda) - \exp. (-x/\lambda) \right] \quad (6)$$

Uit verg. 5 en 6 volgt voor de grens van perskade en spuitvak (zie fig.11)

$$q(x_1) = \left[h_1 - \varphi(x_1) \right] \sqrt{\frac{kD}{c_1}} \cdot \tanh^{x_1/\lambda} \quad (7)$$

In verg. 7 wordt de stromingsweerstand onder het spuitvak tot aan de binnenzijde van de perskade voorgesteld door:

$$\rho_{sp} = \left(\sqrt{\frac{kD}{c_1}} \tanh^{x_1/\lambda} \right)^{-1} \quad (8)$$

Daar bij de hier voorkomende hydrologische bodemconstanten geldt dat

$\tanh (x_1/\lambda) \approx x_1/\lambda$, kan voor 8 ook worden geschreven:

$$\approx \lambda/x_1 \cdot \sqrt{\frac{c_1}{kD}} = c_1/x_1 \quad (9)$$

De perskade zal worden afgedekt met plastic.

Voor de weerstand onder de perskade geldt derhalve:

$$\rho_p = \frac{x_2 - x_1}{kD} \quad (10)$$

Voor de totale weerstand onder het spuitvak tot aan de polderzijde van de perskade volgt uit verg. 9 en 10:

$$\rho = \frac{c_1}{x_1} + \frac{x_2 - x_1}{kD} \quad (11)$$

Direkt achter de buitenzijde van de perskade (x_2) zal het grondwater tijdens de spuitwerkzaamheden over een nog te berekenen afstand (x_3) tot aan het maaiveld stijgen om vervolgens geleidelijk naar het polderpeil af te buigen. Onder deze omstandigheden gelden de volgende vergelijkingen:

$$\varphi(x) - h_2 = a_1 \exp. (x - x_2)/\lambda + a_2 \exp. \left\{ - (x - x_2)/\lambda \right\} \quad (12)$$

$$q(x) = - \sqrt{\frac{kD}{c_2}} \left\{ a_1 \exp. (x/\lambda) - a_2 \exp. (-x/\lambda) \right\} \quad (13)$$

Bij $x = x_2$ is dan volgens 11:

$$q_1 = \frac{h_1 - Q_2}{\rho} \quad (14)$$

volgens 13:

$$q_1 = q_2 = \sqrt{\frac{kD}{c_2}} (a_2 - a_1) \quad (15)$$

volgens 12:

$$Q_2 - h_2 = a_1 + a_2 \quad (16)$$

Daar de diepte van de polder $\gg \sqrt{kD\mu T}$ mag het gebied als van oneindig grote afmetingen worden beschouwd.

Hierin is μ een faktor tussen 0.75 en 1 die afhankelijk is van de vorm van de grondwaterspiegel tussen de sloten. Voor het onderzoeksgebied is deze geschat op 0.9.

Voor x_3 kan de e-macht met positieve exponent nu worden weggelaten.

Bij invoering van de drainageweerstand (T) gelden dan de volgende vergelijkingen:

$$Q_3 - h_0 = a_3 \exp. \left\{ - \frac{(x - x_3)}{\lambda} \right\} \quad (17)$$

$$q_3 = a_3 \sqrt{\frac{kD}{\mu T}} \cdot \exp. \left\{ - \frac{(x - x_3)}{\lambda} \right\} \quad (18)$$

Voor de toestroming vanaf $x = x_3$ naar het polderwater geldt bovendien:

$$Q_3 - h_0 = \left(0.9 + \frac{1}{T}\right) (h_2 - h_0) = b_0 \quad (19)$$

Door elimineren van Q_2 , q_2 , Q_3 , q_3 en a_3 worden de volgende vergelijkingen verkregen:

Uit verg. 14, 15 en 16:

$$h_1 - h_2 = (a_1 + a_2) + \rho (a_2 - a_1) \sqrt{\frac{kD}{c_2}} \quad (20)$$

Uit verg. 12, 17 en 19:

$$a_1 \cdot \exp. \left\{ \frac{(x - x_3)}{\lambda} \right\} - a_2 \exp. \left\{ - \frac{(x - x_3)}{\lambda} \right\} = b_0 - (h_2 - h_0) \quad (21)$$

Uit verg. 13, 18 en 19;

$$a_1 \exp. \left\{ \frac{(x_3 - x_2)}{\lambda} \right\} - a_2 \exp. \left\{ - \frac{(x_3 - x_2)}{\lambda} \right\} = - b_0 \sqrt{\frac{c_2}{\mu T}} \quad (22)$$

Er zijn nu 3 vergelijkingen beschikbaar met 3 onbekenden t.w. a_1 , a_2 en x_3 die kunnen worden opgelost.

De stijghoogte van het diepe grondwater en de grondwateruitstroming bij x_3 kunnen worden berekend met verg. 18 en 19. Vervolgens a_3 met verg. 17. De stijghoogte Q_2 volgt dan uit (16) waarna de grondwaterdoorvoer (q_1) bij $x = x_2$ kan worden berekend met (14).

Ter plaatse van het spuitvak zal volgens het werkplan de afdekkende kleilaag worden ontgraven. Aangenomen mag worden dat hierdoor de verticale weerstand aanzienlijk zal worden verkleind.

Bij de berekeningen is in dit verband voor het spuitvak een lagere c -waarde aangehouden dan voor de polder.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een waterhoogte (h_1) van 3.5 m en 6 m + N.A.P. in het spuitvak met verschillende aannamen voor;

- De verticale stromingsweerstand (c);
- Doorlatendheid en dikte watervoerend pakket (kD);
- De drainageweerstand (T);
- Maaiveldhoogte (h_2);
- Polderpeil (h_0).

De resultaten zijn vervat in de volgende tabel.

Tabel 4: Resultaten van de berekening.

c_1	c_2	T	kD	h_0	h_1	h_2	$x_3 - x_2$	Q_2	Q_3	q_1	q_3	
30	60	500	200	-0.80	3.5	1.0	61	1.35	1.04	1.32	1.22	
					6.0		151	2.17		2.05		
					3.5	1.2	19		1.24	1.37		
					6.0		134	1.29		2.29		
		200				3.5	1.1	grondwater stijgt niet tot aan mv				
	6.0						40	1.83	1.23	2.5	2.4	
		100	300	300	-0.50	3.5		grondwater stijgt niet tot aan mv				
	6.0						38	1.99	1.74	2.52	2.3	
	3.5						107	1.76	1.26	1.03	1.43	
	6.0						238	2.02		2.45		
		500				3.5	0.8	168	1.89	0.93	1.13	1.16
	6.0						284	2.67		2.0		
3.5						6	1.27	1.32	1.33	2.35		
6.0						134	2.49		2.13			
dagen		m^2/d	m t.o.v. N.A.P.		m	m t.o.v. NAP		$m^2/m^1/d$				

In 3 van de 14 berekende gevallen blijkt de grondwaterstand direkt of vrijwel direkt vanaf de perskade onder het maaiveld te blijven. Voor 7 veronderstelde situaties geven de berekeningen aan dat 100 tot 280 m land gerekend loodrecht op de perskade blank zal kunnen komen te staan. Daar het hier zoute kwel betreft zal het duidelijk zijn dat dit zeer schadelijke consequenties voor de landbouw kan hebben en ook eventueel aanwezige beplantingen zullen een dergelijke wateroverlast niet overleven.

De kwelinvoer q_1 kan volgens de berekeningen tijdens de spuitwerkzaamheden afhankelijk van de plaats variëren van 1 tot $2.8 \text{ m}^2/\text{m}^1$ dag. Bij een dergelijke kwel zal het moeilijk zijn de slootbodems in de nabijheid van het spuitvak op het gewenste peil te houden, hetgeen in ongunstige zin kan doorwerken op het polderpeil, waarvoor nu in het rekenschema in de Perkpolder een peil van $- 0.80 \text{ m N.A.P.}$ en in de Kievits- en Molenpolder een peil van $- 0.50 \text{ m N.A.P.}$ is aangehouden. In de Perkpolder ligt het maaiveld gemiddeld op $1.20 \text{ m} + \text{N.A.P.}$ In westelijke richting ligt het iets lager. In de Molenpolder is de gemiddelde hoogte $0.80 \text{ m} + \text{N.A.P.}$ Variaties van $\pm 0.25 \text{ m}$ ten opzichte van dit gemiddelde komen in alle 3 polders voor.

De situatie die zich kan voordoen is in belangrijke mate afhankelijk van de maaiveldshoogte en de drainageweerstand.

7. SAMENVATTING EN CONCLUSIE

Aan de hand van de demping en naijling van de getijdebeweging in het grondwater zijn voor een aantal plaatsen in het gebied de kDc -waarden berekend. Hiervoor zijn waarden gevonden, die variëren van 12000 tot 30000. De beschikbare gegevens over dikte en doorlatendheid van het watervoerend pakket duiden op een D van 20 tot 30 m en een k van gemiddeld 10 meter/dag. Dit betekent dat de verticale weerstand c in grootte zal kunnen variëren van 40 tot 150 dagen. In het rekenschema zijn dan ook alternatieve waarden ingevoerd, die binnen deze marge liggen. Ter plaatse van het spuitvak zal ten gevolge van de afgraving van het kleidek de verticale weerstand kleiner worden, hiervoor is in dit verband een waarde aangehouden van 30 dagen. In welke mate het grondwater in het geval dat kwel voorkomt tussen de sloten opbult is in belangrijke mate afhankelijk van de drainageweerstand.

Met behulp van de huidige opbollingen in het grondwater is een indicatie verkregen van de grootte van deze weerstand. De twee vermoedelijk uiterst voorkomende waarden t.w. 200 dagen in de Molenpolder en 500 dagen in de Perkpolder zijn bij de bewerking gebruikt. De berekeningen zijn gebaseerd op een stationaire stroming en resulteren in een aantal uitkomsten voor:

- De afstand waarover het maaiveld blank zal komen te staan;
- De stijghoogte van het diepe grondwater direkt achter de perskade en op het punt waar de grondwaterstand beneden maaiveld duikt;
- De kwel.

De resultaten zijn met de hydrologische constanten die zijn ingevoerd samengevat in tabel 4.

Duidelijk is dat uitvoering van de spuitwerkzaamheden volgens de bestaande plannen een groot risico in zich herbergt voor het veroorzaken van veel zoutwaterschade.

Voor het westelijk deel van de Molenpolder geldt dit gevaar niet, als gevolg van de aanwezigheid van de sterk afsluitende werking van het klei- en veenpakket.

LITERATUUR

- | | |
|---|--|
| Geol. Stichting, afd.
Geol. Dienst (1962). | Geologisch onderzoek voor de dijkverhoging en uitbreiding haven van Walsoorden.
Rapport nr.: 330. |
| Mazure, J.B. (1936). | Geo-hydrologische gesteldheid van de Weringermeer. Rapporten en mededelingen Zuiderzeewerken nr.: 5, jr.: 67 -131. |
| Ridder, N.A. de (1957). | Agro-hydrologische profielen van Zeeland.
Hoofdafd. Documentaties en Publicaties
M.LVV. |
| Wesseling, J. (1959). | The transmission of tidal waves in elastic artesian basins. Techn. Bull. I.C.W. nr.: 3. |

VERKLARING VAN GEBRUIKTE NOTATIES

k	Doorlatendheid watervoerend pakket in m/dag.		
D	Dikte van het watervoerend pakket in meters.		
c_1	Vertikale weerstand van de afdekkende bovenlaag onder het spuitvak in dagen/meter.		
c_2	Vertikale weerstand van de afdekkende bovenlaag in de polder in dagen/meter.		
T	Drainageweerstand in dagen.		
S_0	De amplitude van de golfbeweging van het open water.		
S_x	De amplitude van de golfbeweging in het grondwater op een afstand x van het open water.		
α	Vertragingsconstante.		
β	Dempingsconstante.		
H.W.	Hoog waterpeil in meters t.o.v. N.A.P.		
L.W.	Laag waterpeil in meters t.o.v. N.A.P.		
\bar{R}	Gemiddelde neerslag in meters/dag.		
\bar{E}	Gemiddelde verdamping in meters/dag.		
I_{ss}	Kwel in meters/dag.		
h_m	Grondwaterstand midden op het perceel in meters.		
h_0	Slootpeil in meters.		
Δh_m	Over het jaar gemiddelde grondwaterstand t.o.v. het slootpeil ($h_m - h_0$)		
h_1	Peil in spuitvak in meters.		
h_2	Maaiveldhoogte in meters.		
$x = 0$	Midden van spuitvak.		
x_1	Halve breedte spuitvak in meters.		
$x_2 - x_1$	Breedte perskade in meters.		
x_3	Afstand in meters tot waar het grondwater tot aan het maaiveld zal stijgen in meters.		
φ_2	Stijghoogte van het diepe grondwater in meters t.o.v. N.A.P. bij $x = x_2$.		
φ_3	Stijghoogte van het diepe grondwater in meters t.o.v. N.A.P. bij $x = x_3$.		
q_1	Horizontale grondwaterstroming in watervoerend pakket in m^3/m^1 voor $x_1 < x < x_2$.		
q_3	Horizontale grondwaterstroming in watervoerend pakket in m^3/m^1 voor $x_2 < x < x_3$.		
μ	Vormfaktor voor de grondwaterstand.		
a_1, a_2, a_3	Constanten.		
b_0	Potentiaal verschil bij x_3 tussen het diepe grondwater en het slootpeil.		
$\lambda = \sqrt{kDc_2}$	$\lambda_1 = \sqrt{kDc_1}$	$\lambda_2 = \sqrt{kDc_1 T}$	$e^{\frac{x}{\lambda}} = \exp. x/\lambda$