

126203

DE INVLOED VAN DE DENSITEITSSTROMINGEN  
OP DE AANSLIBBING IN DE TOEGANGSGEUL  
TOT DE ZEESLUIS VAN ZANDVLIET.

MOD. 277

---

DEEL I

Studie van de dichtheidsstromingen  
in de toegangsgeul tot de zeesluis  
van Zandvliet.

---

## I. INLEIDING.

In een vorig rapport ("De aanslibbing en de verzanding van de toegangsgeulen tot de zeesluizen van de haven van Antwerpen" - november 1968) hebben we reeds de aanslibbing van de toegangsgeulen te Zandvliet besproken. Daarin werd gezegd dat de zoutvariaties in de Schelde densiteitsstromingen veroorzaken in de toegangsgeul.

In dit rapport zullen de densiteitsstromingen en hun invloed op de sedimentafzettingen grondig onderzocht worden.

Deze studie werd uitgevoerd in nauwe samenwerking met "Le Service de Chimie des Solides de l'Université Libre de Bruxelles" zowel voor wat betreft de terreinproeven als voor het laboratoriumwerk. Hierbij vermelden we speciaal :

de Hr. R. WOLLAST, dokter in de scheikunde  
Juffr. F. DE BROEU, licenciate in de scheikunde  
de Hr. NAESSENS, technicus  
de Hr. KEMPENEERS, technicus.

We danken het bestuur van het Loodswezen, dat ons behulpzaam was bij het uitvoeren van de boringen met de boeienlegger "Lillo".

Onze dankbetuigingen gaan ook naar de Belgische Zeemacht die voor bepaalde metingen een vedette met bemanning te onzer beschikking stelde.

## II. METINGEN.

Het doel van de metingen, die verricht worden in de toegangsgedul van de zeesluis van Zandvliet, is een grondige studie maken van de densiteitsstromingen en het meten van de suspensie die bij elke tij sedimenteert.

Hiertoe is het nodig, dat in de toegangsgedul volgende metingen gedaan worden :

De aanslibbing in de toegangsgedulen wordt beïnvloed door het zoutgehalte (floculatie en densiteit).

De densiteit van het Scheldewater hangt af van het zoutgehalte, de temperatuur en troebelheid, enz.

De zoutvariaties in de Schelde verwekken dus densiteitsverschillen van het water in de toegangsgedul.

1. snelheidsmetingen
2. zoutmetingen
3. temperatuursmetingen
4. troebelheidsmetingen

Fig. 1 geeft een plan van de toegangsgedul met daarop aangeduid de punten waar deze metingen verricht werden.

### III. DE ZOUTWIG.

Ten gevolge van de vorm en de hydraulische omstandigheden van het estuarium is de turbulente diffusie belangrijk en gedraagt de Schelde zich als een bijna volmaakte mengelaar.

Fig. 2 a geeft een voorbeeld van de variaties, gedurende een getij, van de snelheid, van het zoutgehalte en van de troebelheid te Ft. Frederik op 16. 7. 67. Fig. 2 b geeft een voorbeeld van de variatie, gedurende een tij, van de geleidbaarheid op verschillende diepten te Oosterweel.

Niettegenstaande het zoutgehalte en de amplitude van het getij in hoge mate variëren gedurende een cyclus, heeft men geen grote variaties van het zoutgehalte op een verticale in het Scheldeëstuarium, fig. 3.

Bij de ingang van de toegangsgeul veroorzaken de dichtheitsverschillen, gedurende het getij, het ontstaan van dichtheitsstromingen in de toegangsgeul. Deze voegen zich bij de vul- en ledigingssnelheden die ontstaan door de niveauveranderingen.

We zullen nu nagaan hoe deze niveau- en zoutvariaties samenwerken voor het verwekken van dichtheitsstromingen.

#### 1. De invloed van de dichtheitsgradiënt op de snelheid van de lagen.

Het bestaan van een dichtheitsgradiënt brengt de waterlagen in een horizontale beweging. De relatieve snelheid hiervan is functie van het verschil van de relatieve specifieke massa  $\Delta\rho$  van de twee lagen, van de gemiddelde relatieve specifieke massa  $\rho$  van de lagen, van de viscositeit van het water  $\mu$ , van de diepte  $H$  en van de versnelling van de zwaartekracht  $g$ .

$$\text{of } V = F \left( \Delta\rho, \frac{1}{\rho}, H, \frac{1}{\mu}, g \right)$$

Daaruit volgt dat dit fenomeen meer uitgesproken zal zijn wanneer de variatie van het zoutgehalte in de rivier groter is en sneller verloopt.

Fig. 4 geeft een beeld van dichtheidsstromingen. De dichtheidsgradiënt wordt hier bekomen door een verschil in zoutgehalte, een verschil in troebelheid en een temperatuurverschil.

De veranderingen van het zoutgehalte met het getij zijn altijd groot ter hoogte van de Zandvlietsluis (fig. 2). Het soortelijk gewicht van de lagen hangt af van het zoutgehalte, van de troebelheid en van de temperatuur zoals blijkt uit de fig. 5 die de bijdragen tonen van het zoutgehalte, de troebelheid en de temperatuur tot het soortelijk gewicht.

De bijdrage van de temperatuur is te verwaarlozen.

2. De invloed van het getij en van de zoutvariaties op de dichtheidsstromingen.

a. Het getij en de zoutkromme bij de ingang van de toegangsgeul te Zandvliet.

- De tijkromme.

Fig. 6 a geeft het verloop van het getij aan de ingang van de toegangsgeul.

De opkomende tij duurt  $\pm 5h10$  en de dalende tij  $\pm 7h15$ .

Men ziet ook dat vooral tussen twee en één uur vóór hoogwater het waterpeil zeer vlug stijgt. Fig. 6 b toont het verloop van het vul- en ledigingsdebiet in de toegangsgeul veroorzaakt door deze tijbeweging. De gemiddelde vul- en ledigingsnelheid in een dwarssectie wordt me gegeven door :

$$(V_v)_T = \Omega_k \frac{\left(\frac{dH}{dt}\right)_t}{b_i H_t}$$

waarin :

$V_v$  = vul- of ledigingsnelheid (m/sec)

$\Omega_k$  = horizontale oppervlakte van het te vullen volume (m<sup>2</sup>)

$\left(\frac{dH}{dt}\right)_t$  = de snelheid van het stijgende of dalende peil (m/sec)

$b_i$  = de breedte van de toegangsgeul (m).

$H_t$  = de hoogte op het ogenblik  $t$  (m)

Bij toepassing van deze formule vinden we :

$$\text{De max. vulsnelheid} = \frac{2,16 \text{ m} \times 173000 \text{ m}^2}{3600 \text{ sec} \times 4740 \text{ m}^2} = 2,19 \text{ cm/sec}$$

$$\text{De max. ledigingssnelheid} = \frac{1,12 \text{ m} \times 173000 \text{ m}^2}{3600 \text{ sec} \times 4050 \text{ m}^2} = 1,23 \text{ cm/sec}$$

- De zoutkromme.

Hiertoe hebben we als referentie genomen de kromme die zich voordoet bij de ingang van de toegangsgeul en bij de bodem, fig. 7 a.

Het zoutgehalte begint tamelijk vlug te stijgen na kentering laagwater en stijgt het vlugst gedurende de drie laatste uren voor kentering hoogwater. Gedurende de eb neemt het zoutgehalte geleidelijk af. Fig. 7 b geeft ons de snelheid van de zoutvariatië gedurende een getij. Deze bereikt een maximum gedurende de drie laatste uren van de vloed en bedraagt dan 2 m S/uur, of 1,2 ‰ zoutgehalte per uur.

b. Het verloop van de densiteitsstromingen in de toegangsgeul.

Zoals uit fig. 6 a blijkt is de tijkromme asymmetrisch ter hoogte van Zandvliet.

Gedurende de vloed zal het zoutgehalte in de Schelde snel stijgen.

Op een zeker ogenblik zal het verschil in zoutgehalte tussen de Schelde en de toegangsgeul groot genoeg zijn om een densiteitsstroming te veroorzaken. Bij de eb gebeuren de niveau- en zoutgehaltevariatië te traag om een belangrijke zoutwig te doen ontstaan.

Het verschijnsel van de zoutwig zal hier dus enkel ontstaan, gedurende de drie laatste uren voor kentering hoogwater. Hierbij is de geometrie van de open dokken of van de toegangsgeulen van groot belang. Met dezelfde vorm van tij- en zoutvariatië krijgt men totaal verschillende verschijnselen in het open dok van de E 3 werken en in de

toegangsgeul te Zandvliet (zie rapport "De aanslibbing en de verzanding van de toegangsgeulen tot de zeesluizen van de haven van Antwerpen - november 1968" - bijlage II).

In het insteeddok van de E 3 werken hebben we belangrijke densiteitsstromingen geconstateerd bij de eb. De oriëntatie van de toegangsgeul te Zandvliet en haar trechtersvorm zijn factoren die gunstig zijn voor het verwekken van densiteitsstromingen enkel bij de vloed.

Om dit fenomeen duidelijker te maken zullen we nu enkele metingen ontleden.

Fig. 8 geeft ons een situatieplan van het gedeelte van de Schelde tussen Lillo en de grens, met de zeesluis van Zandvliet.

De vloedstromingen, die bij de bodem de toegangsgeul binnendringen, worden hierin een weinig afgebogen. Deze kleine afbuiging veroorzaakt een dwarshelling in de lagen met verschillend zoutgehalte (centrifugale krachten). Dit is duidelijk te zien op de fig. 9.

Het binnendringende zoutwater duwt het zoetere water naar buiten langs de oppervlakte en vooral langs de noorderkant van de toegangsgeul.

Als men nu een langsprofiel beschouwt aan de zuiderkant, fig. 10 a, b, c, dan merken we dat te 11h30 (4 h voor kentering HW) het binnenstromende zoutwater de lagen met verschillend zoutgehalte doet hellen tussen raai 16 en raai 12. Dit verschijnsel gaat door tot 15h30 (kentering HW). Om 16 h (1/2 h na kentering HW) is het zoutgehalte in de Schelde lager dan dit van de bovenste lagen in de toegangsgeul.

Dit is duidelijk te merken aan de helling van deze lagen die op dat ogenblik omgekeerd is tussen raai 12 en raai 16.

Aan de noorderkant van de toegangsgeul is het debiet van de buitenstromende lagen steeds groter dan dit van de binnenstromende lagen. Dit is hoogstwaarschijnlijk te wijten aan een horizontale neer die veroorzaakt wordt door de oriëntatie van de toegangsgeul. Dit heeft voor gevolg dat de densiteitsstromingen asymmetrisch zijn in een dwarssectie.



Fig. 11 toont deze neer bij maximum vloednelheid.

De pijlen duiden kwalitatief de snelheden aan in grootte en richting. Het belang van het zoutgehalte in dit verschijnsel wordt aangetoond door het feit dat in het Scheldemodel op het Waterbouwkundig Laboratorium deze neer praktisch niet te merken is.

Tijdens de eb speelt de oriëntatie een tegenovergestelde rol.

De neer komt niet meer voor en het water stroomt op regelmatige wijze over de hele dwarssectie naar buiten.

3. Ontleding in detail van snelheids-, zout-, troebelheids- en temperatuurvariaties op verschillende meetplaatsen in de toegangsgeul en over een volledig getij.

Fig. 1 stelt een plan voor van de toegangsgeul met daarop vermeld de verschillende meetplaatsen.

Fig. 12 geeft een overzicht van de metingen tot hiertoe verricht in de toegangsgeul te Zandvliet.

- a. Bespreking van het mechanisme van de dichtheidsstromingen op basis van de resultaten van metingen op 4.12.68 in meetpunt A.

De metingen zijn begonnen te 9h30 (1/2 h voor LW) en er werd gemeten gedurende een volledig getij tot 22 h.

Op fig. 13 a, b zijn volgende metingen aangegeven :

- de tijkromme -
- de geleidbaarheid aan de oppervlakte en bij de bodem -
- om het anderhalf uur op een verticaal :
  - de snelheid in grootte en in richting -
  - de geleidbaarheid -
  - de troebelheid -

(Er wordt dus 1 meting op 3 afgebeeld).

Een half uur voor kentering laagwater is er een kleine snelheid in de richting van het dok. De geleidbaarheid en de troebelheid zijn laag. Het binnenstromen van het water is te wijten aan de stijging van het niveau in de Schelde.

Vanaf kentering LW stijgt de snelheid, de geleidbaarheid en de troebelheid op een trage, maar constante wijze tot 2 h na kentering LW. Vanaf dat ogenblik begint het peil in de toegangsgeul sneller te stijgen en wordt het verschil in geleidbaarheid tussen het Scheldewater en het water van de toegangsgeul groter.

Op dat ogenblik ontstaat een zoutwig.

Zoutwater stroomt binnen in een laag waarvan de hoogte 70 % van de totale diepte is.

In de Schelde ontstaan er op dat ogenblik sterke vloedstromingen die de troebelheid van het Scheldewater sterk doen toenemen, vooral bij de bodem.

Het is deze met sediment geladen laag die de toegangsgeul binnenstroomt, wat duidelijk te merken is op het diagram "troebelheid" van 13h30, fig. 13 a.

De troebelheid bij de bodem is dan viermaal groter dan bij het begin van de vloed.

De zoutgradiënt en de troebelheidsgradiënt vertonen een sprong op de diepte waar de richting van de stroming omkeert (op 70 % van de totale diepte).

De densiteitsstromingen blijven aanhouden tot kentering hoogwater. De zoutwig verdwijnt dan, en gedurende gans de eb krijgt men een tamelijk homogene buitenstromende laag over de gehele diepte.

b. De invloed van de densiteitsstromingen op de snelheden.

Een eerste vraag die gesteld kan worden is of het mogelijk is dat vaste stoffen in suspensie in de toegangsgeul kunnen meegevoerd worden door het binnenstromend Scheldewater.

In de veronderstelling dat er geen densiteitsstromingen zijn, hebben we gezien dat de maximum snelheid bij vloed aan de ingang van de

toegangsgeul 2,19 cm/sec bedraagt. Met snelheden van deze orde van grootte is het theoretisch onmogelijk dat het sediment in een concentratie van meer dan 500 mgs/l de toegangsgeul zou binnenkomen. De densiteitsstromingen kunnen echter snelheden van meer dan 50 cm/sec veroorzaken in de toegangsgeul. Fig. 14 toont de evolutie van de troebelheid van twee waterlagen met een bepaald zoutgehalte. Terwijl deze de toegangsgeul binnendringen, verliezen ze geleidelijk hun vaste stoffen door sedimentatie.

c. Berekening van de hoeveelheid vaste stoffen die uitgewisseld worden.

Om zich een gedacht te vormen van de hoeveelheid vaste stoffen die zich zal afzetten gedurende een getij, hebben wij een reeks diagrammen gemaakt van dit debiet over de vaste stoffen in punt A (raai 16) van de toegangsgeul. Dit debiet van de vaste stoffen wordt bekomen door de snelheid van een laag te vermenigvuldigen met het gemiddeld slibgehalte van deze laag, fig. 15.

Door integratie van dit debiet van de vaste stoffen vanaf de bodem tot aan het oppervlak van het water, kan men, door middel van deze kromme, de hoeveelheid vaste stoffen bepalen die binnendringt langs een sectie van 1 m breedte in functie van de tijd. De resultaten hiervan worden gegeven door fig. 16. Door integratie van deze kromme over een volledig getij bekomt men de hoeveelheid vaste stoffen die door deze sectie uitgewisseld worden tussen Schelde en toegangsgeul. Als bilan van de vaste stoffen bekomt men dan voor een getij

$$(47,5 \times 0,1 \text{ kg/m} \times \text{sec} \times 1800 \text{ sec}) - (29,7 \times 0,1 \text{ kg/m} \times \text{sec} \times 1800 \text{ sec})$$
$$= 3204 \text{ kg/m}$$

Voor een berekening over heel de toegangsgeul, zou het nodig zijn over gegevens van metingen in verschillende punten van een dwarssectie (N - Z) te beschikken.

Onze metingen in punt D (noordkant van de toegangsgeul) wijzen er nochtans op, dat de densiteitsstromingen langs de noordkant minder uitgesproken zijn en slechts gedurende een zeer korte periode verschijnen.

Hiermede rekening gehouden, kunnen wij veronderstellen dat de uitwisseling van vaste stoffen langs de noordkant praktisch nul is. Laten we hierbij tevens opmerken dat wij tot hiertoe nog niet over

voldoende gegevens beschikken om dit te bevestigen. De hoeveelheid vaste stoffen, die zich afzetten gedurende een getij in de toegangsgeul, is dus :  $150 \text{ m} \times 3204 \text{ kg/m} = 480.600 \text{ kg}$

Daar de oppervlakte van de toegangsgeul, vanaf raai 16 tot aan de sluis, gelijk is aan  $126.000 \text{ m}^2$ , vindt men een uitwisseling van  $\frac{480.600 \text{ kg}}{126.000 \text{ m}^2} = 3,81 \text{ kg/m}^2$ ; of  $60 \times 3,81 \text{ kg/m}^2 = 229 \text{ kg/m}^2$  per maand.

Dit resultaat stemt overeen met berekeningen uitgevoerd aan de hand van resultaten van boringen verricht in de toegangsgeul te Zandvliet.

#### 4. Factoren die het verschijnsel beïnvloeden.

Het zijn voornamelijk het bovendebiet en de amplitude van de tij die het verschijnsel sterk beïnvloeden.

##### a. Bovendebiet.

Het bovendebiet bepaalt de zoutgradient die zich voordoet tussen de zee en Gentbrugge.

In een regenperiode met een groot bovendebiet zal het zoutwater naar de zee gestuwd worden. Het zoutgehalte in Antwerpen zal laag liggen (minder dan 1 gr/l).

In een droge periode met klein bovendebiet kan het zoutgehalte in Antwerpen stijgen tot 9 gr/liter. Fig. 17 toont de variatie van het zoutgehalte te Antwerpen gedurende een jaar.

De dichtheidsstromingen hangen af van de verhouding  $\frac{\Delta \rho}{\rho}$ . Zij kunnen belangrijk zijn in een natte periode, wanneer het zoutgehalte klein is, maar wanneer de zoutvariatie gedurende de tij groot is.

De troebelheid van het Scheldewater wordt beïnvloed door de toevoer van vaste stoffen door het bovendebiet. Deze deeltjes bezinken in de streek van de haven van Antwerpen door het bestaan van een zoutlimiet (rapport nr. 3 - U.L.B. "Contribution à l'étude de l'envasement de l'Escaut").

Fig. 18 geeft ons de variatie van de geleidbaarheid volgens een langsprofiel.

b. Het getij.

Voor eenzelfde zoutprofiel in de Schelde zullen de zoutvariatiën van de toegangsgeul groter zijn bij springtij dan bij dode tij. Het vuldebiet, de densiteitsstromingen buiten beschouwing gelaten, is maximum bij springtij.

De snelheden van de densiteitsstromingen zullen dus groter zijn. De troebelheid in de Schelde zal eveneens groter zijn door de vloedstromingen. Men mag dus zeggen dat bij springtij de belangrijkste aanslibbing zal plaatsvinden.

c. Invloed van een schutting.

Een schutting heeft maar weinig invloed, daar het volume water dat versast wordt klein is ten opzichte van het totale volume in de toegangsgeul. Het dokwater stroomt naar de Schelde bij de oppervlakte en kan soms een brutale versnelling teweegbrengen die echter geen invloed heeft op het aanslibbingsmechanisme.

BESLUIT.

Op dit ogenblik, twee jaar na het open stellen van de zeesluis van Zandvliet, beschikken we reeds over een aantal gegevens die ons toelaten het mechanisme van de aanslibbing grotendeels te verklaren.

De toegangseucl werd tot nu toe tweemaal uitgebaggerd, nl. een eerste maal in de maanden september en oktober 1967 en een tweede maal gedurende de periode van augustus tot en met december 1968.

De boringen, verricht met een boorsysteem, ontworpen en gebouwd door het Waterbouwkundig Laboratorium en gebruikt in samenwerking met de Antwerpse Zeediensten, hebben ons toegelaten ongeveer 5000 slibmonsters te onderzoeken. Het verloop van de aanslibbing is dan ook voldoende gekend.

Uit de resultaten blijkt dat de aanslibbing, enkele kleine verschillen buiten beschouwing gelaten, tweemaal op dezelfde wijze verlopen is. De slibafzetting gebeurt het snelst gedurende de eerste twee maanden, om vervolgens geleidelijk te dalen.

De hoeveelheid vaste stoffen die zich afzetten vermindert van  $\pm 300 \text{ kgr/m}^2$  en per maand tot  $\pm 100 \text{ kgr/m}^2$  en per maand. We hebben bewezen dat de aanslibbing niet kan gemeten worden met een echo-sounder peillood, noch met sondeerlood.

In dat opzicht werden interessante, vergelijkende metingen verricht met ons boorsysteem, met een echo-sounder en met een peillood van de ondernemers van de E 3 tunnelwerken in het bouwdok van de tunnel-elementen.

Om de aanslibbing van de toegangseucl verder te volgen, moet men echter overgaan naar een werkmethode die minder tijdrovend is. Hiertoe zou het wenselijk zijn te kunnen beschikken over een sonde, gebouwd voor het meten van het soortelijk gewicht van sedimenten, die reeds

veel wordt gebruikt voor het bodemonderzoek in de landbouwsector en op de wegen. Dergelijk toestel zou ons toelaten de toegangseu te peilen in zeer korte tijd. Het wordt o. a. reeds gebruikt voor het peilen van het slib in de havens van de U. S. A.

De oorzaken van de aanslibbing van de toegangseu in de streek van Antwerpen zijn grotendeels verklaard. Volgens de Heer Bastin (K. U. L.) zijn belangrijke slibvelden aanwezig in de Schelde tot aan de Nederlandse grens. Opzoekingen door de Heer Wollast (U. L. B.) gedaan aan de hand van onze metingen, wijzen op een flocculatie van deeltjes, meegevoerd door de bovenrivieren, bij het in contact komen met het zoutwater van het estuarium.

Gedurende de tij veroorzaken de zoutvariaties densiteitsstromingen in de toegangseu. Deze bereiken een maximum bij vloed. Bij maximum vloedsnelheid komt het met slibgeladen zoutwater de toegangseu binnen langs de bodem.

De oriëntatie van de toegangseu is gunstig voor de scheepvaart komende van de zee, maar ongunstig voor deze stromingen. Bij eb stroomt het water naar buiten met een zeer kleine snelheid. Het sediment is suspensie kan zich dan gemakkelijk neerzetten.

De aanslibbing van toegangseu of open dokken is niet specifiek voor de haven van Antwerpen, noch voor de Schelde. De meeste estuaria vertonen deze aanslibbingsverschijnselen. In de grote havens wordt de aanslibbing grondig onderzocht omdat het baggeren van slib moeilijk is en de kostprijs zeer hoog.

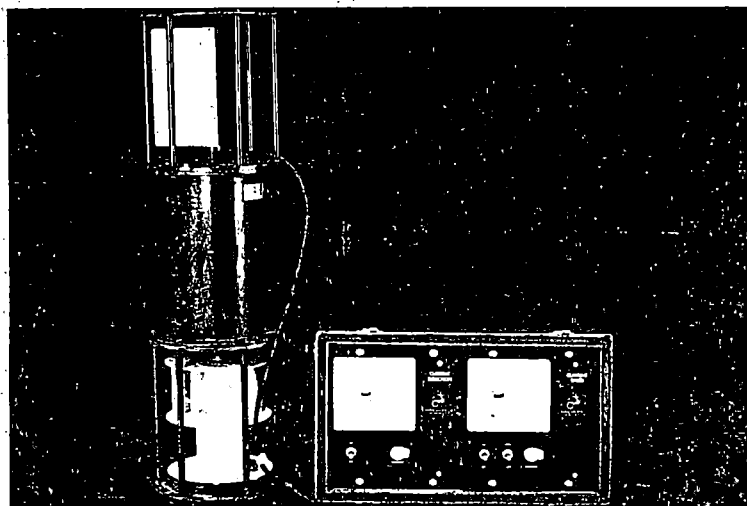
De boringen in de toegangseu van de zeesluis van Zandvliet worden voortgezet om het meest gunstige ogenblik voor de baggerwerken te kunnen bepalen. Ook zullen nog metingen gedaan worden, ten einde de invloed van het bovendebiet, de troebelheid en het zoutgehalte van de Schelde op de aanslibbing verder te onderzoeken.

MEETTOESTELLEN EN MEETTECHNIEKEN.

A. METEN VAN DE SNELHEID EN DE SNELHEIDSRICHTING VAN HET WATER.

1) De snelheidsmeters.

Om de watersnelheid en de richting te meten, maken we gebruik van een Savonius snelheidsmeter type Q - 9.



- a. De snelheidsmeting gebeurt door middel van een rotor met verticale as die voorzien is van een aantal schoepen. Op de omtrek van de onderste plaat van de rotor zijn op gelijke afstanden 8 magneten geplaatst. Op de onderste plaat van het toestel is een magneetschakelaar geplaatst. Wanneer de magneten van de rotor met een bepaalde snelheid voorbij de magneetschakelaar komen, wordt deze hierdoor geactiveerd en zendt een pulstrein door naar het aanwijsinstrument. Hier wordt de pulstrein geïntegreerd en de geïntegreerde spanning geeft een directe aanduiding van de snelheid op. Het rotorgedeelte is ongevoelig voor druk, hetgeen toelaat te werken op elke diepte. Het toestel kan snelheden meten van 0,05 tot 7 knopen (2,57 cm/s tot 360 cm/s) bij een maximum helling van 20 graden van de as uit de richting van de stroming. Het toestel is ook uitgerust met een aansluiting voor een registreertoestel.



Specificaties van de snelheidsmeter :

nauwkeurigheid :  $\pm 2\%$  (volle schaal)

bereik : 0,05 - 1,0 knopen

1,0 - 7,0 knopen

- b. De richtingaanwijzer duidt de richting van de stroming aan t. o. v. het magnetisch Noorden. Het bevat een viskeus gedempt kompas als referentie voor het magnetisch Noorden. Dit kompas is verbonden met de stang van een lineaire potentiometer. Het lichaam van deze potentiometer is op zijn beurt verbonden met de richtingaanwijzer door middel van een magnetische koppeling. De stand van de potentiometer is dus enerzijds afhankelijk van het kompas en anderzijds van de stroomrichting. De elektrische uitgang van de richtingaanwijzer is een veranderlijke weerstand die door het meettoestel gemeten wordt. Het toestel is ook uitgerust met een aansluiting voor een registreer-toestel.

Specificaties van het toestel :

nauwkeurigheid :  $\pm 10^\circ$

bereik =  $0^\circ$  tot  $360^\circ \pm 1,5^\circ$

lineariteit potentiometer : 0,1 %

Fig. 19 toont het elektrisch schema van de snelheidsmolen.

## 2) De meettechniek.

De snelheden werden gemeten op een verticale met tussenafstanden van 1 meter, en dit om het half uur. Wegens de traagheid van de meter en de turbulentie, was het noodzakelijk het toestel op elk meetniveau een bepaalde tijd stil te houden, alvorens over te gaan naar een volgend niveau.

Fig. 20 a geeft een voorbeeld van een snelheidsmeting op een verticale in punt A (raai 16) van de toegangseul.

Fig. 20 b geeft een voorbeeld van de registratie van de snelheid op 2 m boven de bodem in punt A (raai 16) van de toegangseul.

De waterhoogte in de toegangsecul zal, wegens het getij, variëren van  $\pm 10$  m tot  $\pm 15$  m.

Om nu de snelheden op bepaalde plaatsen en bepaalde tijdstippen met mekaar te kunnen vergelijken (bij voorbeeld voor het meten van de zoutwig) is het nodig dat we de totale waterhoogte telkens herleiden tot 100 %.

## B. METEN VAN HET ZOUTGEHALTE.

Zoals vroeger reeds werd vastgesteld is de flocculatie van de vaste stoffen in suspensie in het Scheldewater afhankelijk van de concentratie van de opgeloste en gefoniseerde zouten. Zeewater bezit een tamelijke constante chemische samenstelling. Zo heeft men vrij nauwkeurig een verband kunnen leggen tussen de specifieke geleidbaarheid en het zoutgehalte bij een bepaalde temperatuur.

Dit verband is vastgesteld aan de hand van metingen van oplossingen van zeewater, verdund met gedistilleerd water. Daar nu de concentratie van zouten opgelost in het bovenwater de samenstelling van het zeewater weinig beïnvloeden, kunnen we zeggen dat dit verband ook geldt voor Scheldewater (ref. Contribution à l'étude de l'envasement de l'Escaut. Rapport n° 3 door R. Wollast).

De geleidbaarheid van het water verandert met de temperatuur. Bij het bepalen van de specifieke geleidbaarheid is het noodzakelijk de temperatuur van het water te meten en in rekening te brengen, of de specifieke geleidbaarheid naar één bepaalde temperatuur te herleiden.

### 1. Meetprincipe.

De weerstand van een geleider kan bepaald worden door de formule :

$$R = \rho \frac{l}{a} \quad (1)$$

R = weerstand in  $\Omega$

l = lengte in m

$\rho$  = soortelijke weerstand in  $\Omega \cdot m$

a = de doorsnede in  $m^2$

Deze relatie geldt ook voor de elektrische geleiding in elektrolyten zodat men door het meten van  $R$  de soortelijke geleiding of de geleidbaarheid van een elektrolyt kan bepalen. Deze geleidbaarheid is gelijk aan de reciproke waarde van de soortelijke weerstand, zodat men uit formule (1) kan afleiden dat

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{a} \cdot \frac{1}{R} \quad (2)$$

waarin  $\gamma$  de specifieke geleidbaarheid is.

De factor  $\frac{l}{a}$  heeft voor iedere meetcel een bepaalde waarde en wordt de celconstante ( $C$ ) genoemd. Deze celconstante wordt gewoonlijk bepaald door de weerstand van een vloeistof met gekende geleidbaarheid te meten.

Uit  $C = \frac{l}{a}$  volgt dat de celconstante de dimensie  $L^{-1}$  heeft.

\*  
\*            \*

De geleidbaarheid van een oplossing van een elektrolyt hangt onder meer af van

- a. de soort ionen
- b. de ionenconcentratie
- c. de temperatuur

De invloed van de soort ionen op de geleidbaarheid staat in verband met de activiteit van het ion.

Het verband tussen de geleidbaarheid en de concentratie is voor verdunde oplossingen vrijwel lineair omdat alle moleculen in ionen gesplitst zijn.

Bij hogere concentraties treden echter afwijkingen op door het afnemen van de ionisatiegraad.

De toename van de geleidbaarheid met de temperatuur heeft verschillende oorzaken :

De activiteit van de ionen en de ionisatiegraad nemen toe met de temperatuur.

Meestal wordt bij geleidbaarheidsmeters de referentietemperatuur opgegeven. Als referentietemperatuur zijn gebruikelijk 18° C, 20° C en 25° C.

Indien de geleidbaarheid bij een andere temperatuur gemeten is, dan kan deze als volgt tot de referentietemperatuur (bij voorbeeld 20° C) worden herleid.

$$\gamma_t = \gamma_{20} [1 + \alpha_{20} (t - 20)]$$

of

$$\gamma_{20} = \frac{\gamma_t}{[1 + \alpha_{20} (t - 20)]}$$

waarin  $\gamma_t$  = geleidbaarheid bij  $t$ ° C  $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$

$\gamma_{20}$  = geleidbaarheid bij 20° C in  $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$

$t$  = temperatuur waarbij gemeten is in ° C

$\alpha_{20}$  = temperatuurscoëfficiënt bij 20° C in % per ° C

De waarde  $\alpha_{20}$  hangt af van de soort ionen.

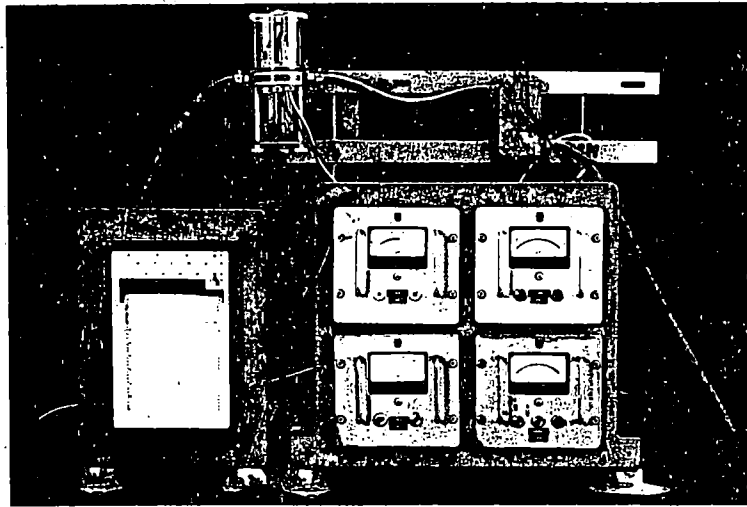
Voor zeewater neemt men gewoonlijk  $\alpha_{20} = 2,5$  % per ° C.

Uit de hoge waarde van  $\alpha$  blijkt dat bij nauwkeurige geleidbaarheidsmetingen een goede temperatuurstabiliteit zeer belangrijk is.

De geleidbaarheidsmetingen laten toe volgende karakteristieken van het water af te leiden (fig.21) : relatieve dichtheid, zoutgehalte, chloorgehalte en % zeewater.

## 2. De geleidbaarheidsmeters.

a. - De geleidbaarheidsmeter Philips type PR 9502.



Het is een toestel van het industrieel type, robuust gebouwd en bestand tegen vochtigheid.

Meetprincipe (fig. 22 a).

De geleidbaarheidsmeter meet in principe het verband tussen de weerstand ( $R_W$ ) van de vloeistof die zich tussen de elektroden bevindt en een referentieweerstand ( $R_i$ ).

De referentieweerstand, die het meetbereik bepaald, wordt gevoed door een referentiecel (of een temperatuursgevoelige weerstand). De twee weerstanden  $R_W$  en  $R_i$  maken deel uit van een brugschakeling.

Deze brug wordt gevoed door een wisselspanning van 80 Hz of 1000 Hz. Daardoor wordt de invloed van capaciteiten of polarisatieverschijnselen op de elektroden uitgeschakeld.

In een temperatuursgebied van 0 tot  $-30^{\circ}\text{C}$  herleidt het instrument de gemeten elektrische geleidbaarheid tot de waarde van  $20^{\circ}\text{C}$ .

De waarde van de celconstante wordt op voorhand ingesteld op de geleidbaarheidsmeter, zodanig dat het meetresultaat direct kan afgelezen worden ofwel opgeschreven door een registreertoestel.

meetbereik : 0 - 30 m S

nauwkeurigheid : 2 % einde schaal

Meettechniek (fig.22b)

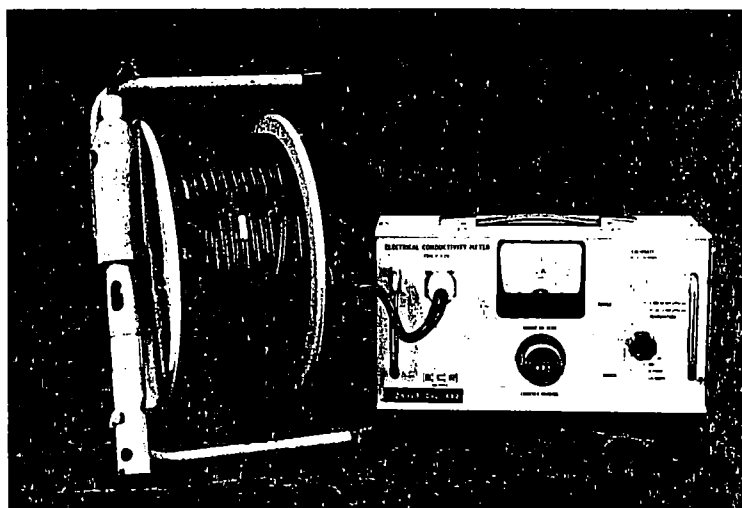
Het water wordt opgepompt uit de rivier en gestuurd naar een doorstroomcel, waarin de meetelektrode en de referentie-elektrode zich bevinden.

De doorstroomcel wordt in de nabijheid van het toestel geplaatst. Dit heeft als voordeel dat de verbindingkabels tussen de meetcel en het meetapparaat kort zijn, en zodanig alle verliezen en storingen vermeden worden.

De pomp wordt op een bepaalde diepte gehangen en de geleidbaarheid wordt gemeten en geregistreerd gedurende een volledig getij.

Fig.23 geeft een voorbeeld van een geleidbaarheidsmeting te Fort Frederik op 16.7.67

b. -Geleidbaarheidsmeter E. C. R. type P 4 E.



Dit draagbaar toestel is speciaal gemaakt voor metingen in de natuur waarbij, door een waarnemer, de specifieke elektrische geleidbaarheid van het water wordt gemeten.

De meetwaarde is op de instelknop in getalvorm af te lezen, nadat een wijzerinstrument, met nulpunt in het midden van de schaal, op nul is ingesteld.

Er zijn twee meetbereiken :

- I. 500 - 50.000  $\mu S$  per cm
- II. 20 - 2.000  $\mu S$  per cm

In een temperatuurgebied van 0-30° C herleidt het instrument de gemeten elektrische geleidbaarheid automatisch tot de waarde bij 18° C met een nauwkeurigheid van  $\pm 1,5\%$  van de meetwaarde. Deze herleiding geschiedt op basis van de temperatuurgrafiek van zeewater of zeewater verdund met gedistilleerd water en bedraagt gemiddeld ongeveer 2,5 % per ° C.

Een groot voordeel van dit toestel is dat de meetcel volgens het 4 elektroden principe is uitgevoerd. Daardoor heeft vervuiling van de meetelektrode (d. i. de aanwezigheid van elektrische overgangsweerstand op het elektrodenmateriaal) nagenoeg geen invloed op het meetresultaat.

Doordat de constructie van de meetcel volgens het dompelprincipe is uitgevoerd kan men bijvoorbeeld op een snelle en nauwkeurige wijze een "verticaal" doormeten (fig.24 geeft hiervan een voorbeeld).

Het toestel werkt volgens het compensatiesysteem (nulmethode) waardoor de nauwkeurigheid van het wijzerinstrument geen rol speelt. Mede hierdoor kan de onnauwkeurigheid van het instrument worden uitgedrukt t. o. v. de meetwaarde en niet t. o. v. de eindwaarde.

#### Meetprincipe

Als meetcel wordt een buis van een kunsthars-compositie gebruikt, waarin op onderling gelijke afstanden 4 ringvormige meetelektroden van corrosievrij-materiaal geïsoleerd van mekaar zijn opgesteld. In fig.25a zijn met 1 en 4 de stroom en met 2 en 3 de spannings-elektroden aangegeven. Door een wisselspanningsbron (oscillator met  $f = 70 \text{ Hz}$ ) wordt tussen de stroomelektroden 1 en 4 een stroom  $I$  veroorzaakt. Een gedeelte hiervan  $\alpha I$  loopt door het water in de meetcel langs de spanningselektroden 2 en 3, de rest  $(1 - \alpha) I$  loopt via de openbuisseinden door het omringende water naar de andere zijde van de meetcel.

De spanning tussen de elektroden 2 en 3 is nu

$$V_{R_w} = \alpha I R_w = \alpha \frac{I}{G_w} \quad (1)$$

waarin  $R_w$  = de elektrode weerstand van het water tussen 2 en 3

$$G_w = \frac{1}{R_w} = \text{de elektrische geleiding van het water.}$$

In de stroomketen is via een transformator  $U$  een temperatuur afhankelijke weerstand  $R_T$  opgenomen.

De spanning hierover bedraagt :

$$V_{R_T} = UI \frac{1}{G_T} \quad (2)$$

$U$  = de transformator verhouding

$G_T$  = de elektrische geleiding van de temperatuursafhankelijke weerstand.

Door middel van een potentiometer  $P_\beta$  kan  $V_{R_w}$  zodanig worden verzwakt, dat deze spanning binnen een zekere tolerantie gelijk is aan  $V_{R_T}$ .

De waarde van  $\beta$  wordt tijdens de meting met de hand ingesteld en wel zodanig dat het spanningsverschil  $e$  tussen  $V_{R_T}$  en  $V_{R_w}$  nagenoeg nul is ( $\beta$  = hoekverdraaiing  $0 < \beta < 1$ ).

$$\text{Uit } V_{R_w} = V_{R_T} \text{ volgt dat } \beta \propto I \frac{1}{G_w} = UI \frac{1}{G_T}$$

$$\text{of } \beta = \frac{G_w}{G_T} \frac{1}{\alpha} U \quad (3)$$

De geleidbaarheid van het water  $G_w$  hangt af van de specifieke geleidbaarheid  $\gamma$ , de doorsnede van de meetcel  $\alpha$  en de afstand  $l$  tussen de elektroden 2 en 3, zodat geldt :



$$G_w = \gamma \frac{a}{l}$$

$$\text{of } \beta = \frac{\gamma}{G_T} \frac{a}{l} \frac{1}{\alpha} U \quad (4)$$

waarin  $\frac{\gamma}{G_T}$  de gereduceerde specifieke geleidbaarheid  $\gamma_T$ ,  $\frac{a}{l}$   $\frac{1}{\alpha}$

de celconstante en  $U$  de transformatieverhouding voorstelt.

Uit (5) blijkt dat  $\beta$  omgekeerd evenredig is met de elektrische geleiding in de weerstand  $R_T$  of

$$\beta = \frac{\gamma_{T_0}}{G_{T_0}} \frac{f(T)}{f(T)} C = \frac{\gamma_{T_0}}{G_{T_0}} C \quad (5)$$

waarin  $\gamma_{T_0}$  = de specifieke geleidbaarheid bij een bepaalde temperatuur  $T_0$

$G_{T_0}$  = de geleiding in de temperatuursgevoelige weerstand  $R_T$  bij een bepaalde temperatuur  $T_0$

$C$  = constante die afhankelijk is van

1) de celconstante

2) de transformatieverhouding.

Fig.25 b geeft het elektrisch schema van het toestel.

Voordelen van het 4 elektroden systeem op het 2 elektroden systeem.

Uit het vorige is gebleken dat de vervuiling van de stroom-elektroden het meetresultaat niet beïnvloed, immers de stroom  $I$  valt in formule (3) weg. Een vermindering van deze stroom ten gevolge van bv. polarisatie-effecten treedt eerder op bij een relatief hoge stroom.

Het potentiaal verschil  $V_{R_w}$  op de spanningselektroden wordt via een versterker met hoge ingangsweerstand gemeten, zodat de stroom die hiervoor nodig is, maximum  $0,5 \mu$  A bedraagt.

Een dergelijke stroom geeft een dusdanig kleine stroomdichtheid op het elektrodenmateriaal dat hierdoor praktisch geen polarisatie optreedt.

Essentieel voor dit systeem is dat de stroomelektroden van de spanningselektroden gescheiden zijn. Bij het 2 elektrodensysteem worden beide elektroden zowel voor de stroomdoorgang als voor de potentiaalmeting gebruikt. In dit geval kan men de stroom niet ongestraft laag kiezen in verband met onnauwkeurigheden in de potentiaalmeting.

Daaruit volgt dat men reeds bij een kleine overgangsweerstand een betrekkelijk hoog spanningsverschil zal constateren en zodoende een foutieve meting zal verrichten.

Bij het 2 elektrodensysteem heeft men immers : (fig.26)

$$R_w = \frac{V}{I}$$

Noemen we  $R_v$  de overgangsweerstand tussen elektrode en water dan wordt niet de gewenste specifieke weerstand  $R_w$ , doch een schijnbare weerstand  $R_w' = R_w + 2 R_v$  gemeten.

Uit de praktijk is nu gebleken dat de waarde van  $R_v$  die van  $R_w$  kan overschrijden.

Onderstaande tabel geeft een vergelijking van het 2 elektrodensysteem met het 4 elektrodensysteem. Hieruit blijkt, dat de optredende fouten door vervuiling in het 2 elektrodensysteem groter zijn dan bij het 4 elektrodensysteem.

$R_w$ (ohm cm)	$G_w$ ( $\mu S/cm$ )	$2 R_v$ (ohm)	fout in %	
			I	II
500	2000	500	100	0,5
1000	1000	500	50	0,5
2000	500	500	25	< 0,5
10000	100	500	5	< 0,5

Kolom I geeft de fout weer in het 2 elektrodensysteem als berekende waarde, terwijl kolom II de fout in het 4 elektrodensysteem weer- geeft als gemeten waarde.

Specificaties :

Meetbereiken : I van 500- 50.000  $\mu$  S/cm bij 18° C  
II van 20- 2.000  $\mu$  S/cm bij 18° C  
temperatuursbereik van 0° C tot ca. 40° C

Nauwkeurigheid : I  $\pm 2\%$  van de meetwaarde boven 2500  $\mu$  S/cm  
daaronder  $\pm 50$   $\mu$  S/cm

II  $\pm 2\%$  van de meetwaarde boven 100  $\mu$  S/cm  
daaronder  $\pm 2$   $\mu$  S/cm

temperatuurmeting :  $\pm 0,2^{\circ}$  C

Instelnauwkeurigheid : I  $\pm 0,10\%$  van de meetwaarde

II  $\pm 0,15\%$  van de meetwaarde

temperatuurmeting :  $\pm 0,1^{\circ}$  C

C. DE TEMPERATUURMETINGEN.

1. Basisprincipe.

De thermometrie heeft een grote vooruitgang gemaakt sinds de thermistors op punt gesteld werden.

De thermistor is een halfgeleider, samengesteld uit een mengsel van gegloeide keramiek oxyden die een zeer grote negatieve temperatuurscoëfficiënt bezit. Rond de normale temperatuur varieert de weerstand van zulk een element ongeveer 5% per centigraad.

Deze gevoeligheid maakt het mogelijk thermistors te gebruiken voor het meten van temperatuur waarmee een nauwkeurigheid kan bereikt worden van  $0,0005^{\circ}\text{C}$ . De zeer kleine volume-inhoud van zulk een element, die slechts enkele kubieke millimeter bedraagt, is ook een belangrijk voordeel t. o. v. de gebruikelijke meetmethoden, vooral ook omdat de antwoordsnelheid van de thermistor zeer groot is, zodat temperatuurschommelingen praktisch onmiddellijk kunnen vastgesteld worden.

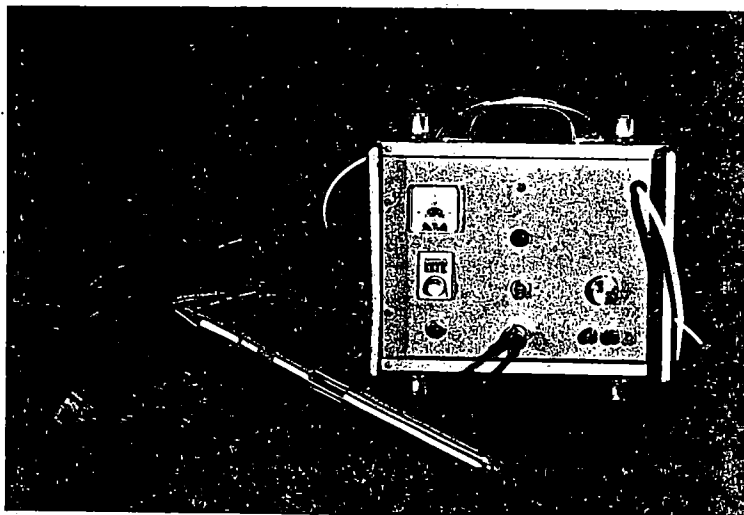
De thermistors die op dit ogenblik op industriële schaal geproduceerd worden zijn heel constant en in het algemeen garanderen de producenten dat de afwijking van de weerstand niet meer dan 0,5% per jaar zal bedragen.

Verder is het mogelijk deze elementen op zeer eenvoudige wijze in een meetkring in te bouwen, zodat de basisprijs van zulk een temperatuurmeter klein is.

Het is dus mogelijk met weinig kosten een groot aantal meetpunten in te richten, wat voor onze studies een groot voordeel betekent.

Om al deze redenen hebben we een meetsysteem ontworpen dat gebaseerd is op het gebruik van thermistors en dat ons toelaat snel en nauwkeurig de temperatuurprofielen op te nemen.

## 2. Beschrijving en bespreking van de temperatuurmeter.

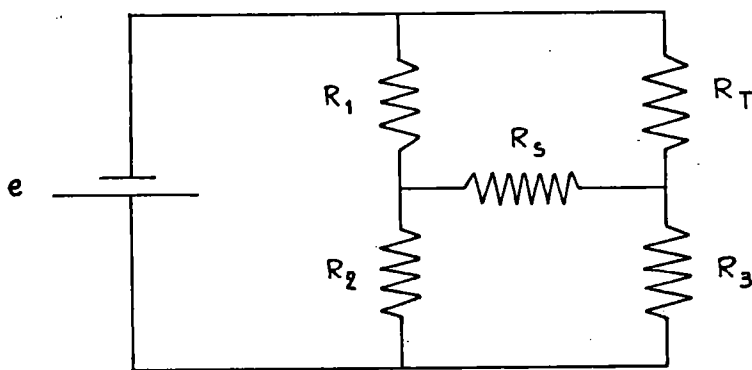


De methode voor het meten van de temperatuur en de temperatuurveranderingen door middel van een thermistor bestaat erin deze in een brug van Wheatstone te plaatsen en de afwijkingen van de evenwichtstoestand op te nemen.

Vooreerst moeten de karakteristieken van de thermistor en van de brug bepaald worden opdat deze zou voldoen aan de vereiste gevoeligheid om de kleine temperatuurvariatiën, die langs een verticaal profiel voorkomen, te kunnen waarnemen en registreren.

Anderzijds is het wenselijk dat de afwijking van de brug zo veel mogelijk lineair zou zijn in functie van de temperatuurveranderingen, dit om de interpretatie van de metingen gemakkelijker te maken.

Een eenvoudig schema van de temperatuurmeter ziet eruit als volgt :



$R_T$  = weerstand van de thermistor.

Omdat het toestel een lineair verloop zou geven is het noodzakelijk dat de weerstanden  $R_2$  en  $R_3$  even groot zijn en ongeveer van dezelfde grootte als de weerstand van de thermistor bij de gemiddelde temperatuur die gemeten wordt.

Om een interessante variatie te krijgen van de weerstand die niet afhangt van de weerstandsvariatiën van de gebieden en de contacten, wordt over het algemeen aangeraden thermistors te gebruiken met een weerstand van ongeveer 1000 à 2000  $\Omega$  in het vereiste temperatuurgebied. Om deze reden werd een thermistor genomen met een weerstand van ongeveer 1000  $\Omega$  bij 15° C. Hierdoor worden dus ook de weerstanden  $R_2$  en  $R_3$  vastgelegd namelijk 1000  $\Omega$ .

De weerstand  $R_1$  is veranderlijk en dient om de brug in evenwicht te brengen wanneer de thermistor op de plaats is waar de temperatuur dient gemeten te worden. Wanneer de brug in evenwicht is, is natuurlijk  $R_1 = R_T$ . Deze waarde van  $R_1$  laat ons toe de temperatuur af te lezen door middel van een op voorhand opgestelde ijkcurve.

Als meetkring heeft men een millivoltmeter geplaatst over de weerstand  $R_3$ . Om een goede gevoeligheid te bekomen is het noodzakelijk dat de weerstand van de meettak tienmaal groter is dan de weerstand van de thermistor bij de gemiddelde temperatuur waarop deze gebruikt wordt. De weerstand van  $R_3$  wordt dus 1000  $\Omega$  genomen.

De waarde van het signaal dat bekomen wordt bij een afwijking uit de evenwichtsstand is afhankelijk van de grootte van de spanning over de brug. Deze is echter gelimiteerd, daar bij een te grote spanning in de thermistor een verwarmingseffect plaats vindt onder invloed van de stroom die erdoor gaat. Door dit verwarmings-effect vermindert de weerstand van de thermistor, zodat de stroom die erdoor gaat nog groter wordt en dit tot de thermistor uiteindelijk een temperatuur bereikt waarop deze stuk gaat. De spanning moet dus zorgvuldig gekozen worden. Ze mag niet te groot zijn, doch ze moet voldoende groot zijn om een goed waarneembaar signaal te bekomen. Een andere mogelijkheid is, de spanning zeer klein te nemen en het signaal achteraf te versterken.

### 3. Voordelen van de temperatuurmetingen.

De zoutgradiënt in de Schelde bestaat omdat men een goede menging heeft van het zoete bovenwater met het zoute zeewater door turbulente diffusie. Maar deze twee hebben ook verschillende temperaturen. Er ontstaat dus in de Schelde een temperatuurgradiënt van dezelfde aard als de horizontale zoutgradiënt. De temperatuurverschillen zijn echter zo klein dat ze soms moeilijk op te meten zijn met klassieke methoden.

De laatste jaren werd voorgesteld deze temperatuurvariatiën op te meten in plaats van de zoutvariatiën om dichtheidsstromingen te lokaliseren. Het is wel te verstaan dat deze metingen de zoutmetingen niet vervangen, maar het meten van de temperatuur gebeurt vlugger, nauwkeuriger en de toestellen zijn goedkoper.

Het eerste toestel, door ons gebruikt, werd begin 1968 ontworpen en gebouwd in de dienst van Scheikunde der vaste stoffen van de V.U.B. De proefmetingen werden gedaan in het bouwdok van de E3 tunnelwerken en leverde goede resultaten op.

Fig. 27 geeft een voorbeeld van een meting.

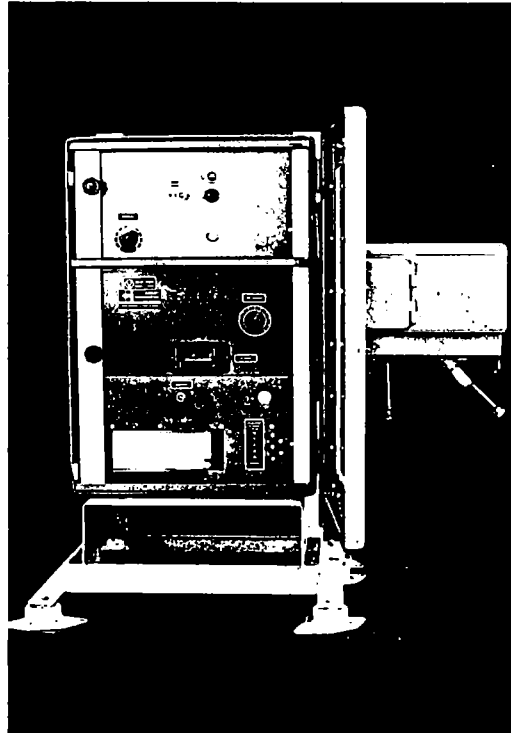
Op 14.3.1968 begonnen de metingen in de toegangseul tot de sluis van Zandvliet met het prototype.

Het Waterbouwkundig Laboratorium heeft een tweede toestel gebouwd. Twee andere werden begin 1969 in gebruik genomen. Dit zal ons toelaten volledige metingen in drie meetpunten te verrichten en aldus de zoutwig beter te kunnen volgen.

Om op het nut van de temperatuurmetingen te wijzen kunnen we de zoutvariatiën vergelijken met de temperatuurvariatiën (fig. 28).

D. METEN VAN DE TROEBELHEID.

1. Diffusie - Turbiditeitsmeter.



De troebelheid werd gemeten met een toestel "Sigrist". Het meet-principe steunt op het diffusieverschijnsel.

Een lichtbundel valt op de deeltjes in suspensie en wordt in alle richtingen verstrooid. Men meet de intensiteit van het licht dat zijdelings wordt verstrooid. Deze methode heeft het primordiale voordeel de meting toe te laten van de effectieve troebelheid, want het zijn slechts deeltjes in suspensie die in staat zijn het licht te verstrooien en niet de opgeloste stoffen. Ze laat tevens toe zeer kleine verschillen in helderheid te meten en dit met een zeer grote nauwkeurigheid.

Het apparaat geeft goede resultaten wanneer de troebelheid minder dan 500 ppm bedraagt en de deeltjes kleiner zijn dan 60 mikron, wat in de toegangsgeul tot de Zandvlietsluis gewoonlijk het geval is.



Het toestel werkt als volgt : fig. 29 a.

Een lichtbron (1), gevoed door het net, zendt een lichtbundel naar een trillende spiegel (2) die ongeveer 600 x/sec afwisselend meetbundel (3) en een vergelijkingsbundel (4) weerkaatst.

De ene lichtstraal komt in de meetcel (5) waar ze door de te meten vloeistof wordt weerkaatst naar een fotoelektrische cel (7).

De andere wordt doorheen een midden met gekende helderheid (ijkcel) (6) gestuurd, vooraleer eveneens de fotoelektrische cel te bereiken.

Deze laatste ontvangt dus om de beurt een meetstraal en een vergelijkingsstraal van verschillende intensiteit.

De fotoelektrische cel zet de lichtintensiteit om in een elektrische stroom die langs een versterker (8) een vervormsysteem (9) voedt. Dit laatste verandert d. m. v. een mechanisch diafragma (10) de intensiteit van de vergelijkingsstraal totdat beide stralen de fotocel bereiken met dezelfde intensiteit. Het diafragma is mechanisch gekoppeld met een ge graduateerde trommel (11) die de meetwaarde aangeeft overeenkomend met de positie van het diafragma.

De positie verandert opnieuw als troebelheidsvariatiën de intensiteit van de meetstraal terug beïnvloeden.

Dank zij het uitsluitend optisch meetbrugprincipe met één enkele lichtbron en één fotocel, is deze fotometer buitengewoon stabiel. Dit is van belang voor een troebelheidsmeter die bestendig in dienst is.

De gemeten waarde wordt immers niet beïnvloed door variatiën van de netspanning, van de lichtbron, en van de fotoelektrische cel.

De 100 % waarde heeft een voortdurende stabiliteit van  $\pm 0,5$  %.

#### Meetlichaam.

(fig. 29 b). De meetstraal (1) valt in de vloeistof (2) waar de troebelheid diffusie veroorzaakt. De verstrooide straal wordt opgevangen door een lens (3) en op de fotocel (4) geprojecteerd. De vergelijkingsstraal (5) bereikt langs de ijkcel (6) eveneens de fotocel.

Een speciaal optisch systeem belet het weerkaatste licht en de gebroken straal de fotocel binnen te dringen.

De meetcel bevat geen vensters, er is dus geen reiniging nodig.

#### Eenheden.

De intensiteit van het verstrooide licht is niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid deeltjes in suspensie, maar ook van hun samenstelling (alle deeltjes met dezelfde mineralogische samenstelling of niet) en dispersievermogen (afhankelijk van hun vorm, grootte, kleur en brekingsindex).

De turbiditeitseenheid, gebaseerd op het siliciumoxyde (ppm SiO<sub>2</sub>) is internationaal erkend : 1 mgr SiO<sub>2</sub> per liter gedistilleerd water = 1 ppm SiO<sub>2</sub>.

1 mgr slib/liter  $\simeq$  1 ppm SiO<sub>2</sub>.

#### Karakteristieken Sigris.

Voeding 220 V 50 Hz

Wisselstroomversterker met servomotor

Gloeilamp om condensatie in het toestel te voorkomen

Meetlichaam 5T 4T2

Lichtbron : gloeilamp 6V/5A (2000 h)

Aluminiumspiegels

Papiersnelheid : 12 cm/h

Vermogen : 100 VA

Meetnauwkeurigheid : 1% bij volle schaaluitslag

Meetbereik : 200 - 500 - 1000 ppm.

#### Meettechniek (fig. 30).

Het water wordt opgepompt uit de rivier door middel van een dompel slijkpomp (Acec) (1) en gestuurd naar de doorstroomcel (overlaat) (2) van het toestel (3). De pomp wordt op een bepaalde diepte gehangen en de troebelheid wordt gemeten en geregistreerd gedurende een volledig getij.

Fig. 31 geeft een voorbeeld van een troebelheidsmeting in de Schelde ter hoogte van Ft. Frederik op 16.7.67.

## 2. Filtratie.

Wanneer men een discontinue meting wenst met grote nauwkeurigheid en men materiaal nodig heeft voor verdere mineralogische analyse, maakt men gebruik van de filtratiemethode.

Een typisch voorbeeld is het volgen van de evolutie van de troebelheid op een verticale gedurende een tij.

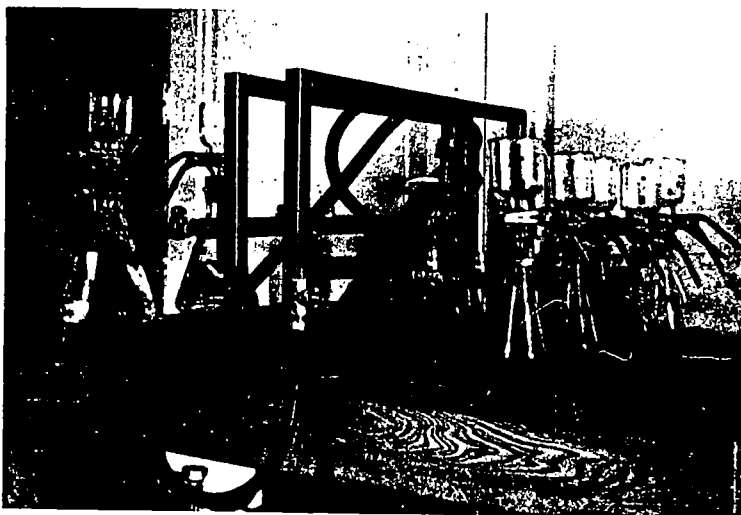
### Werkwijze.

#### 1. De monstername.

De monsters worden genomen met een pomp Acec type SP/0967 C. Deze heeft een grote opvoerhoogte (45 m) en een maximum debiet van  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ . De opvoersnelheid is groot, zodanig dat er geen segregatie van de sedimentkorrels gebeurt.

De monsters worden opgenomen in plastic flesjes met een inhoud van 250 cc.

#### 2. De filtratie.



De filterinstallatie bestaat uit 10 millipore stellen verbonden aan een vacuumpomp.

Elke filterhouder heeft een inhoud van 250 cc.

Als filter gebruikt men een millipore type GS met poriën van  $0,22 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$ .

Een filtratie duurt ongeveer een half uur.

De filter wordt vervolgens gedroogd en gewogen met een Mettler balans die een nauwkeurigheid heeft van  $\frac{1}{10.000}$  gram.

De grote nauwkeurigheid van deze methode laat toe met kleine hoeveelheden te werken.

Dit is van groot belang als men per meetdag een duizendtal monsters te onderzoeken heeft.

### 3. Verder onderzoek van de monsters.

De millipore filters laten toe dat men o. a. volgende analyses van de vaste stoffen kan verrichten, zonder de filter verder te bewerken.

- a. optische microscopie
- b. elektronen microscopie
- c. microchemische analyse
- d. absorptie van infrarood licht
- e. absorptie van zichtbaar licht
- f. absorptie van ultraviolet licht
- g. vlamfotometrie
- h. spectrum analyse
- i. x-stralen fluorescentie
- j. x-stralen diffractie



DEEL II

Meten van de aanslibbing in de  
toegangsgeul tot de zeesluis van  
Zandvliet door boringen.

---

METEN VAN DE AANSLIBBING IN DE TOEGANGSGEUL TE ZANDVLIET.  
BORINGEN VERRICHT VANAF 1 JANUARI 1969.

---

Als vervolg op de metingen van de aanslibbing in de toegangsgeul te Zandvliet van december 1967 tot augustus 1968 (cfr. Rapport "De aanslibbing en de verzanding van de toegangsgeulen tot de zeesluizen van de haven van Antwerpen - november 1968"), zijn we, na het beëindigen van de baggerwerken, einde december 1968, terug begonnen met systematische metingen uit te voeren.

De boringen gebeuren vanop de boeienlegger "Lillo".

Ze namen een aanvang op 6 januari 1969 en worden heden nog steeds voortgezet. Fig. 32 duidt de plaatsen aan in de toegangsgeul waar men gewoonlijk boort.

Resultaten.

1. De aanslibbingssnelheid.

Zoals afgebeeld op fig. 33 heeft het gewicht vaste stoffen, afgezet per m<sup>2</sup>, op 25 juni 1969 in boorpunt 2 1700 kg bereikt.

In 1968 werd dit gewicht reeds bereikt op 23 april. Het algemeen verloop van de aanslibbing is hetzelfde als in 1968.

De aanslibbing gebeurt vlug tijdens de vier eerste maanden om daarna te vertragen.

Laten we hierbij opmerken dat we de evoluties van 1968 en 1969 niet boven elkaar mogen tekenen, daar de begintoestanden niet overeenstemmen.

Bij het voorspellen van het verdere verloop van de aanslibbing in 1969 dient men zeer voorzichtig te zijn. Inderdaad, in juli 1968 vertoonde de aanslibbing een plotse stijging. Voor dit verschijnsel, dat zich in 1969 nog niet voordeed, werd tot op heden nog geen verklaring gevonden. Vooraleer de evolutie van de aanslibbing te kunnen voorspellen moet men dus verdere gegevens kunnen vergelijken.

## 2. Evolutie van het soortelijk gewicht op verschillende diepten.

Fig. 34 toont de evolutie van het specifiek gewicht op verschillende diepten in boorpunt 2 van de toegangsgeul tot de zeesluis van Zandvliet, vanaf december 1967 tot einde juni 1969.

Wanneer we de evolutie van 1969 vergelijken met die van 1968, dan zien we dat het algemeen verloop identiek is.

Uit de figuur blijkt tevens dat de consolidatie snel verloopt de eerste vier maanden, om vervolgens te vertragen.

Het verloop van de consolidatie in 1969 vertoont een merkelijk verschil met het verloop van 1968 tijdens de eerste vier maanden. Dit is te wijten aan het feit dat de begintoestanden niet dezelfde waren.

Men merkt tevens op de figuur dat op dit ogenblik (einde juni 1969) de consolidatie van de bovenste lagen begrepen tussen -10 m N.K.D. en -12 m N.K.D. nog niet zover gevorderd is als op hetzelfde ogenblik in 1968.

De sliblaag die zich bevindt op een diepte van -12 m N.K.D. heeft een specifiek gewicht van  $\pm 1,15 \text{ t/m}^3$  bereikt. Proeven gedaan op het laboratorium hebben uitgewezen dat het slib vanaf een specifiek gewicht van  $1,15 \text{ t/m}^3$  overgaat van een vloeistof naar een vaste stof. cfr. rapport "De aanslibbing en de verzanding van de toegangsgeulen tot de zeesluizen van de haven van Antwerpen - november 1968".

Zoals in juli 1968 ligt de bovenste laag van het slib op een cota van  $\pm 9,50 \text{ m}$  onder laagwater. Dit is duidelijk te zien op fig. 35 en fig. 36 die ons een langsprofiel tonen in de as van de toegangsgeul gemeten respectievelijk op 24.6.68 en op 25.6.69.

De vloeibare sliblaag heeft dus op heden nog een dikte van  $\pm 2,50 \text{ m}$ . De grootste schepen die momenteel te Zandvliet aanleggen hebben een diepgang van  $\pm 40$  voet, hetzij 12 m. Zij varen de sluis binnen met een getijniveau van tenminste  $+ 4,00 \text{ m N.K.D.}$  Het laagste punt van de romp bevindt zich dan op  $- 8 \text{ m N.K.D.}$ , hetzij tenminste 1 m boven de sliblaag.

In de veronderstelling dat de hoogte van het slib de  $- 8 \text{ m N.K.D.}$  zou overschrijden, wat in 1968 niet gebeurd is, zelfs dan is de situatie niet gevaarlijk, want het slib zet zich neer met een specifiek gewicht van 1,050 en heeft verschillende maanden nodig om aan het oppervlak



te consolideren en een specifiek gewicht van  $1,15 \text{ t/m}^3$  te bereiken (cfr. fig. 34). Zolang deze waarde niet wordt bereikt is het slib vloeibaar (zie rapport november 1968, blz. 15).

3. De evolutie van het gewicht vaste stoffen afgezet per  $\text{m}^2$  in functie van de diepte (fig. 37).

Uit fig. 37 blijkt dat er op dit ogenblik nog slechts een zeer kleine stijging van de sliblaag valt waar te nemen.

De consolidatie van de onderste lagen tot op een hoogte van ongeveer -12,50 m N.K.D. is praktisch beëindigd, terwijl de bovenste lagen nog voortdurend vaster worden.

Wanneer we de evolutie van 1969 vergelijken met die van 1968, dan zien wij dat er geen groot verschil bestaat.

De onderste lagen ( $500 \text{ kg/m}^2$ ,  $750 \text{ kg/m}^2$  en  $1000 \text{ kg/m}^2$ ) zijn op dit ogenblik meer geconsolideerd dan in juni 1968; dit is heel waarschijnlijk te wijten aan een verschil in begintoestand.

De toestand van de  $1500 \text{ kg/m}^2$  lijn einde juni 1969 is te vergelijken met de toestand van dezelfde lijn, begin mei 1968, dus  $\pm$  twee maand vroeger.

BESLUIT.

Op dit ogenblik beschikken we over de resultaten van twee evoluties van de aanslibbing in de toegangsgeul tot de zeesluis van Zandvliet.

Indien de aanslibbing blijft doorlopen zoals in juni 1969 en indien dezelfde basis aangehouden wordt waarbij de baggerwerken in de toegangsgeul in 1968 werden aangevangen, dan zal men niet moeten ingrijpen voor het einde van de maand september.

Nochtans wijst een studie van de peilkaarten erop dat het nodig zal zijn de drempel, gelegen tussen raai 20 van de toegangsgeul en de Schelde, reeds eerder uit te baggeren, zoals dit trouwens in 1968 ook gebeurd is.

Het nut van boringen te doen in de toegangsgeul is reeds bewezen, nochtans zou men over de resultaten van meer dan twee evoluties moeten kunnen beschikken om goede voorspellingen te kunnen doen.

De studie van het verloop van de aanslibbing, zoals die op dit ogenblik gebeurt, vraagt veel werk. Daarom zou het nuttig zijn over een radioactieve sonde te kunnen beschikken die op een directe wijze het specifiek gewicht van de verschillende sliedlagen aanduidt. Daar waar boringen een week werk vragen voor zes personen, zou hetzelfde werk kunnen verricht worden in twee dagen door twee personen.

In het meest ongunstige geval, dit wil zeggen indien de aanslibbing in de maand augustus vlug zou toenemen, zouden de baggerwerken een aanvang moeten nemen in september.

Indien echter de aanslibbing regelmatig blijft toenemen, kan men de baggerwerken voorzien voor november.

Borgerhout, Juni 1969.

De Ingenieur van Bruggen en Wegen,

De Hoofdingenieur-Directeur van Bruggen  
en Wegen,  
Directeur van het Waterbouwkundig Labo-  
ratorium ,

J. J. PETERS.

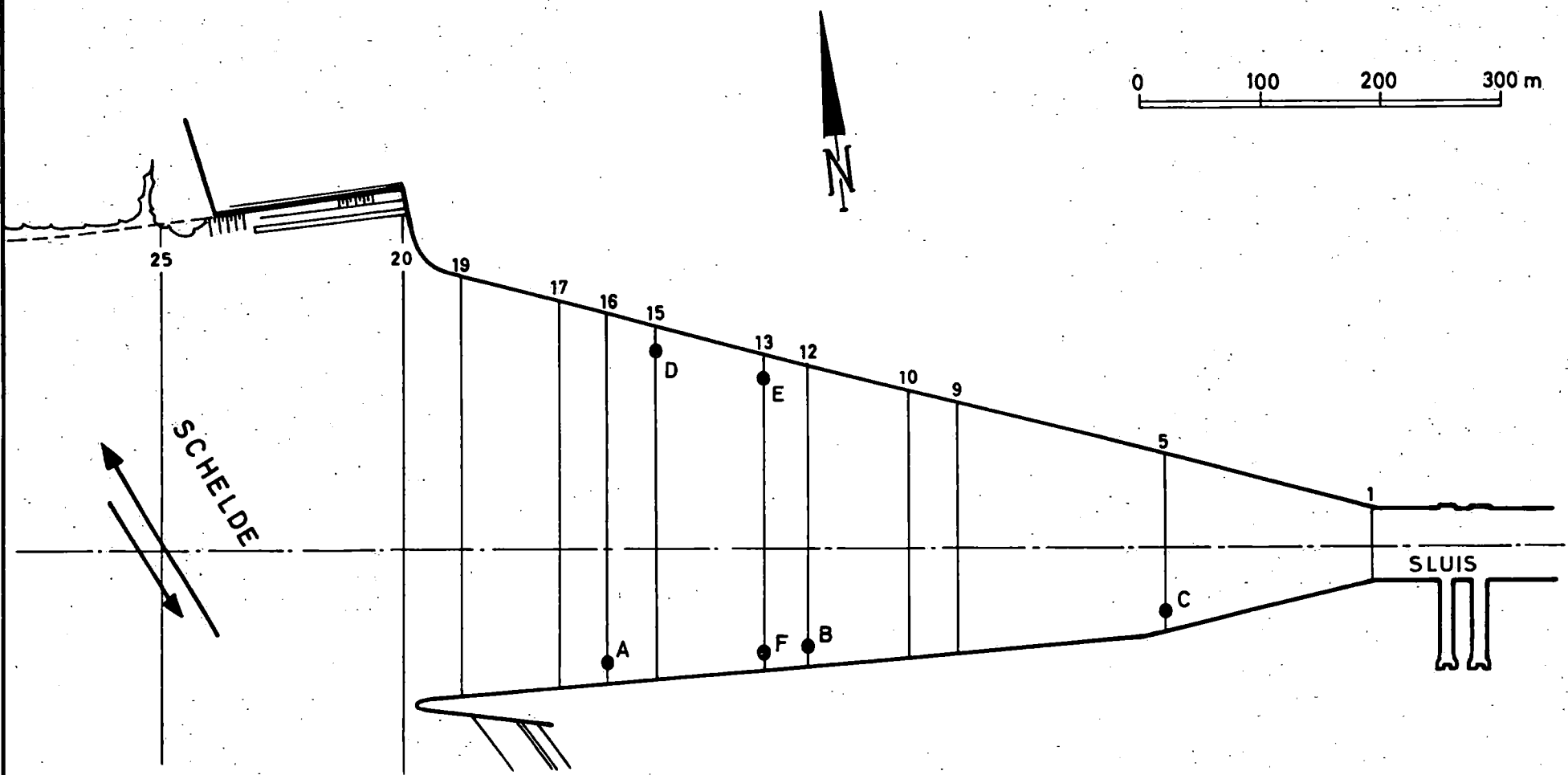
A. STERLING.

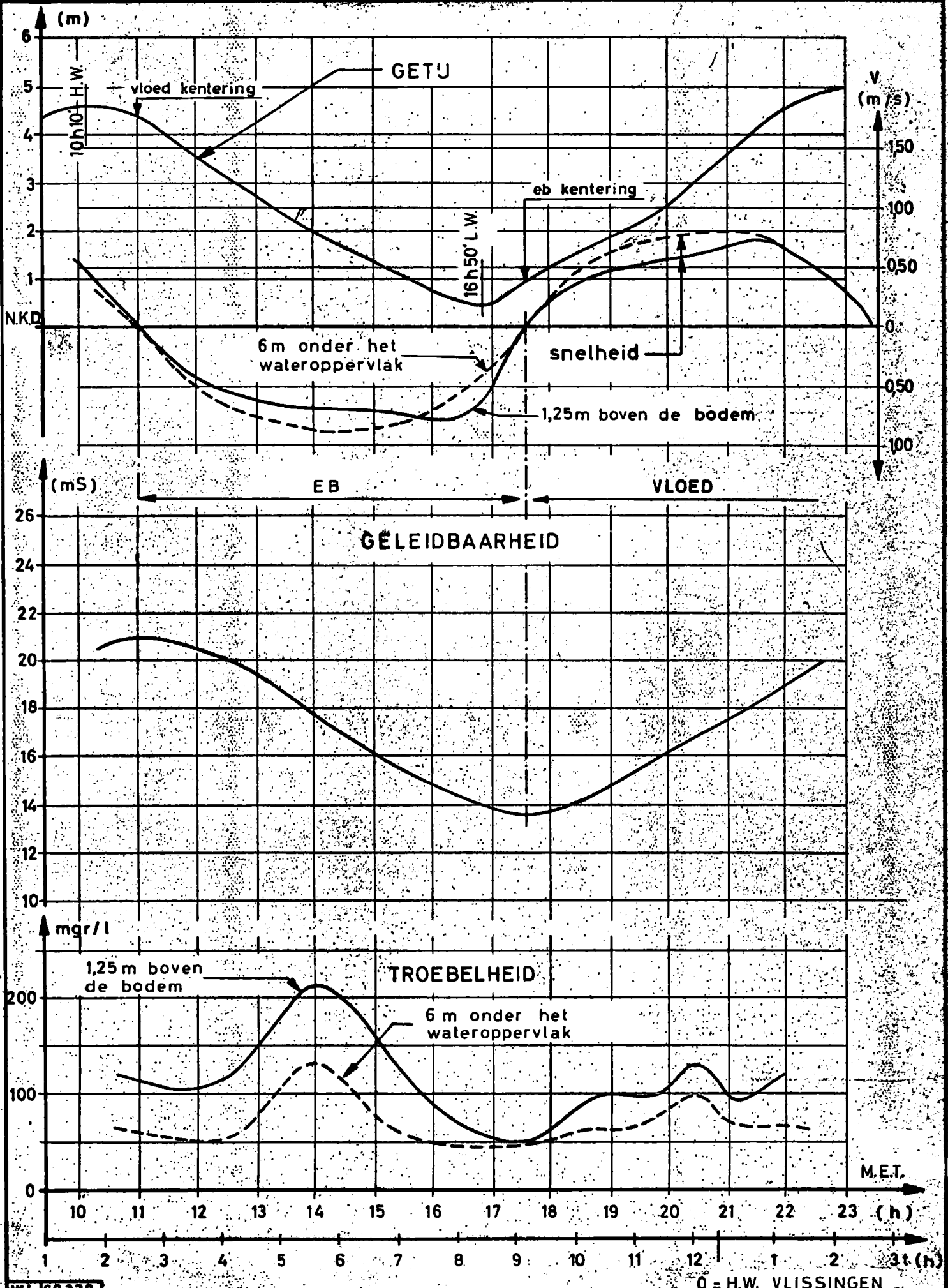
W.L. 69.339

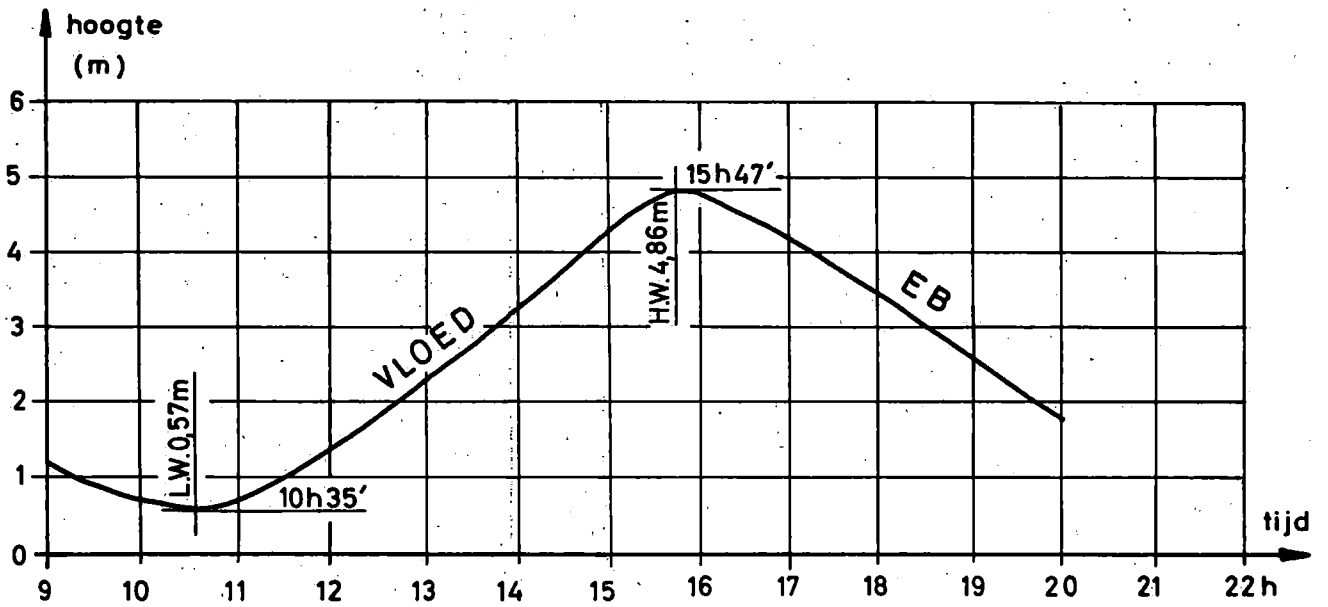
TOEGANGSGEUL  
ZEESLUIS ZANDVLIET

LIGGINGSPLAN

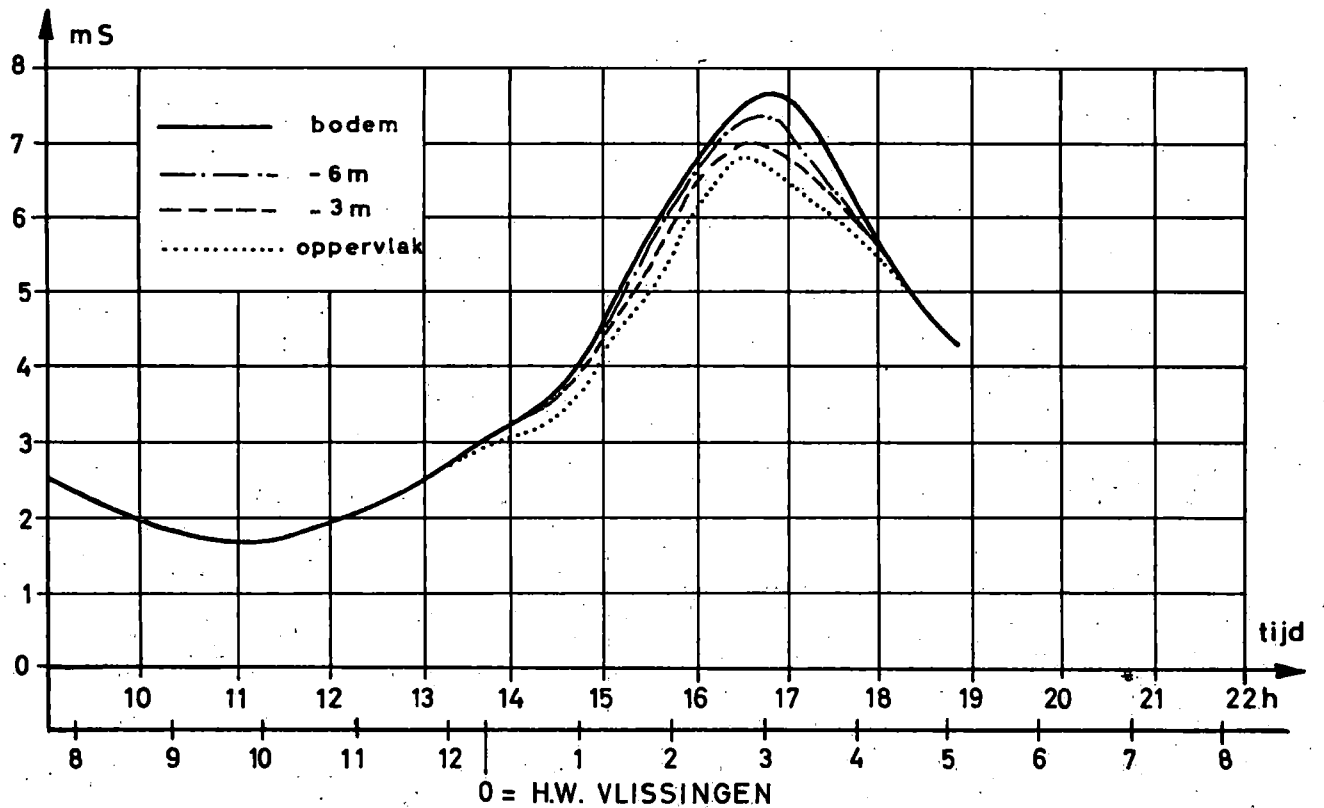
Fig. 1



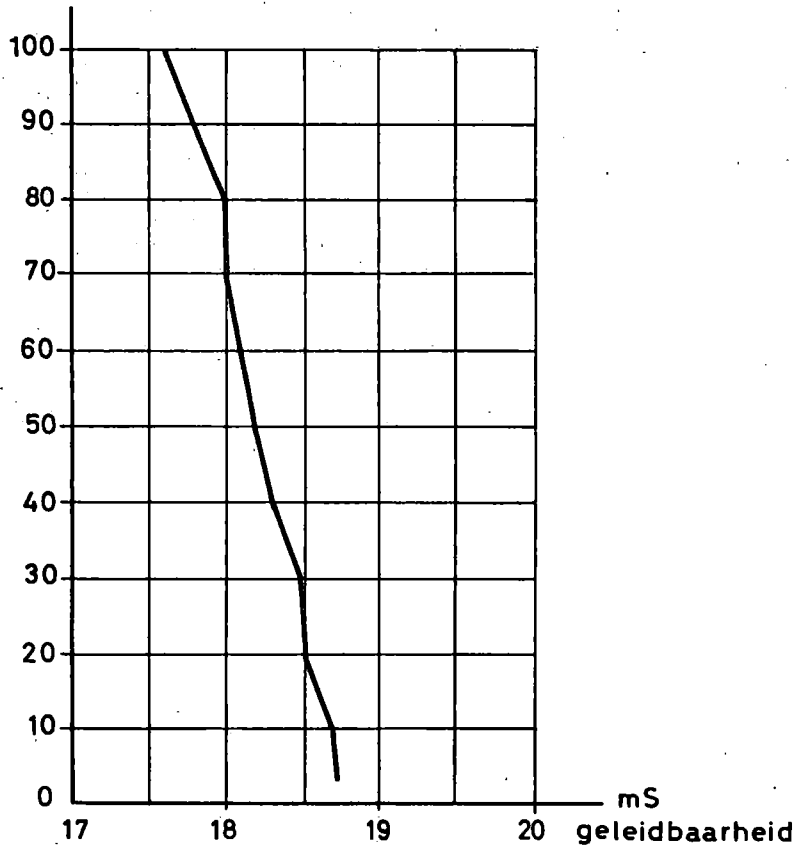


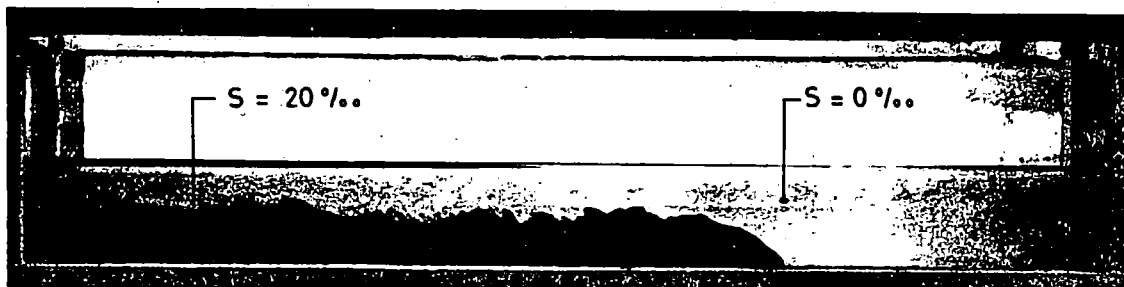


GELEIDBAARHEID

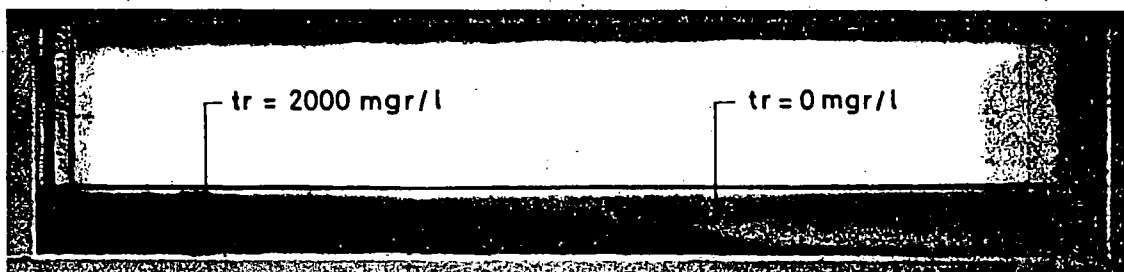


hoogte in %

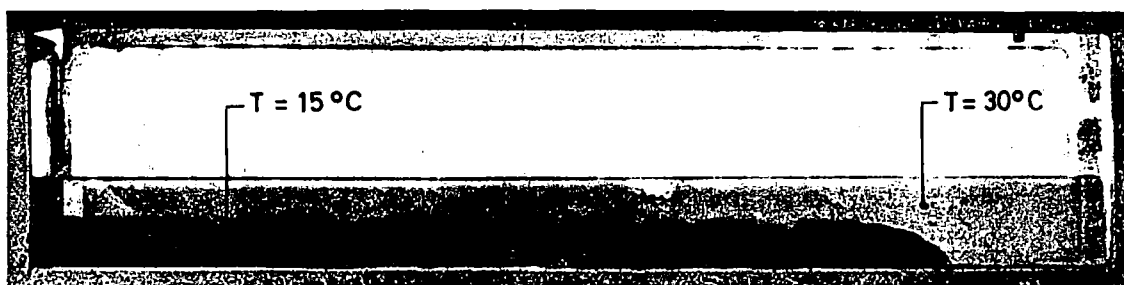




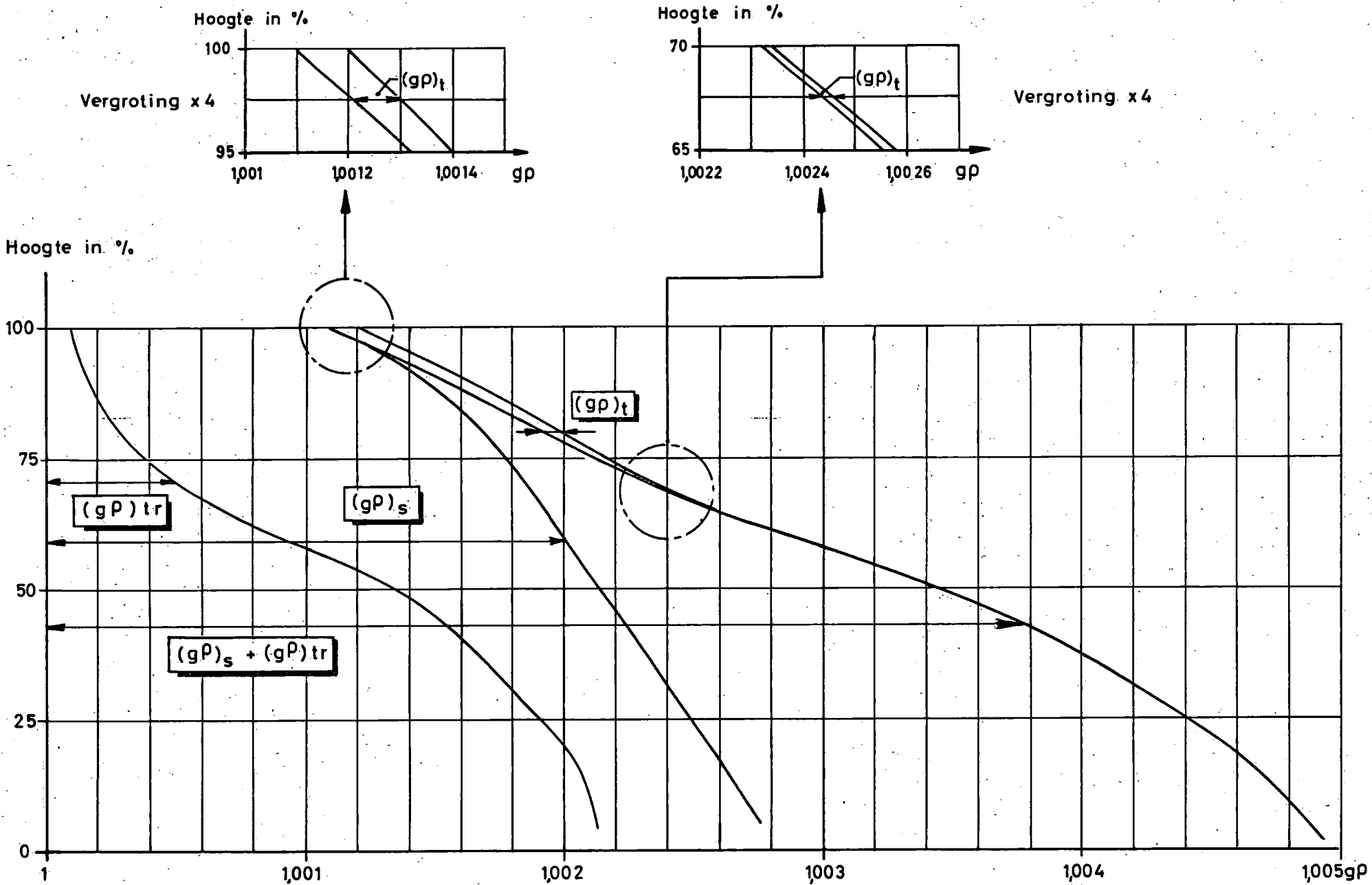
Densiteitsstromingen verwekt door zoutverschil



Densiteitsstromingen verwekt door troebelheidverschil



Densiteitsstromingen verwekt door temperatuurverschil



TOEGANGSGEUL  
ZESLUIS ZANDVLIET

INVLOED V/D TROEBELHEID  
ZOUTGEHALTE EN TEMPE-  
RATUUR OP DE DENSITEIT

Fig. 5



H (m N.K.D.)

GETIJKURVE

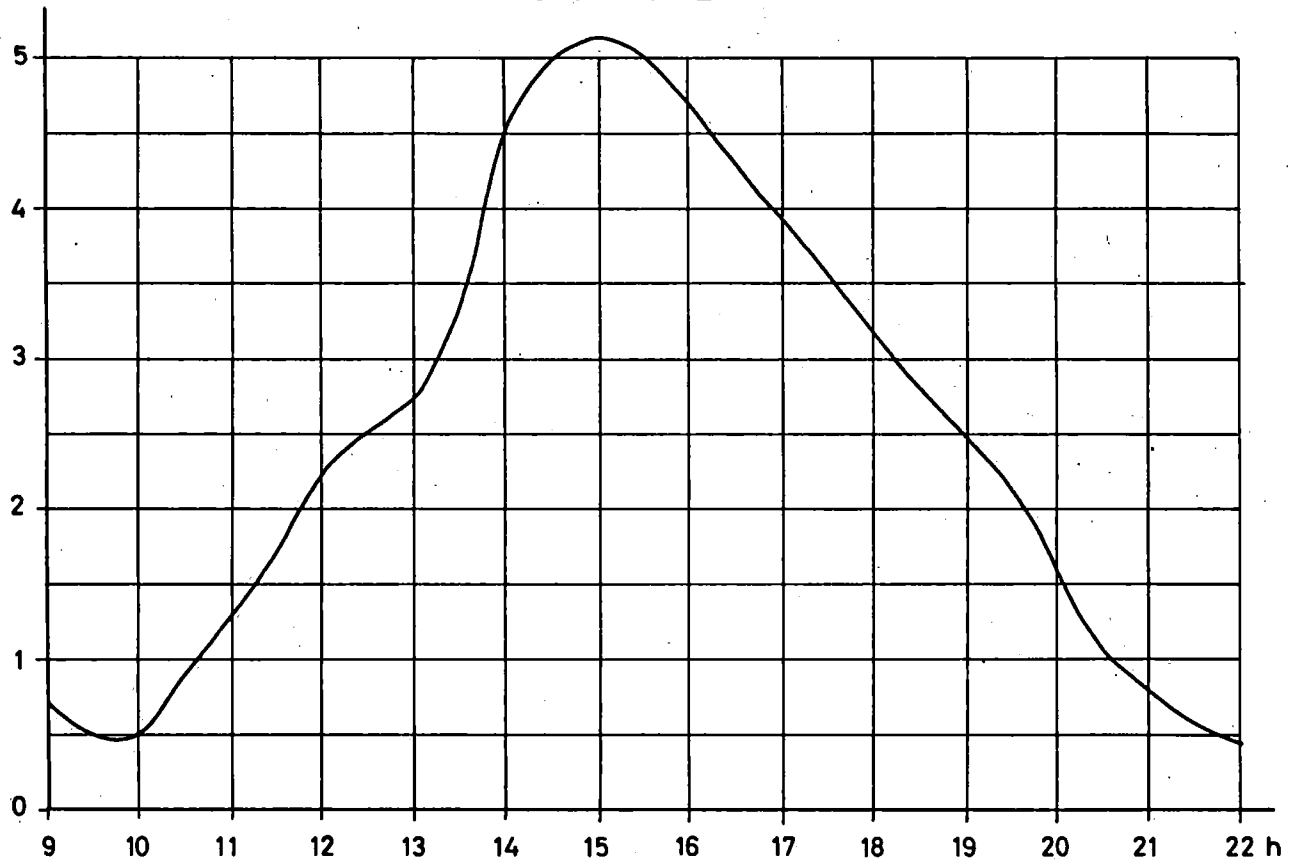


fig. 6a

Q m<sup>3</sup>/s

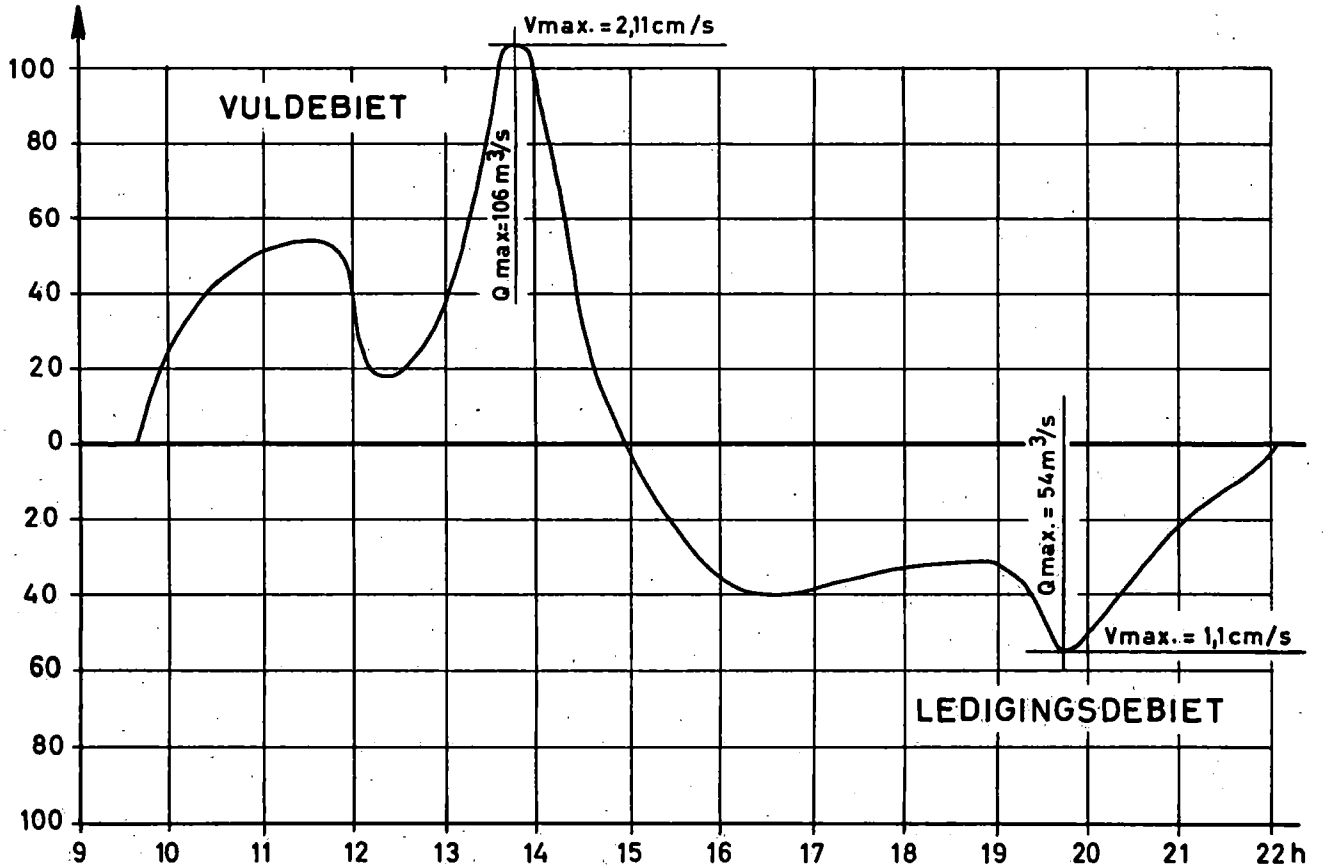


fig. 6b

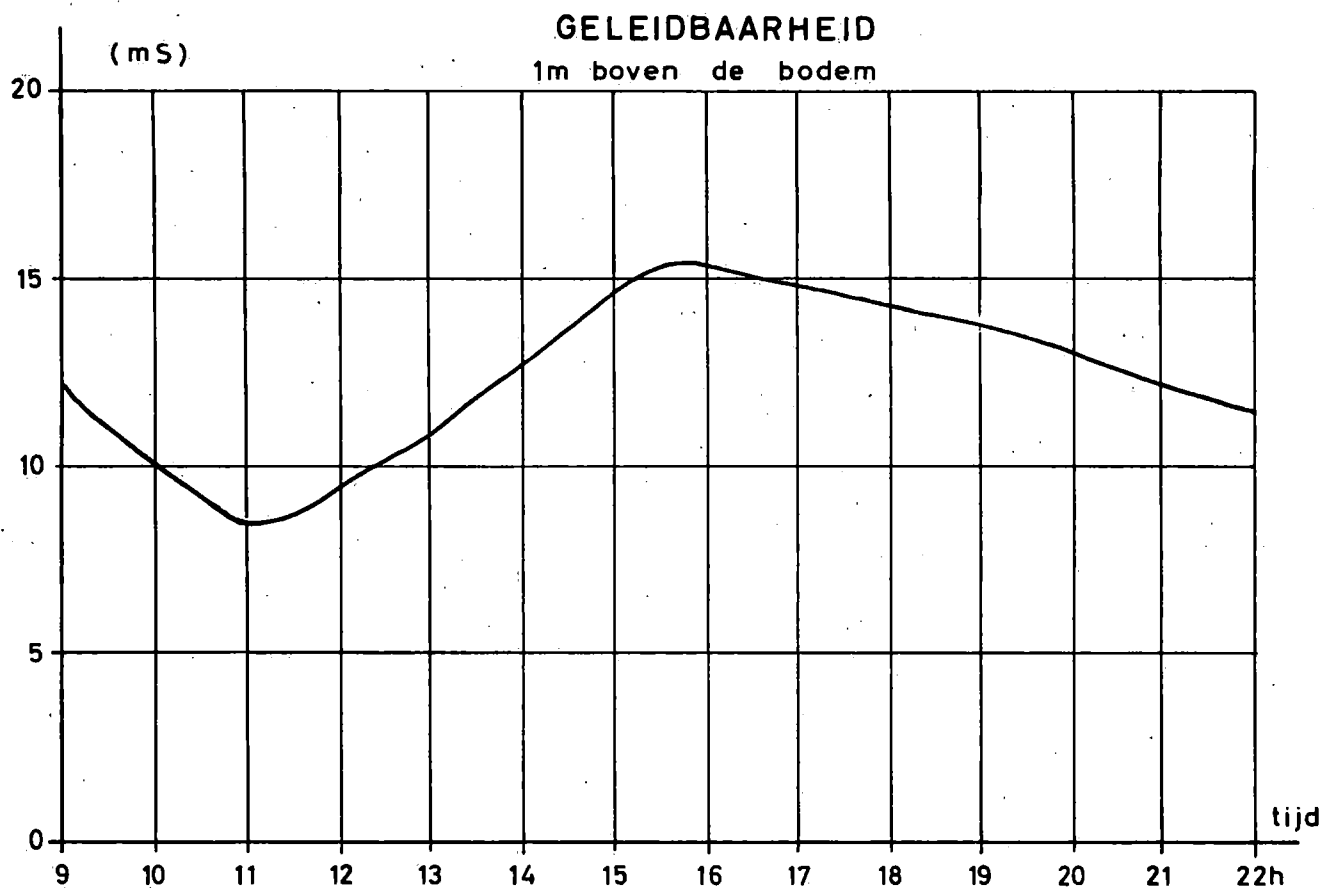


fig. 7a

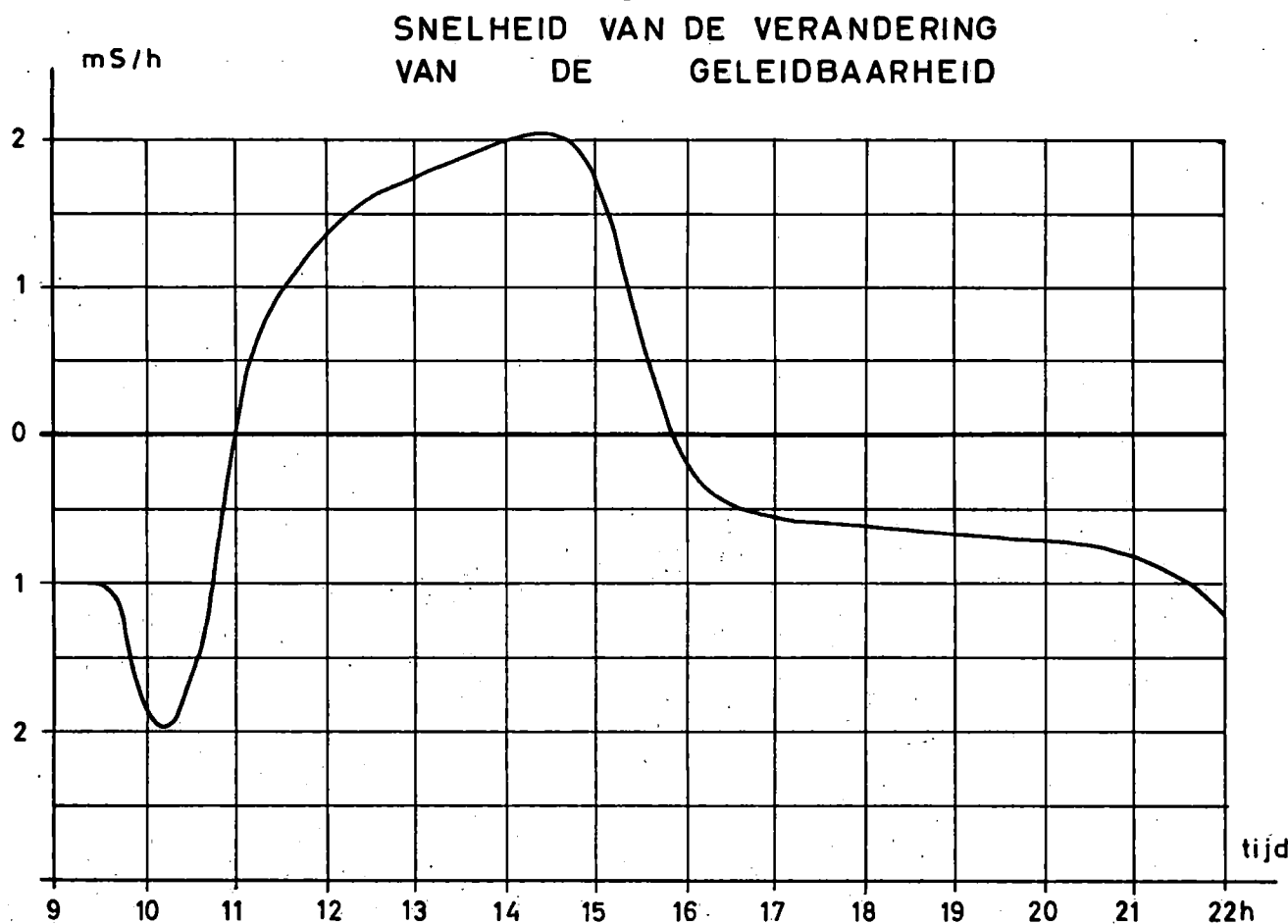
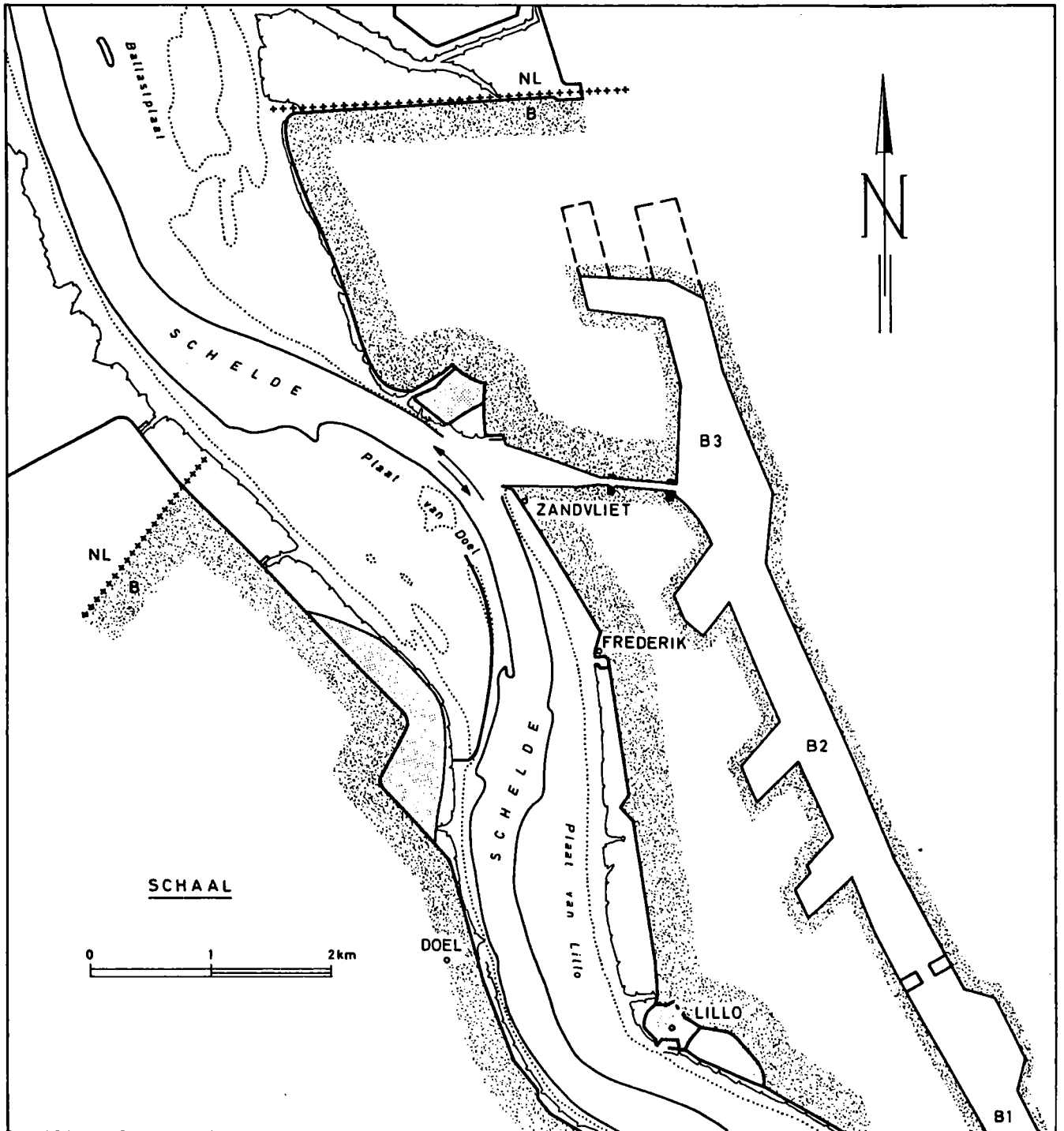
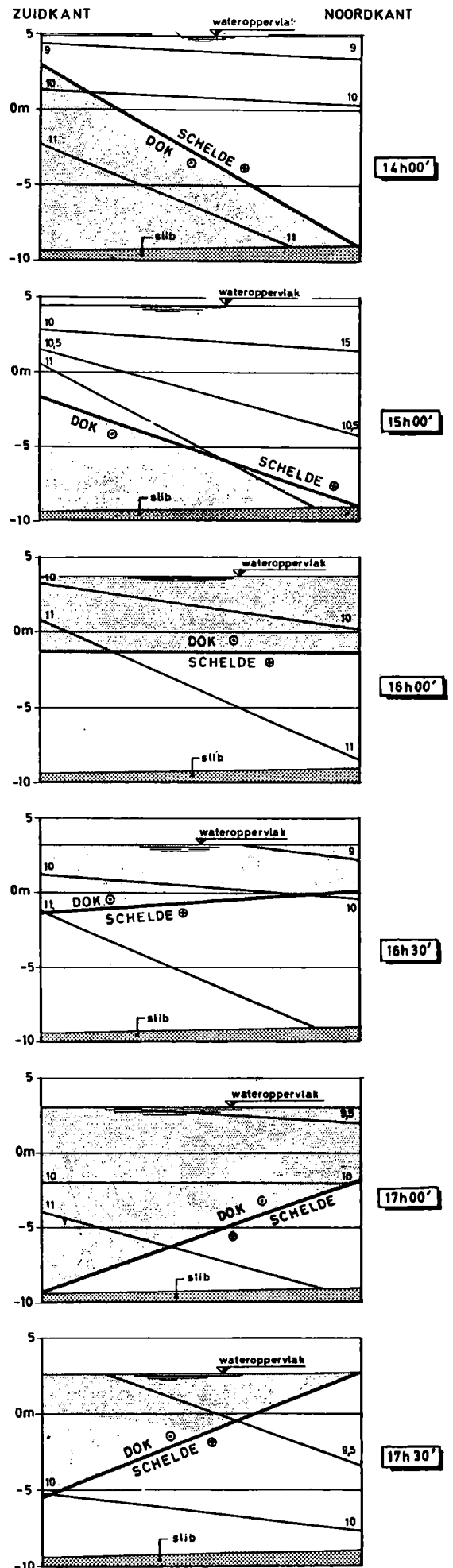
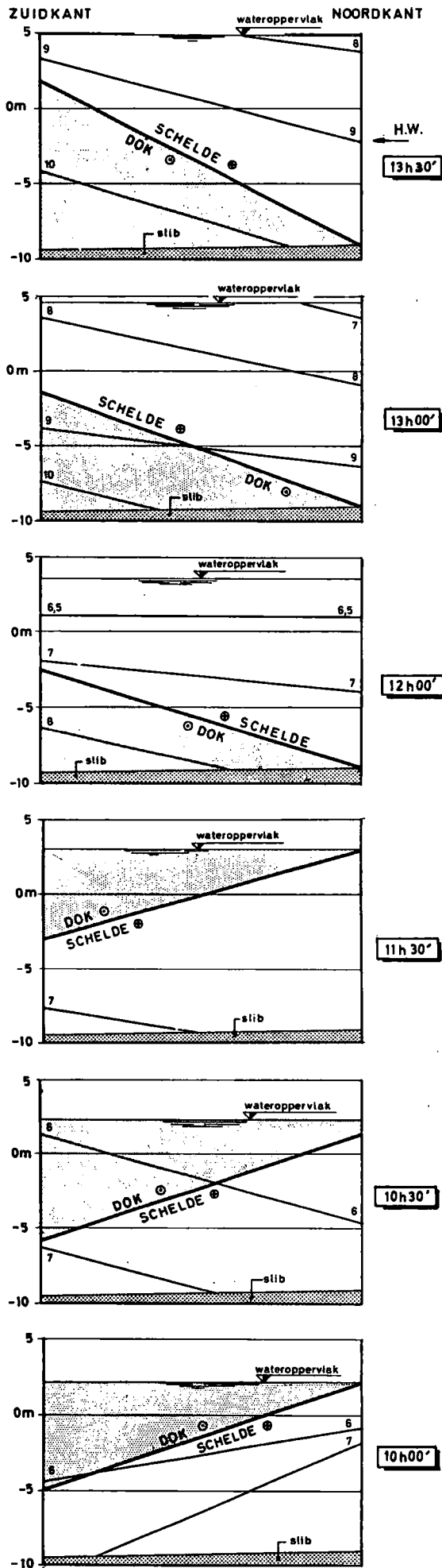


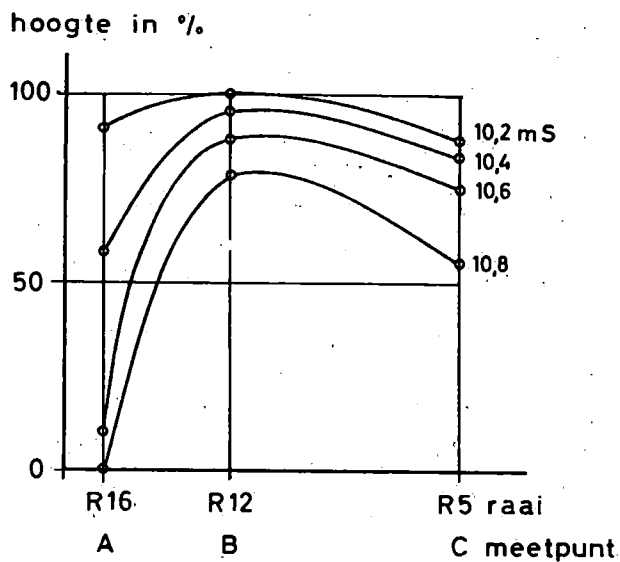
fig. 7b



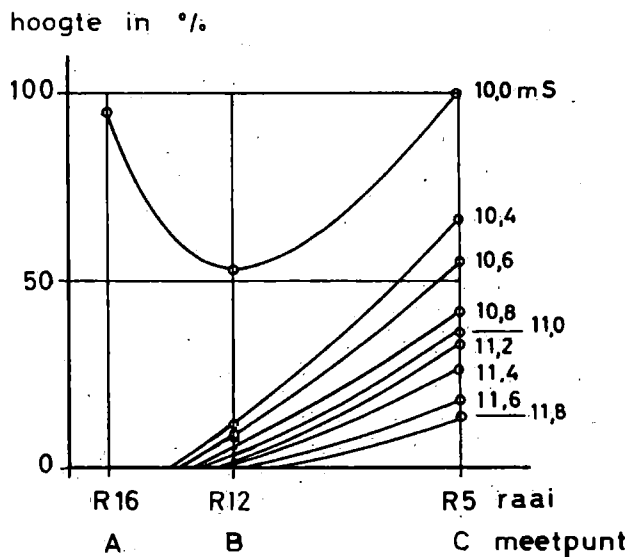
Legende:  
 ○ binnenstromend water  
 ● buitenstromend water  
 — scheiding tussen binnen en buitenstromend water  
 — lijnen met gelijke geleidbaarheid



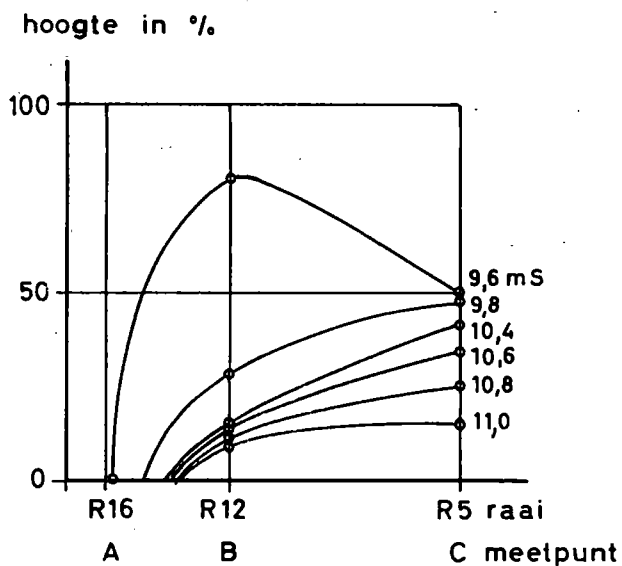
10h00'



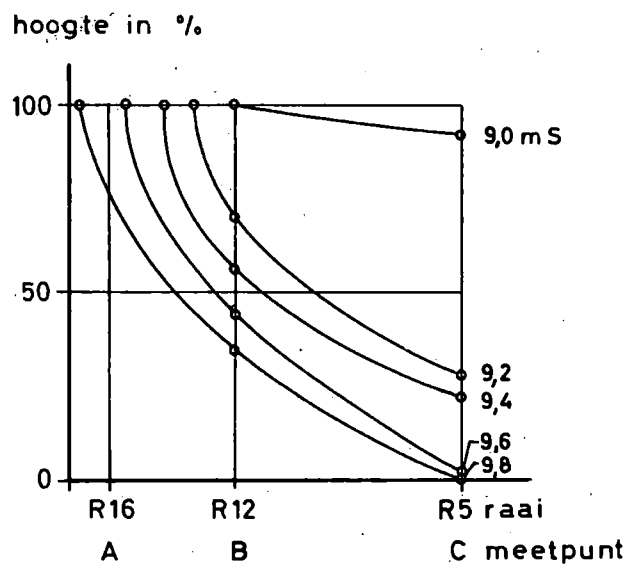
10h30'



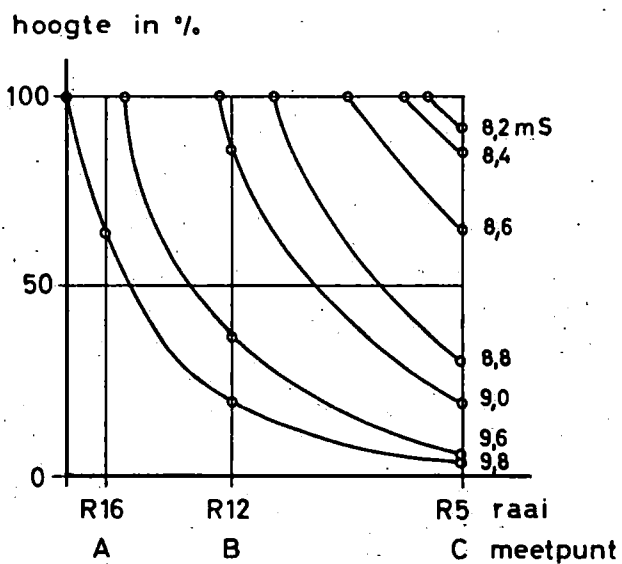
11h00'



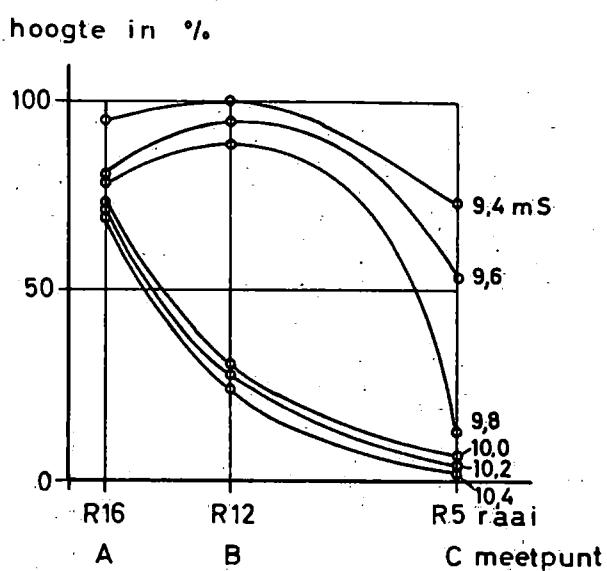
11h30'



12h00'

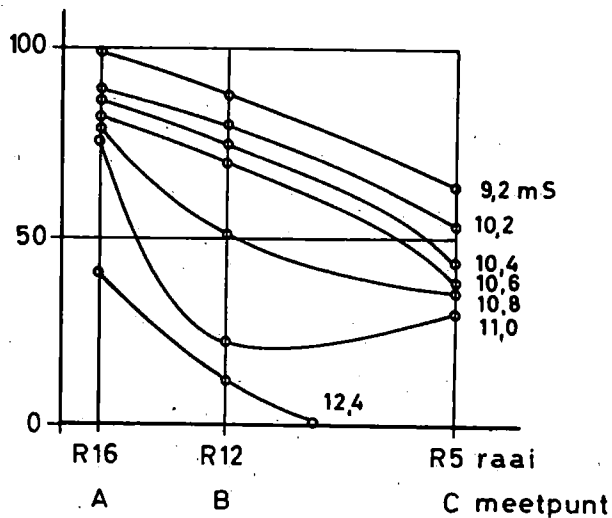


13h30'



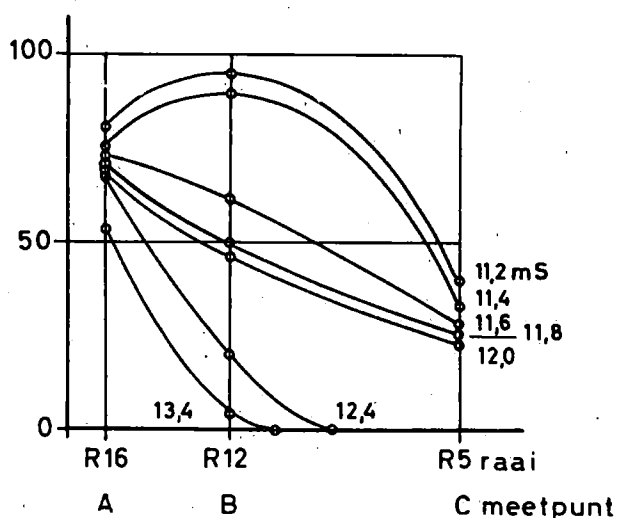
14h00'

hoogte in %



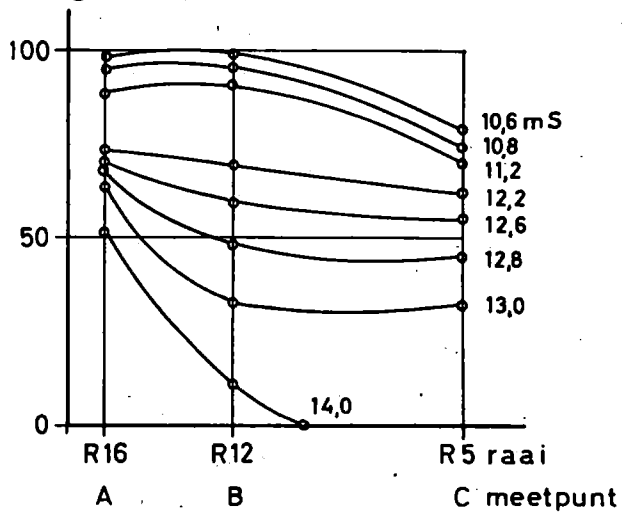
14h30'

hoogte in %



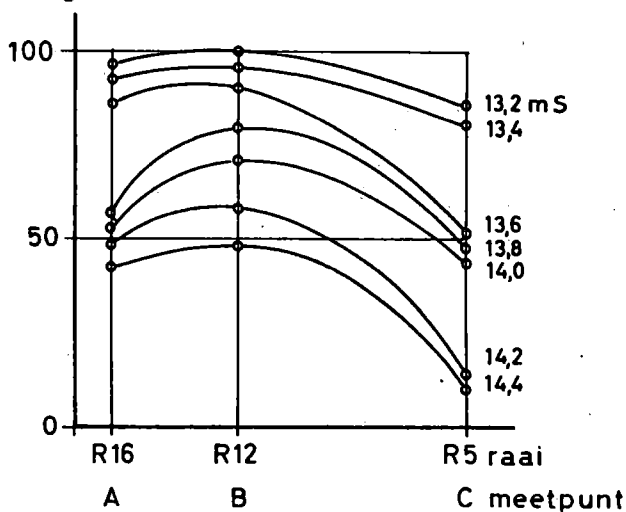
15h00' H.W.

hoogte in %



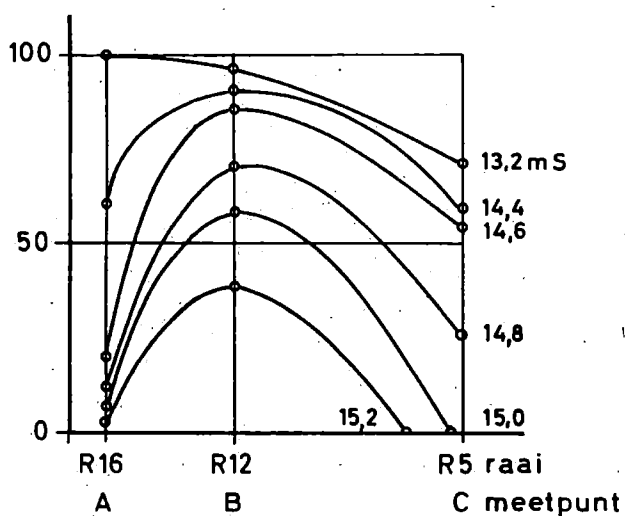
16h00'

hoogte in %



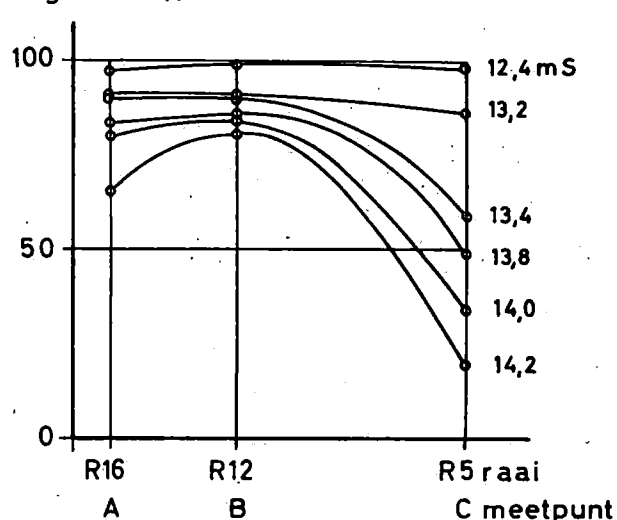
17h30'

hoogte in %



18h00'

hoogte in %



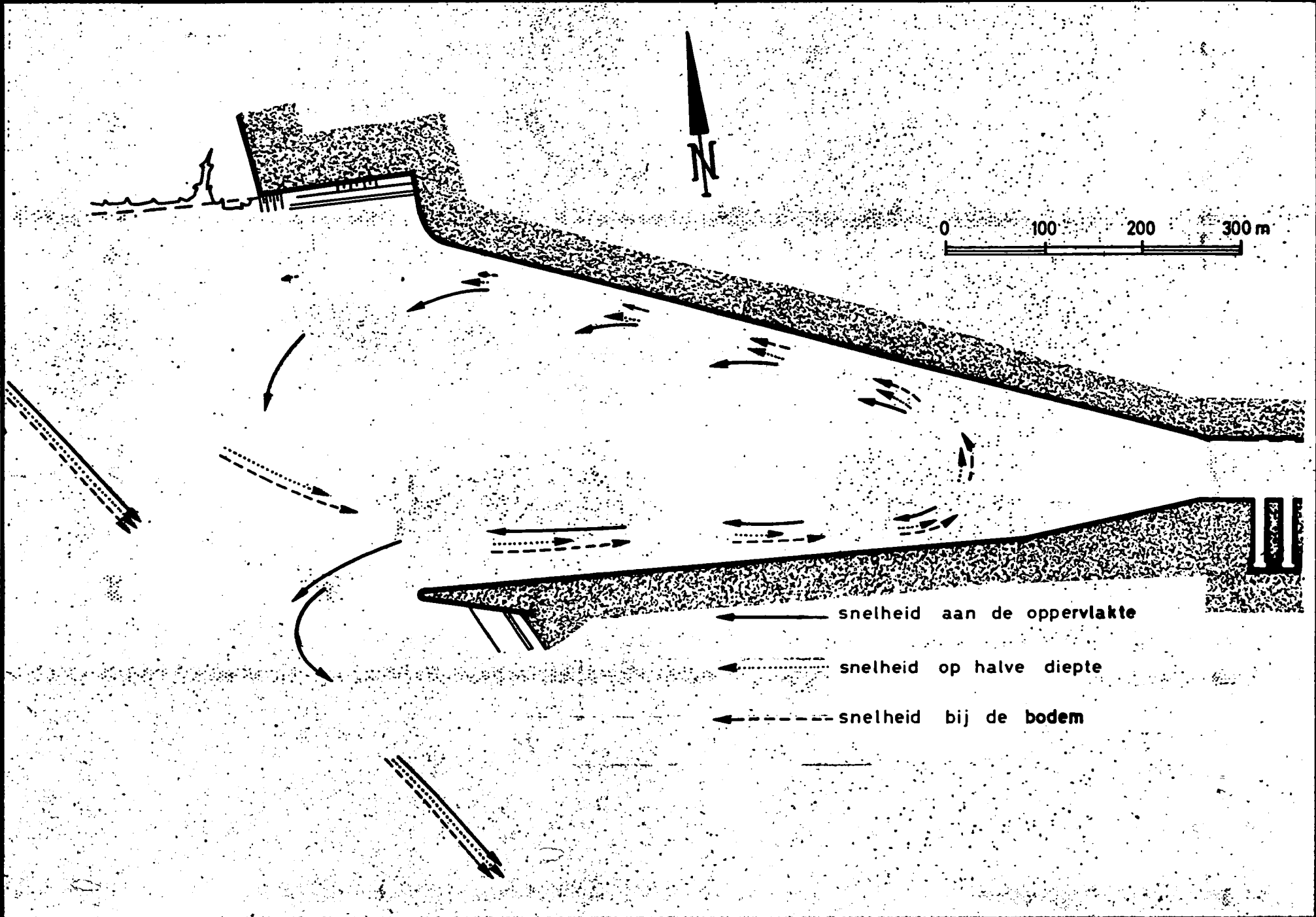
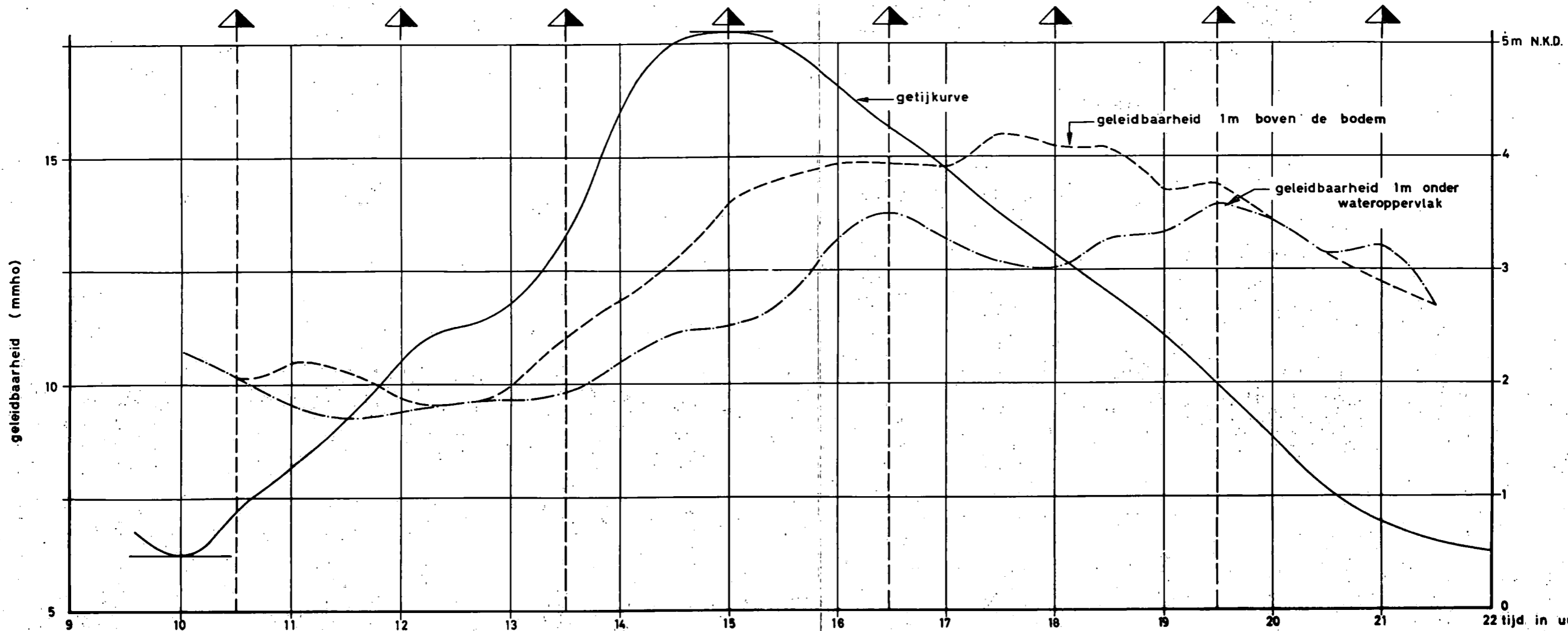
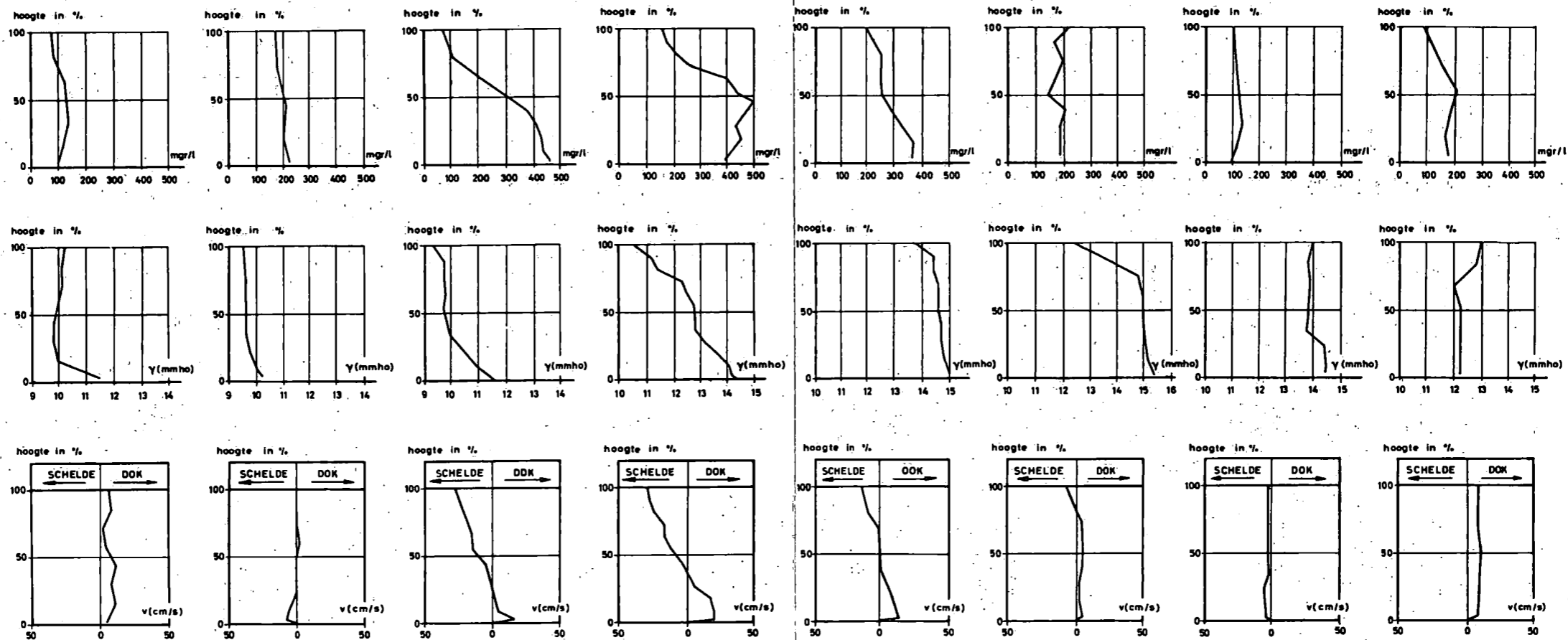
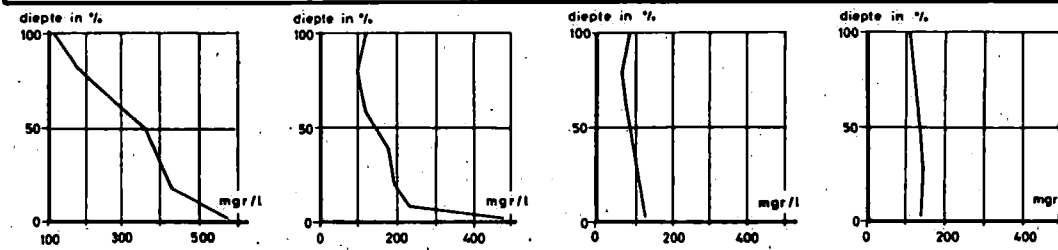
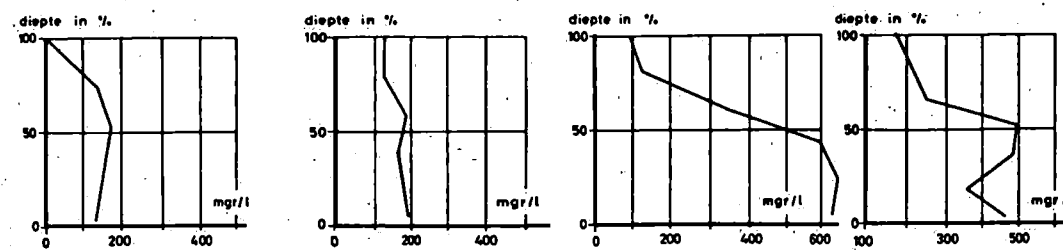


Fig. 11.

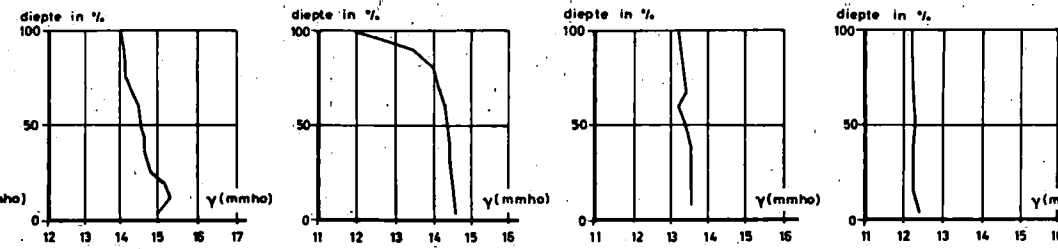
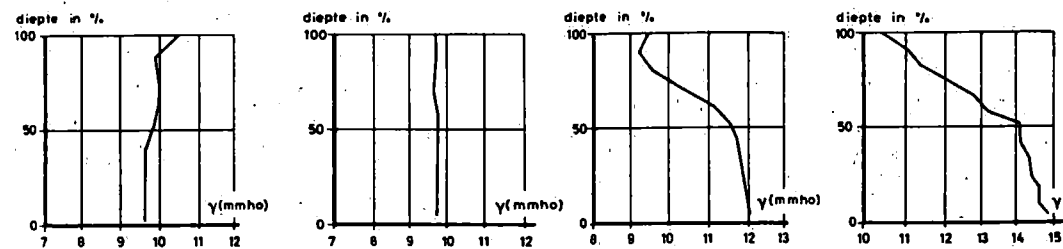
DATUM	MEETPUNTEN	UITGEVOERDE METINGEN (x)				
		Getij	Geleidbaar- heid	Snelheid	Troebelheid	Temperatuur
30-10-68	A	x	x	x	x	x
23-10-68	A	x	x	x	x	x
	B	x	x	x	x	
	C	x	x			
4-12-68	A	x	x	x	x	x
	B	x	x	x	x	
	C	x	x	x		
30-1-69	E	x	x	x	x	x
	F	x	x	x	x	
7-3-69	A	x	x	x	x	
	B	x	x	x	x	x
	D	x	x	x	x	



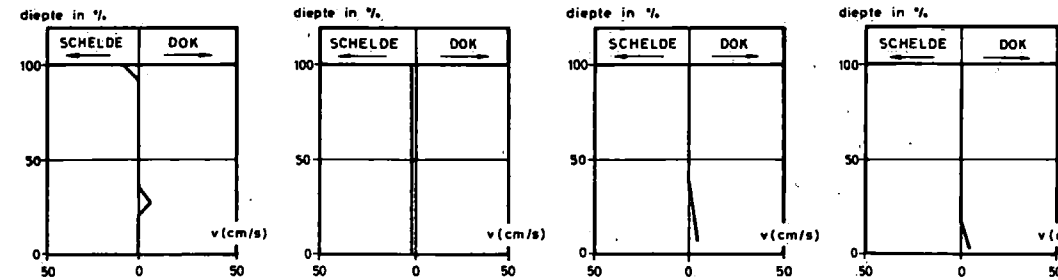
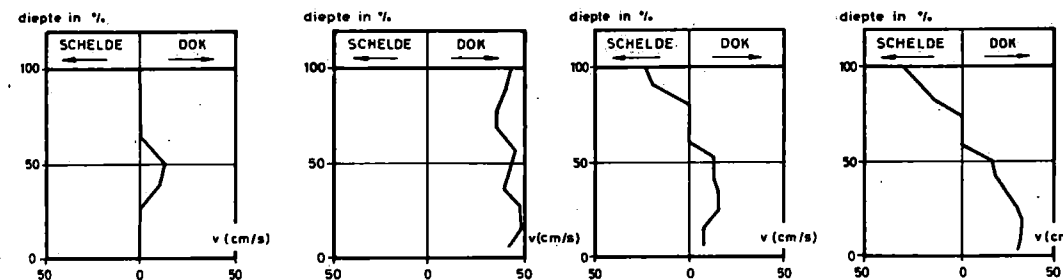




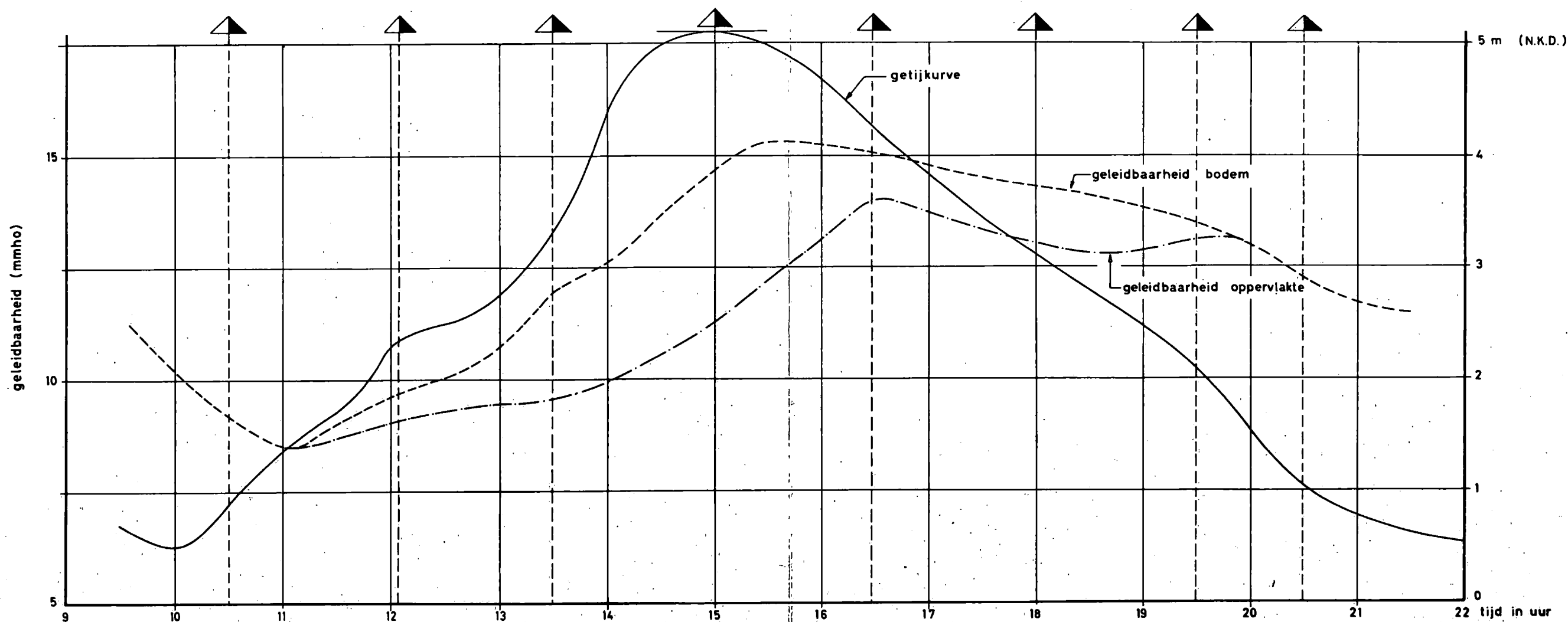
Troebelheid

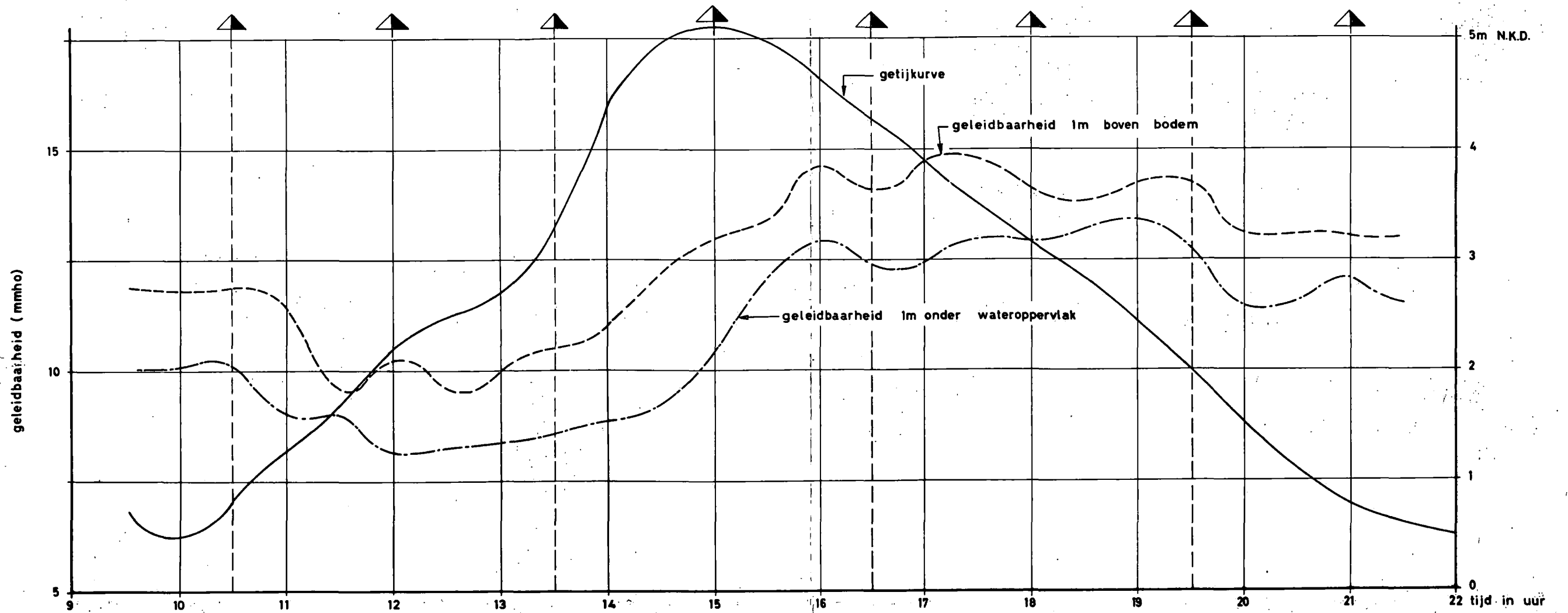
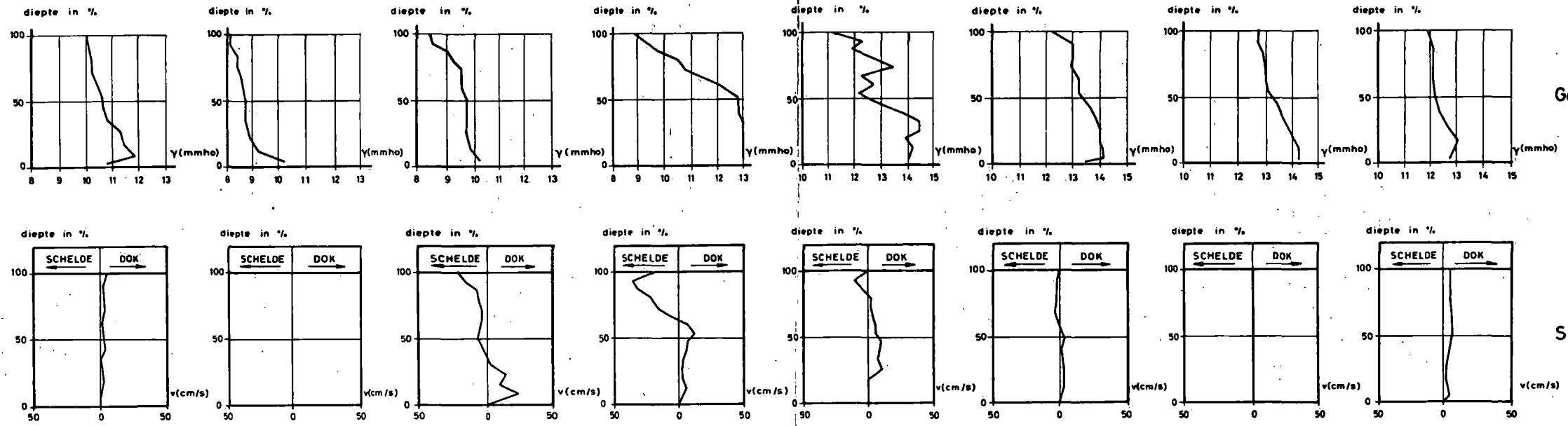


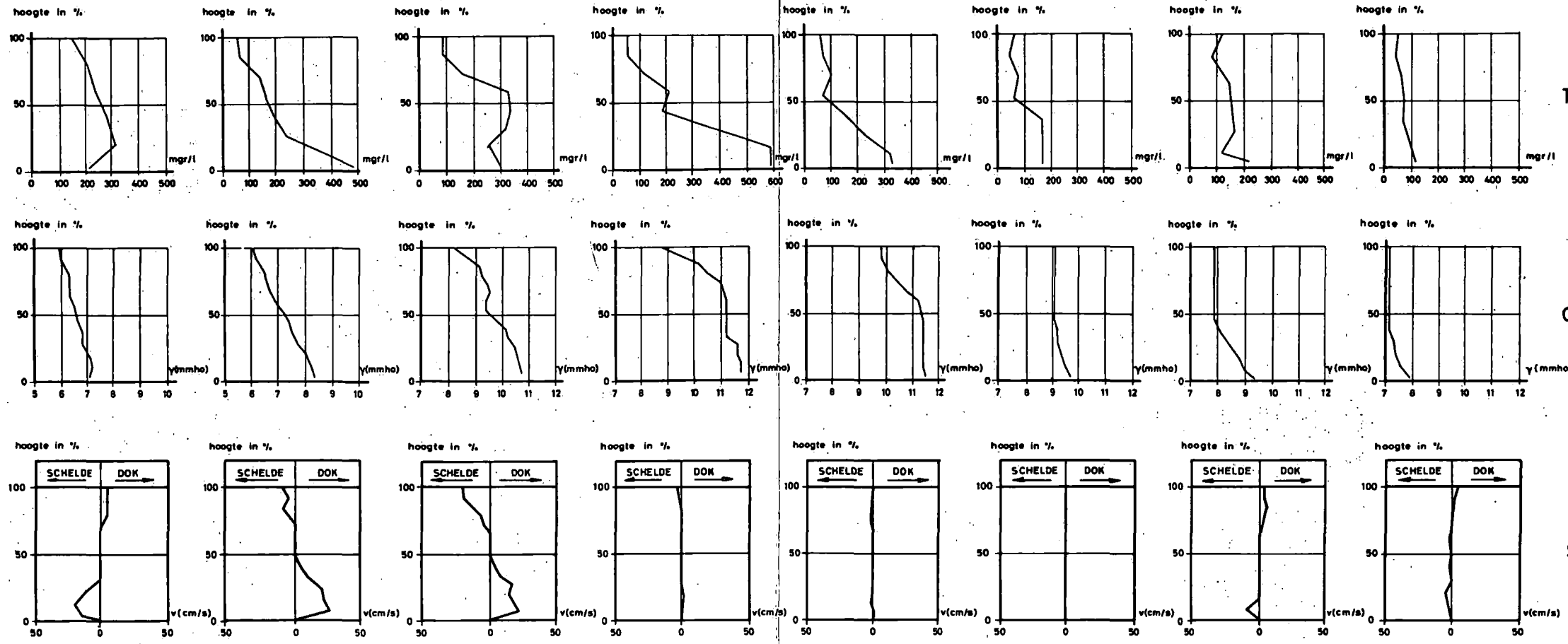
Geleidbaarheid



Snelheid



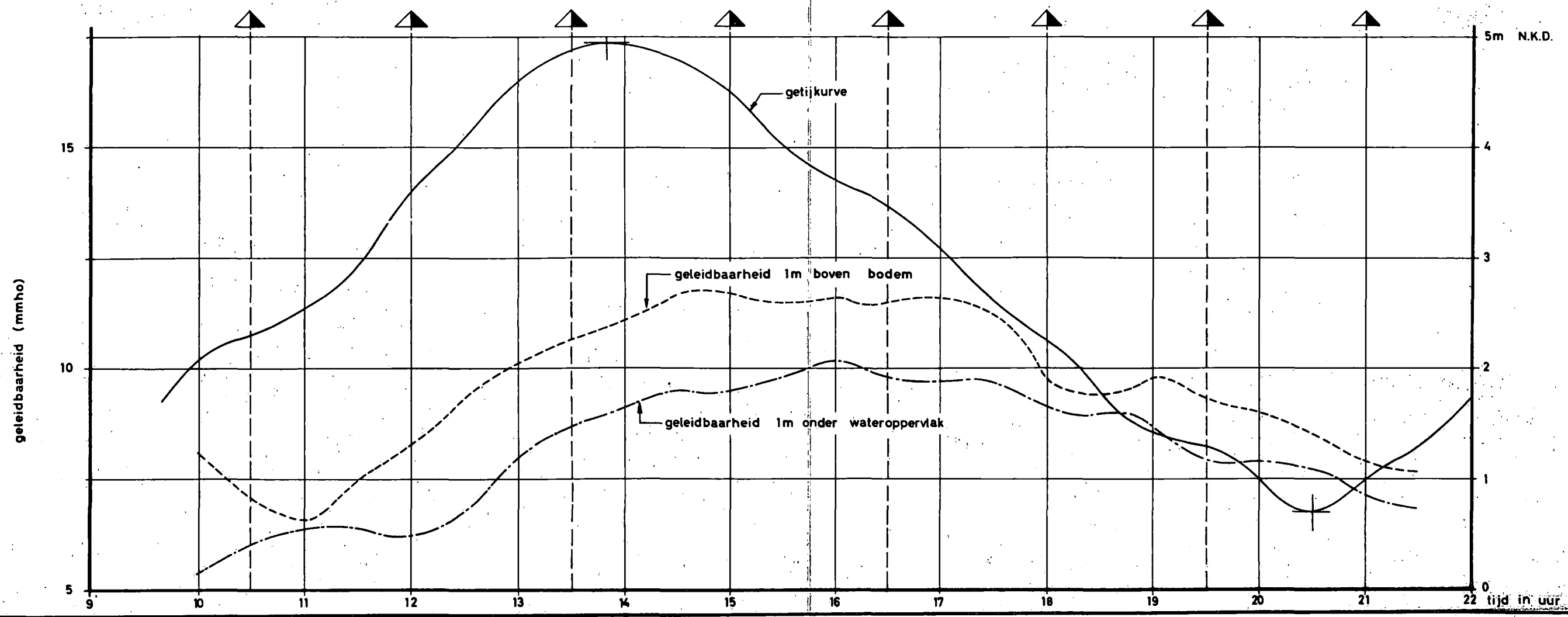




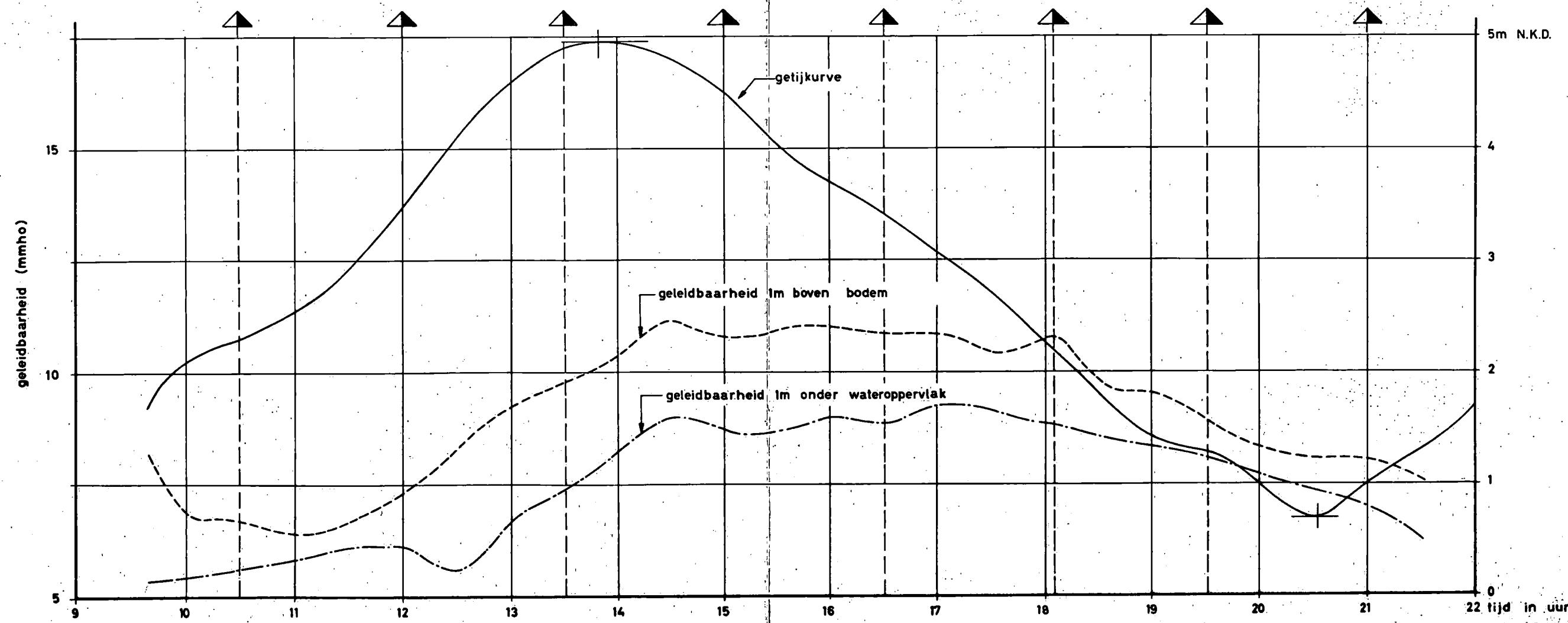
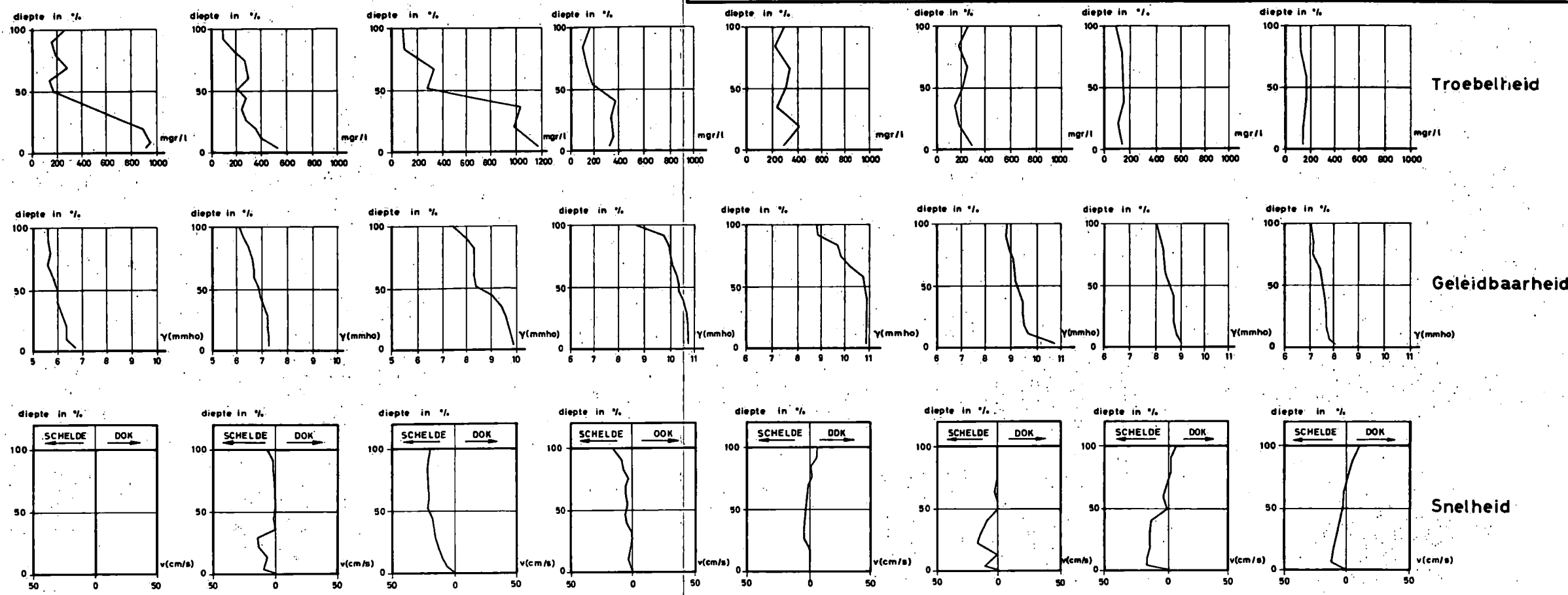
Troebelheid

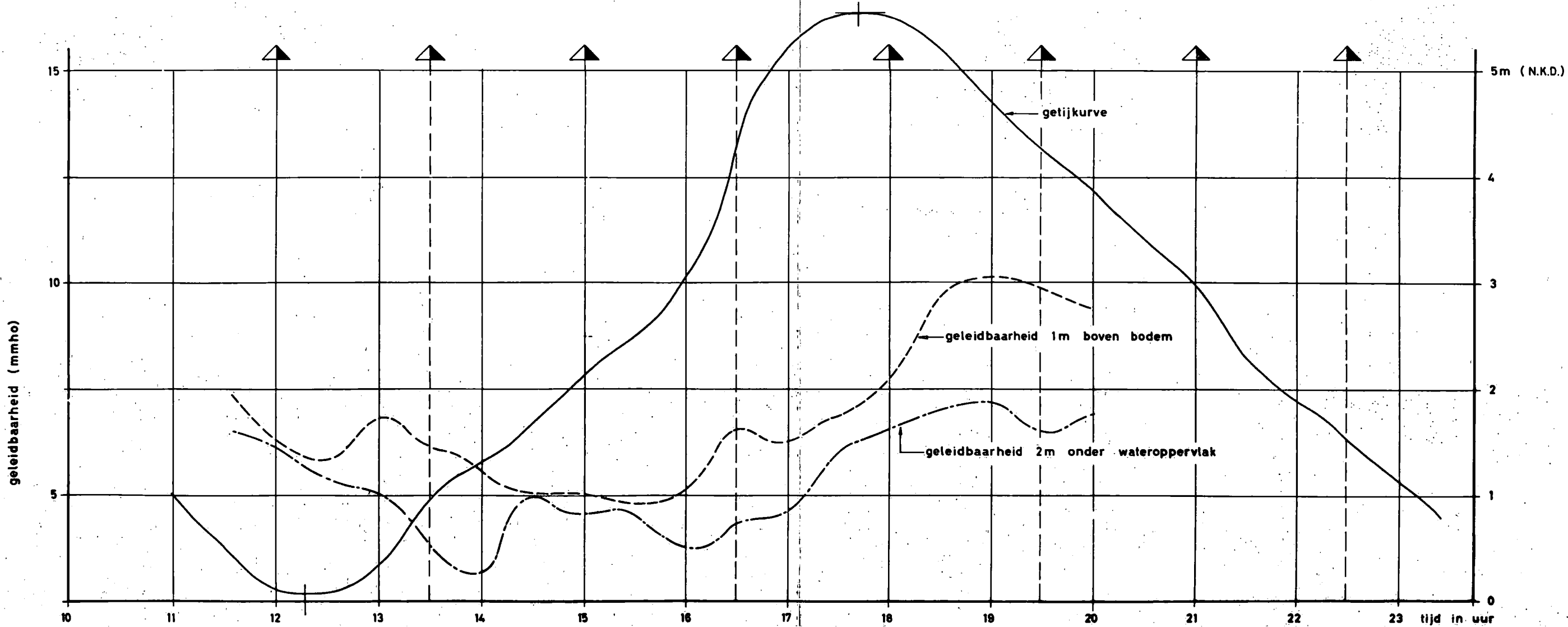
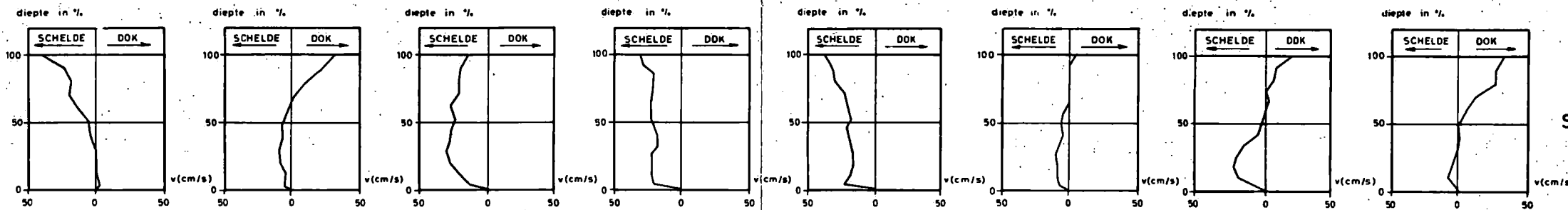
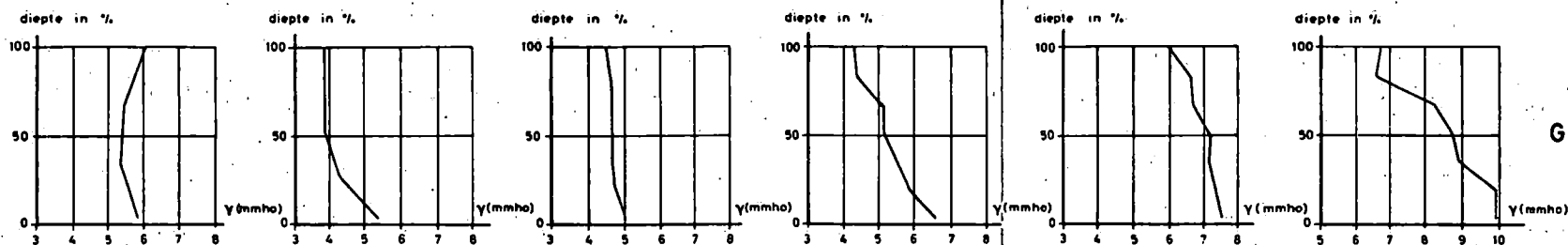
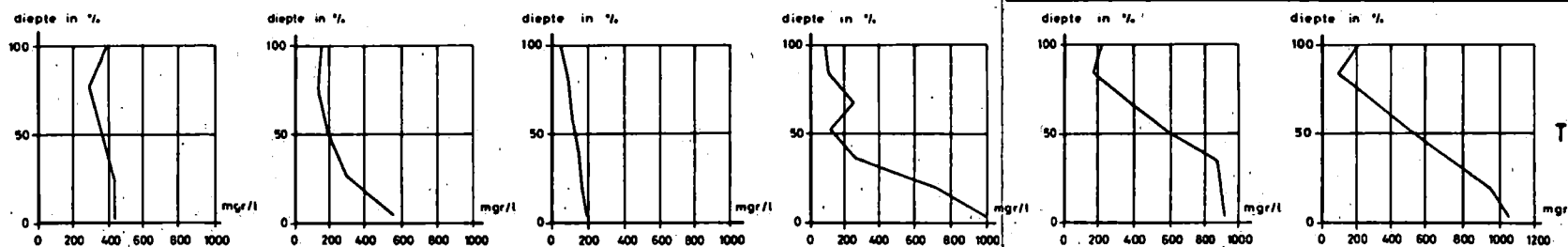
Geleidbaarheid

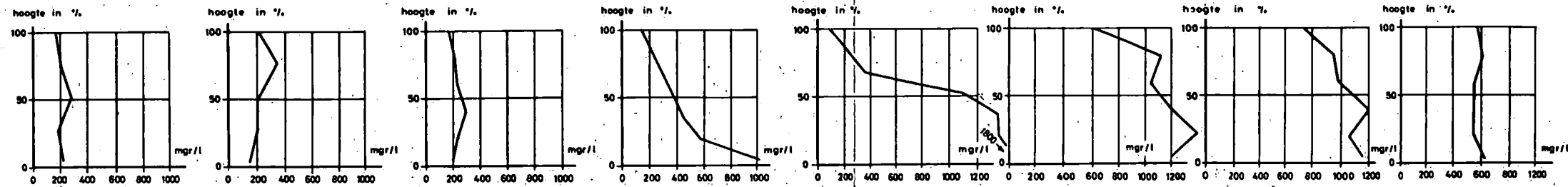
Snelheid



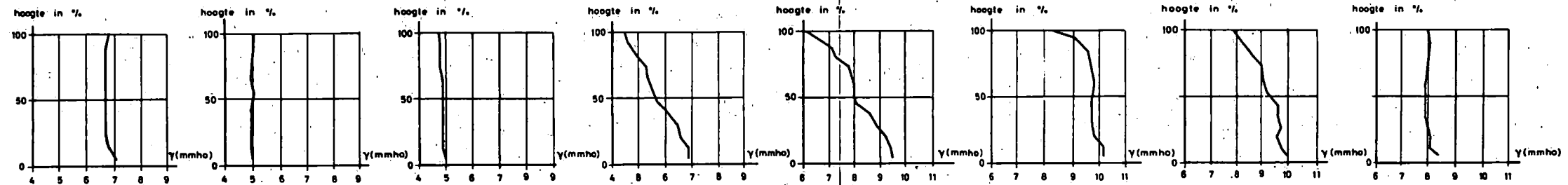
W.L. 69.304



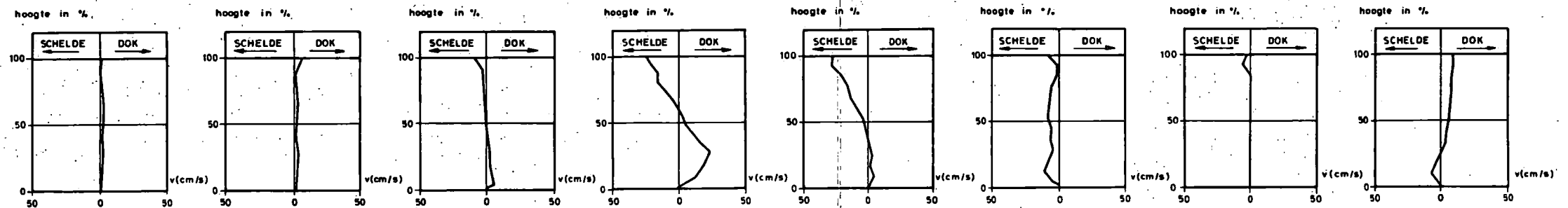




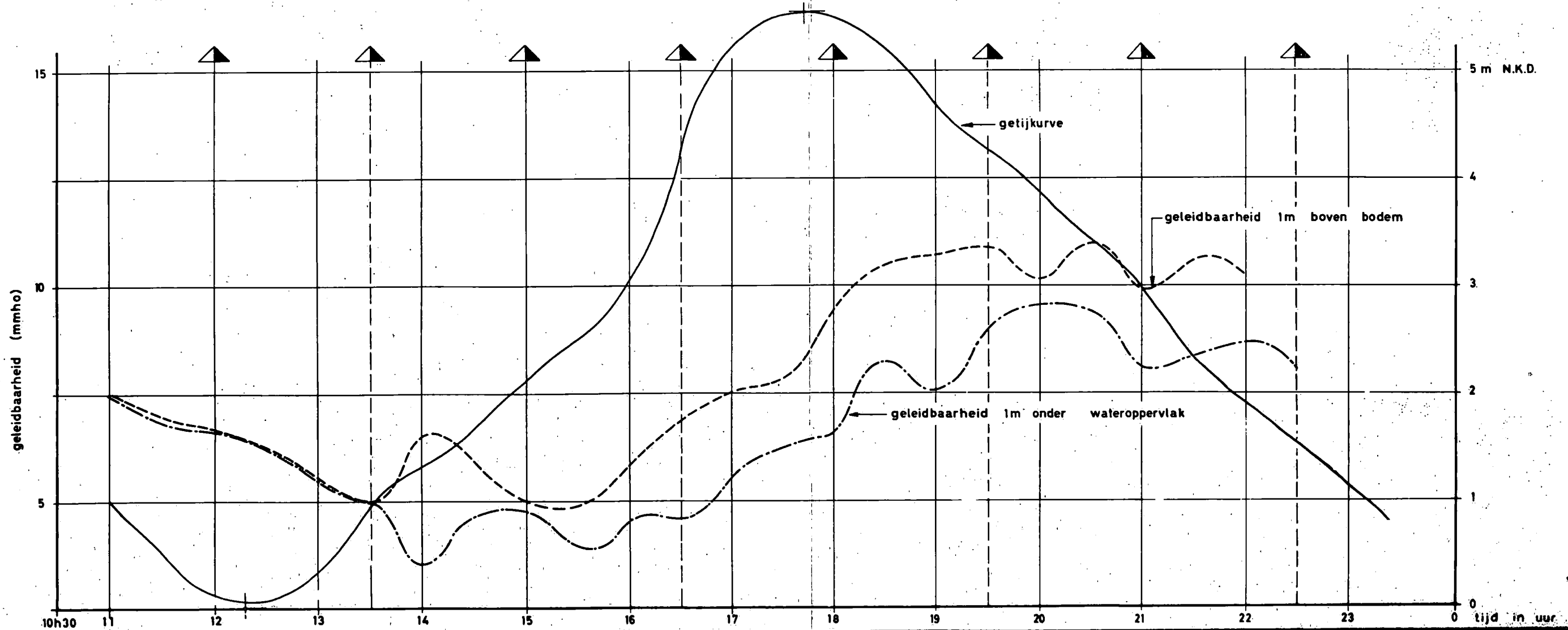
Troebelheid

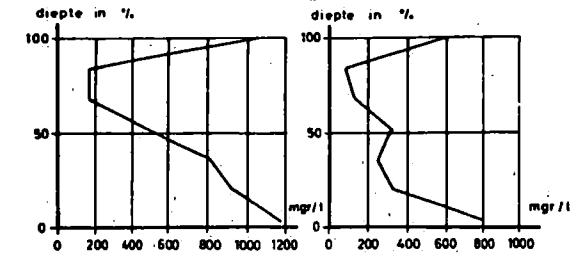
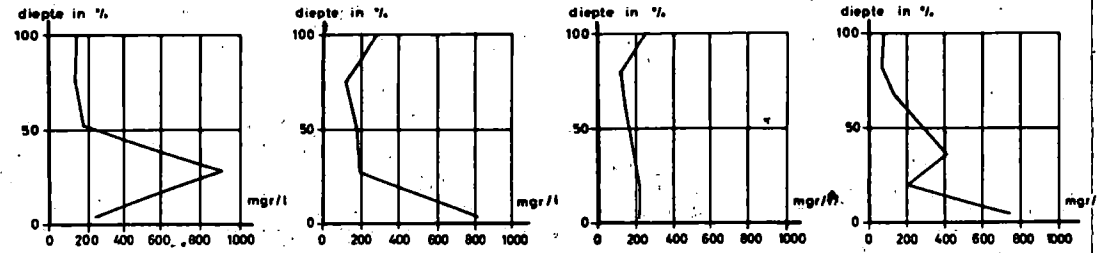


Geleidbaarheid

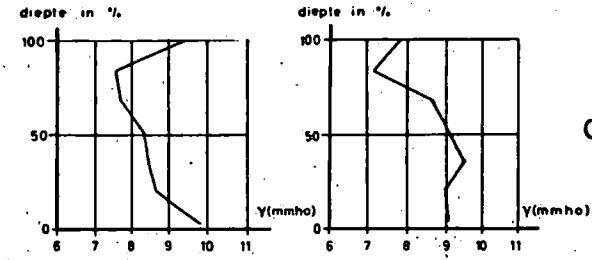
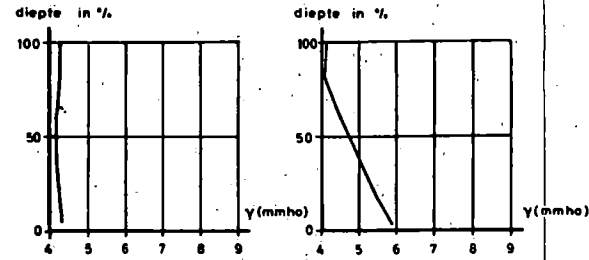


Snelheid

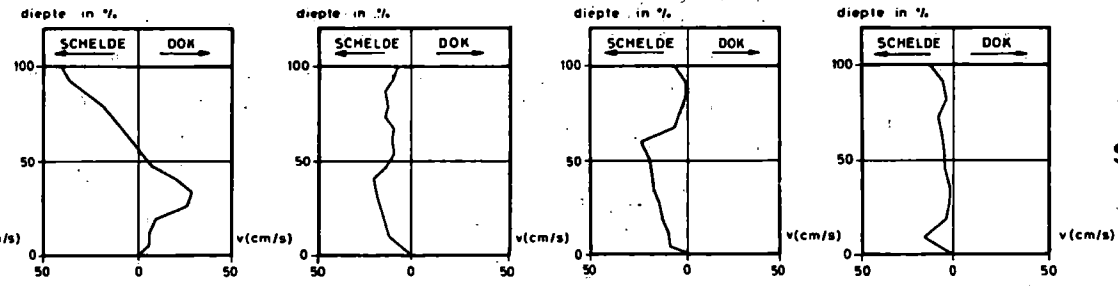
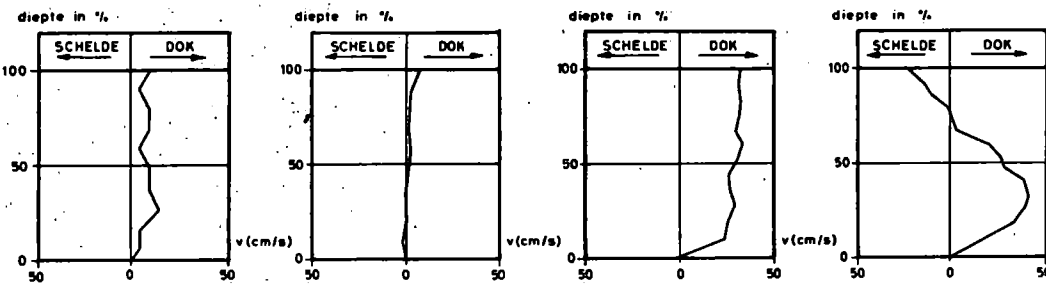




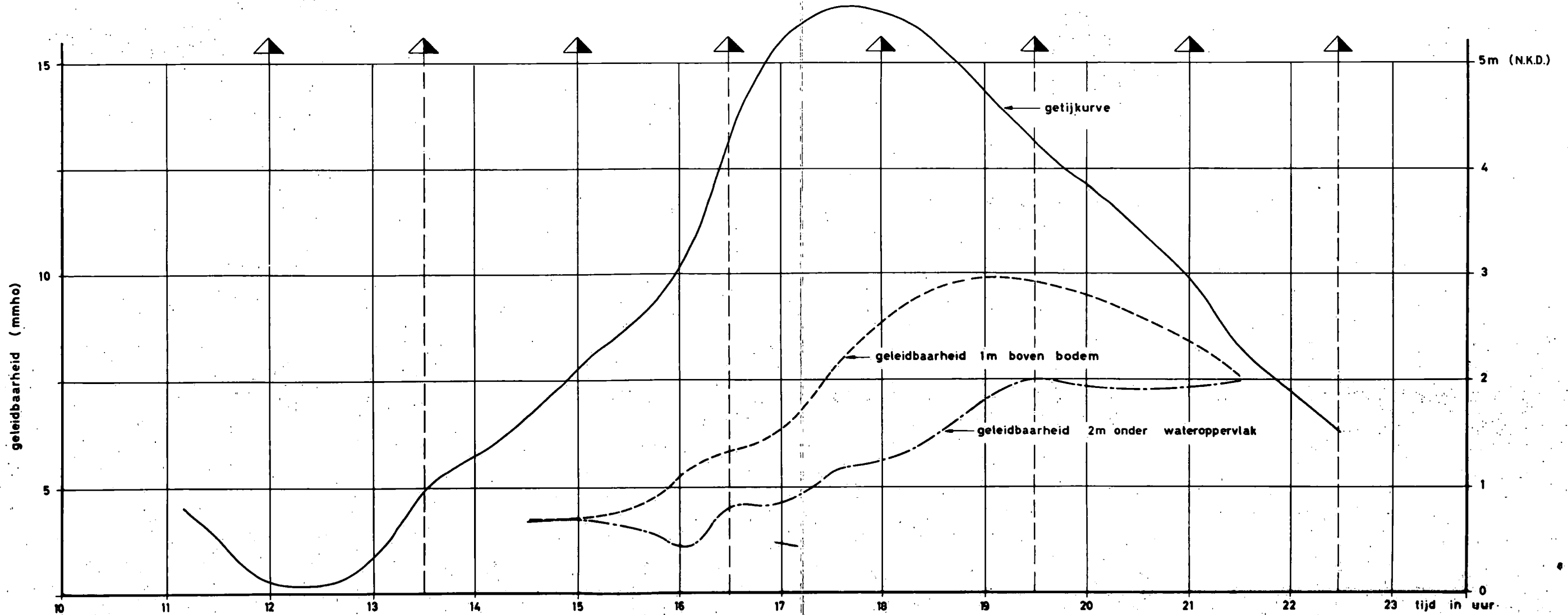
Troebelheid



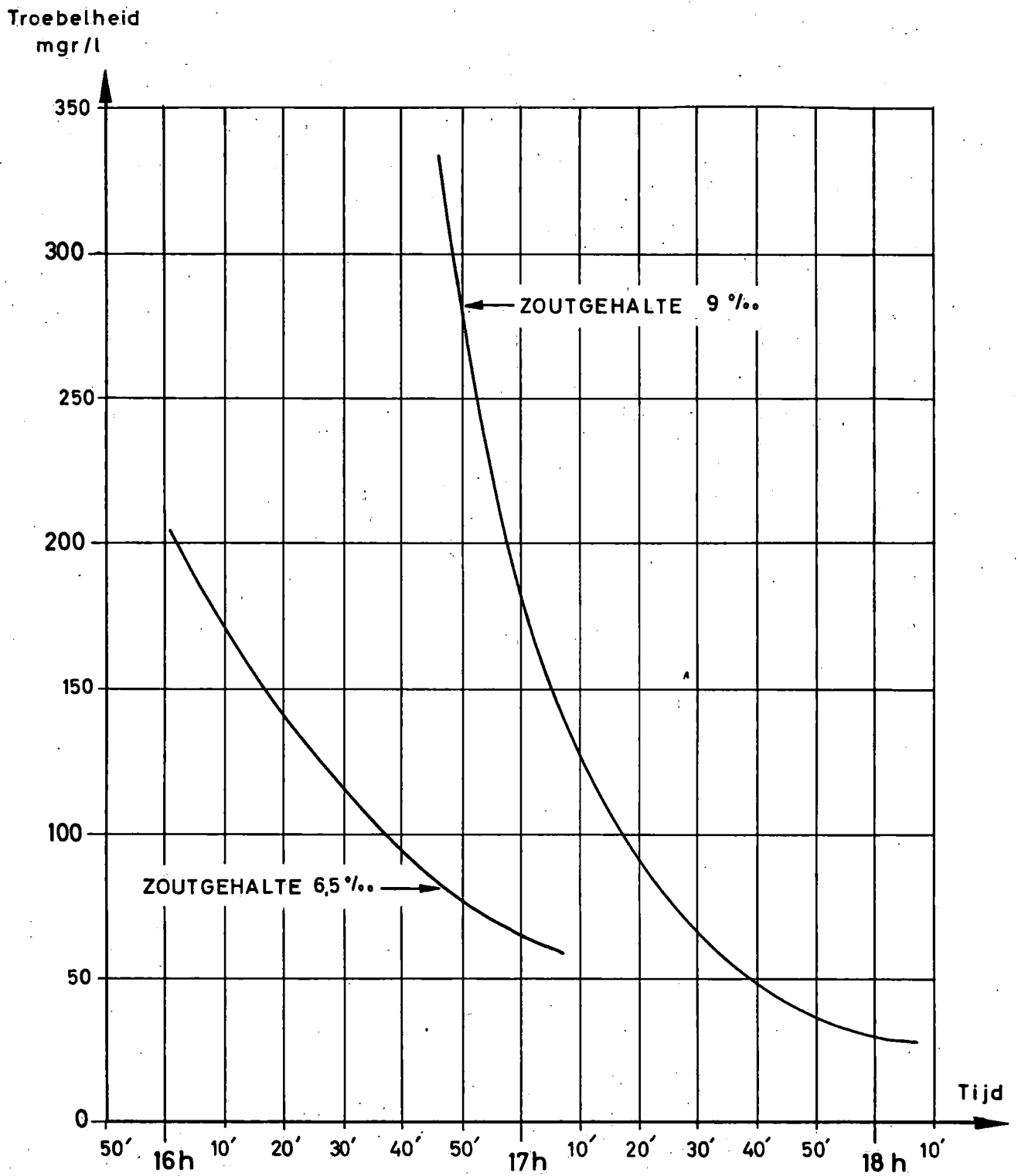
Geleidbaarheid

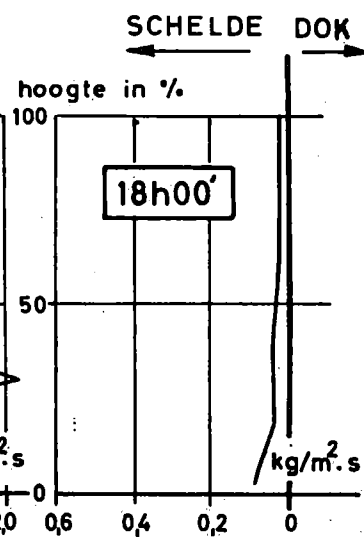
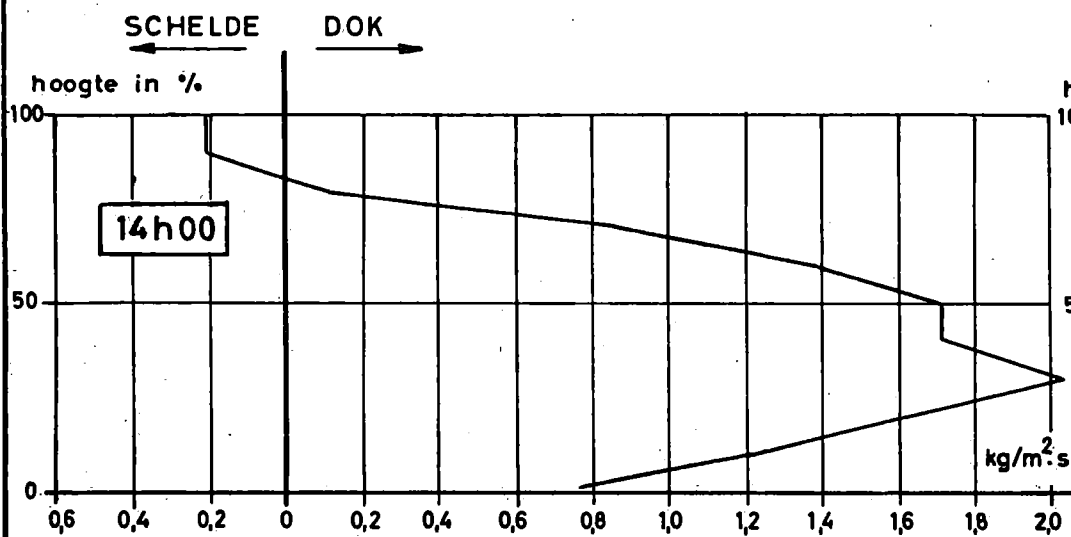
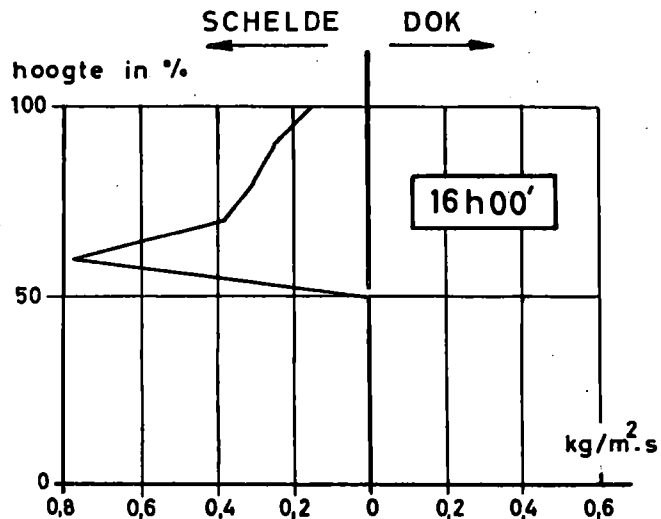
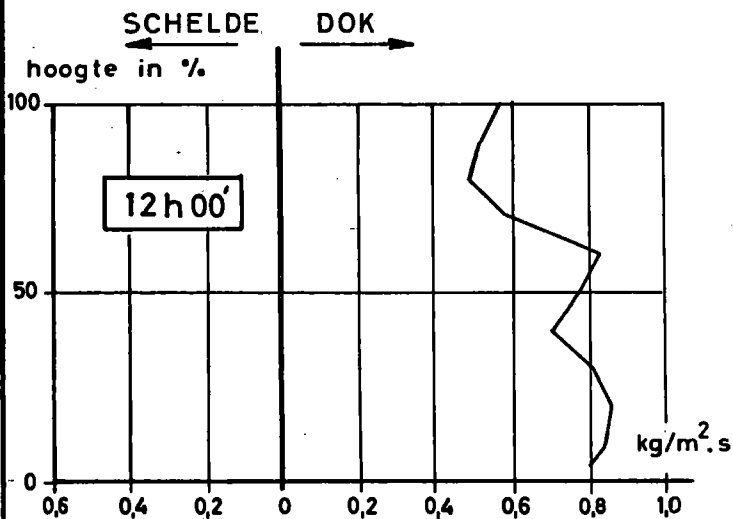
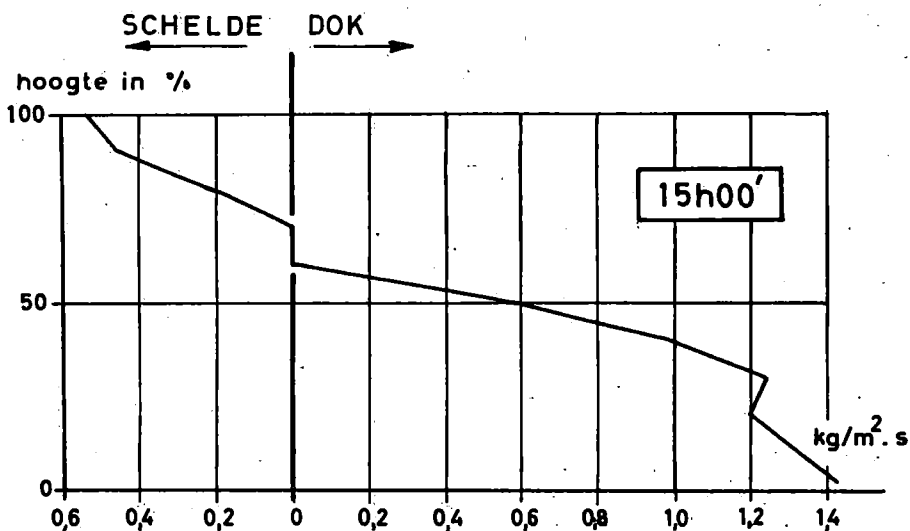
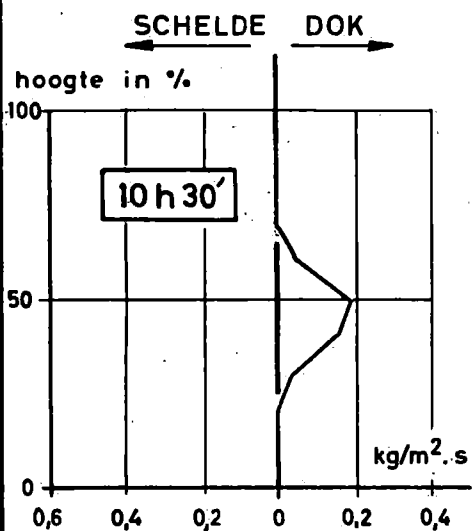


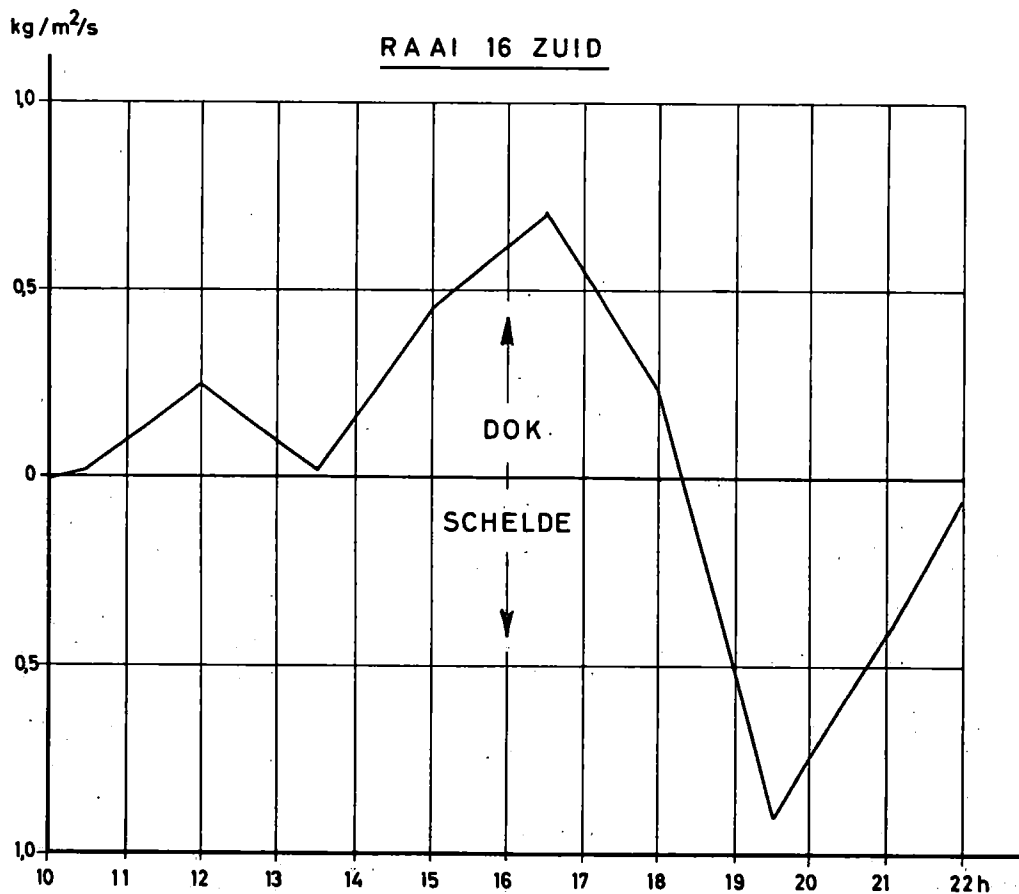
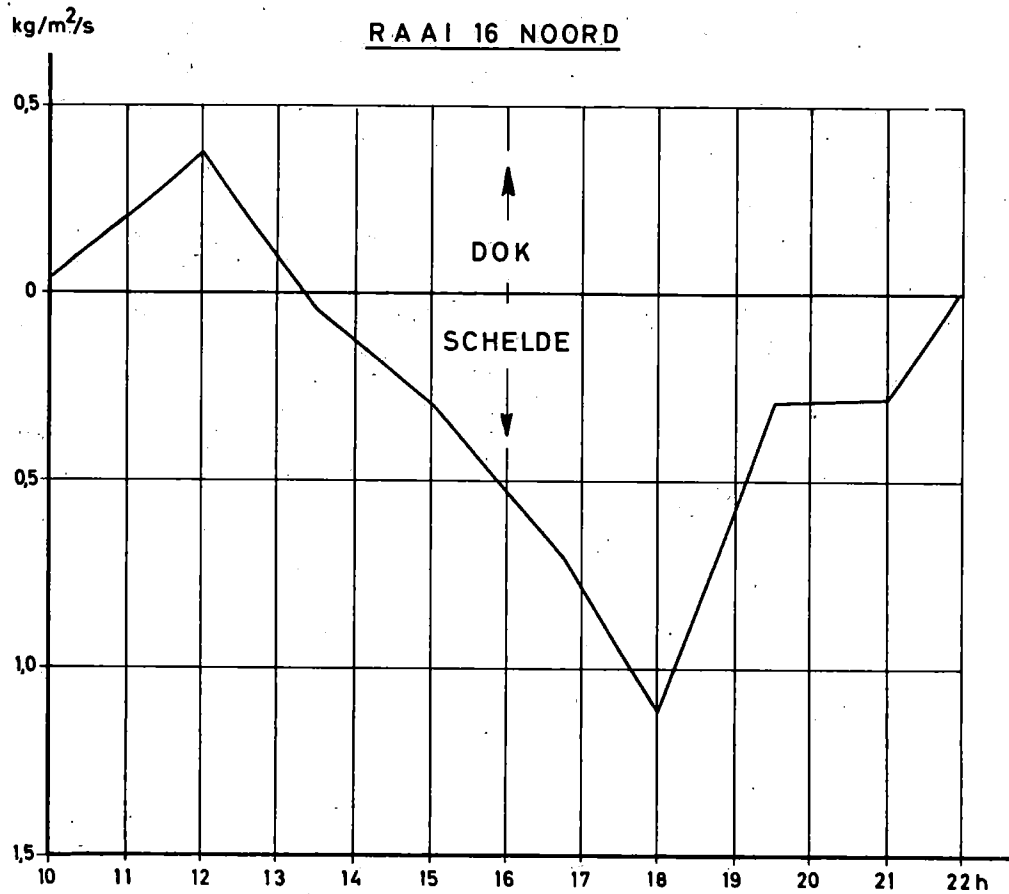
Snelheid



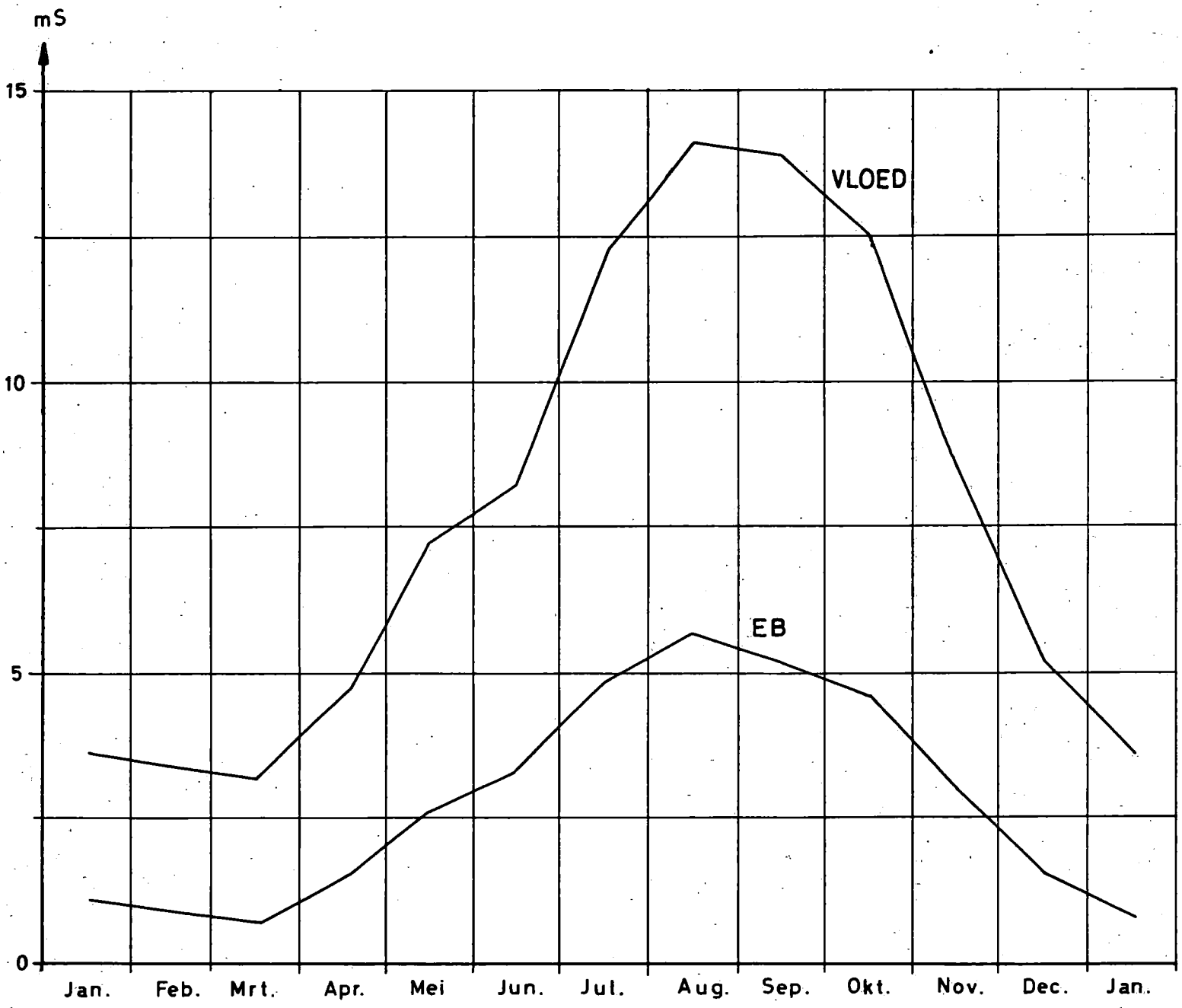








W.L. 69.384



ONDERZOEK  
SCHELDREWATER

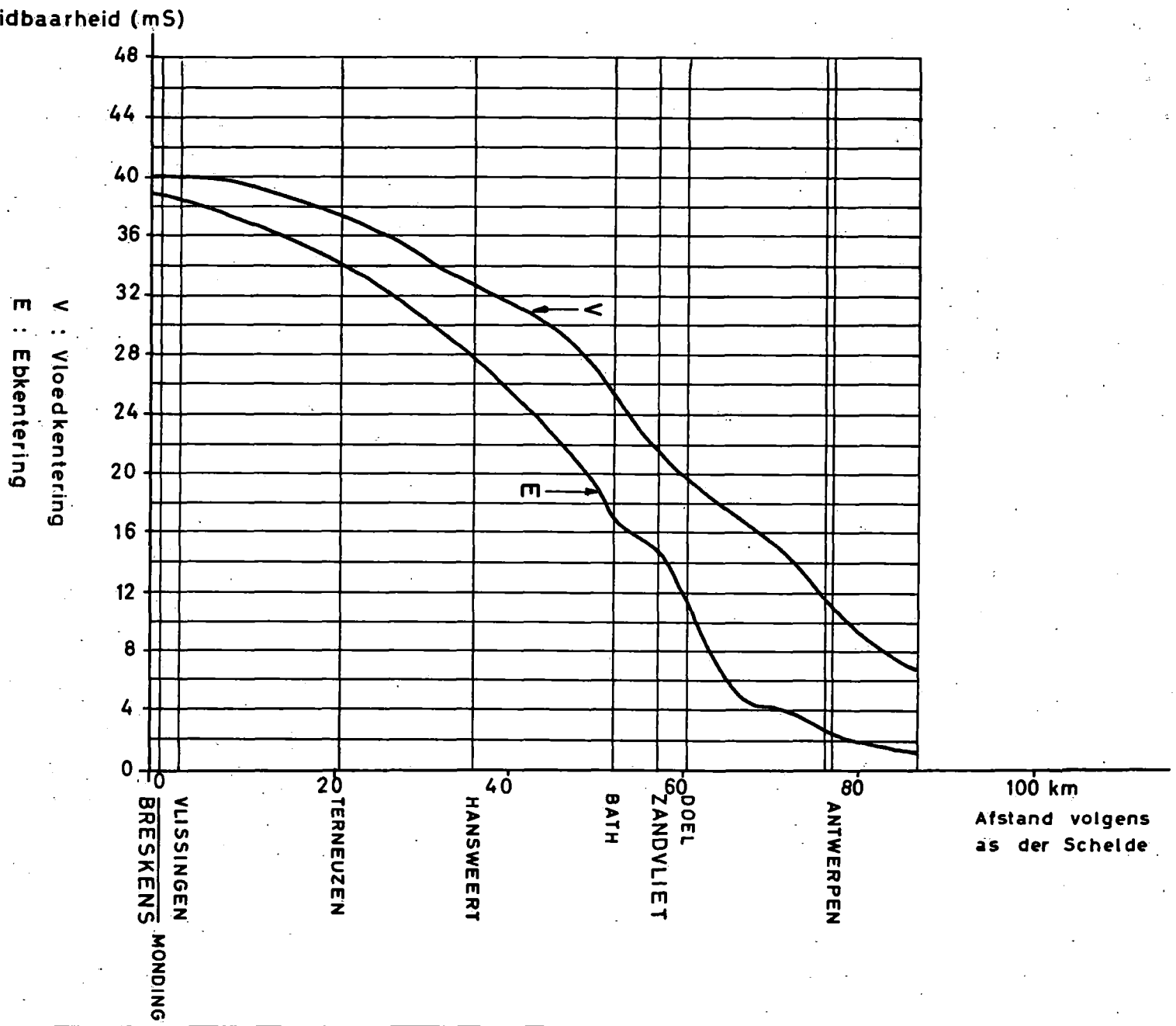
VARIATIE VAN DE  
GELEIDBAARHEID TE  
ANTWERPEN GEDUREN -  
DE EEN JAAR

Fig. 17

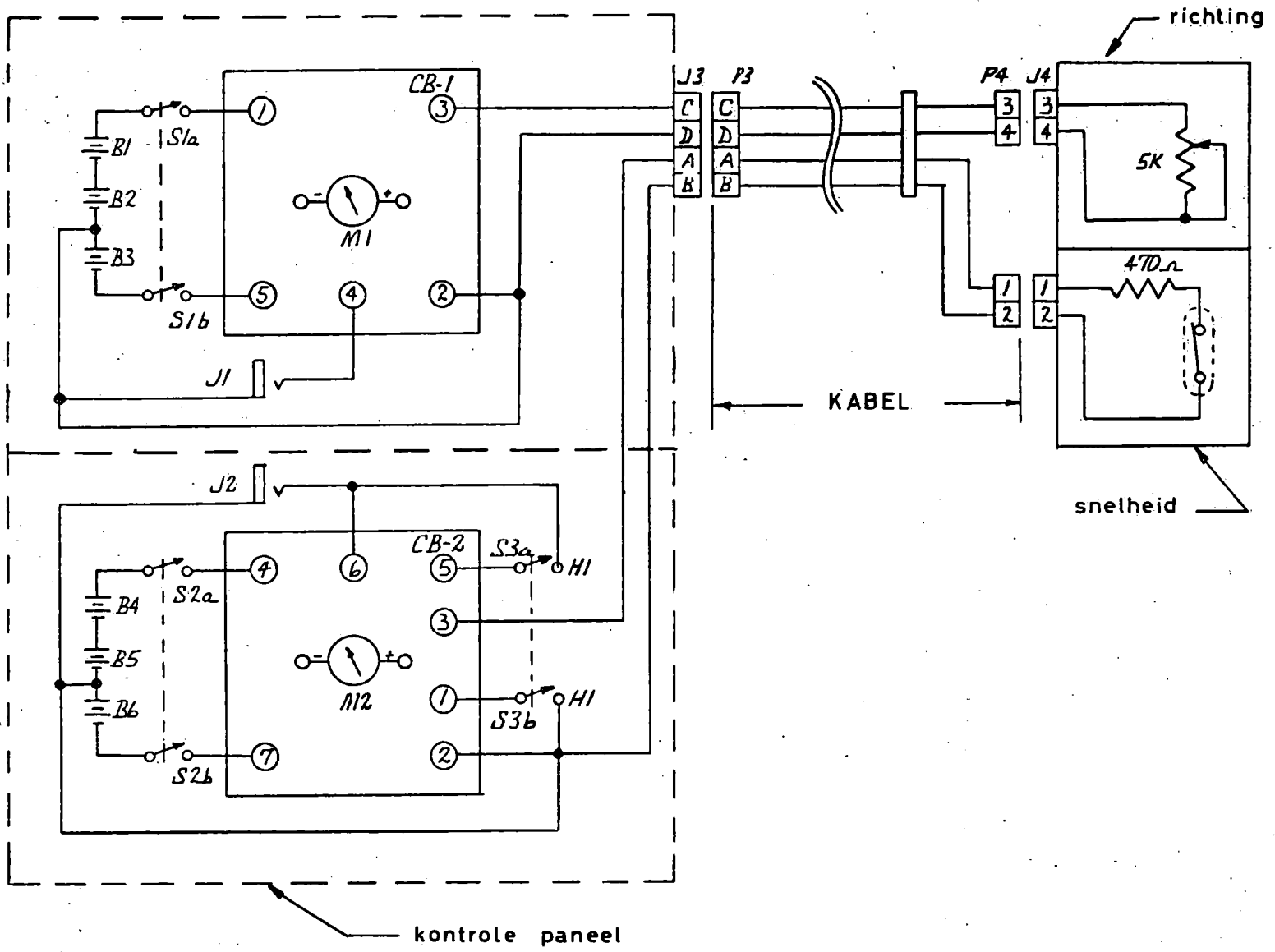
ONDERZOEK  
SCHELDewater  
Metingen : juli 1967

VARIATIE GELEIDBAAR-  
HEID VOLGENS EEN  
LANGSPROFIEL

Fig.18



W.L. 68.154-1



ONDERZOEK  
SCHELDWATER

PRINCIPESCHHEMA VAN DE  
SNELHEIDSMETER MET  
RICHTINGSAAUDDIJDING

Fig. 19

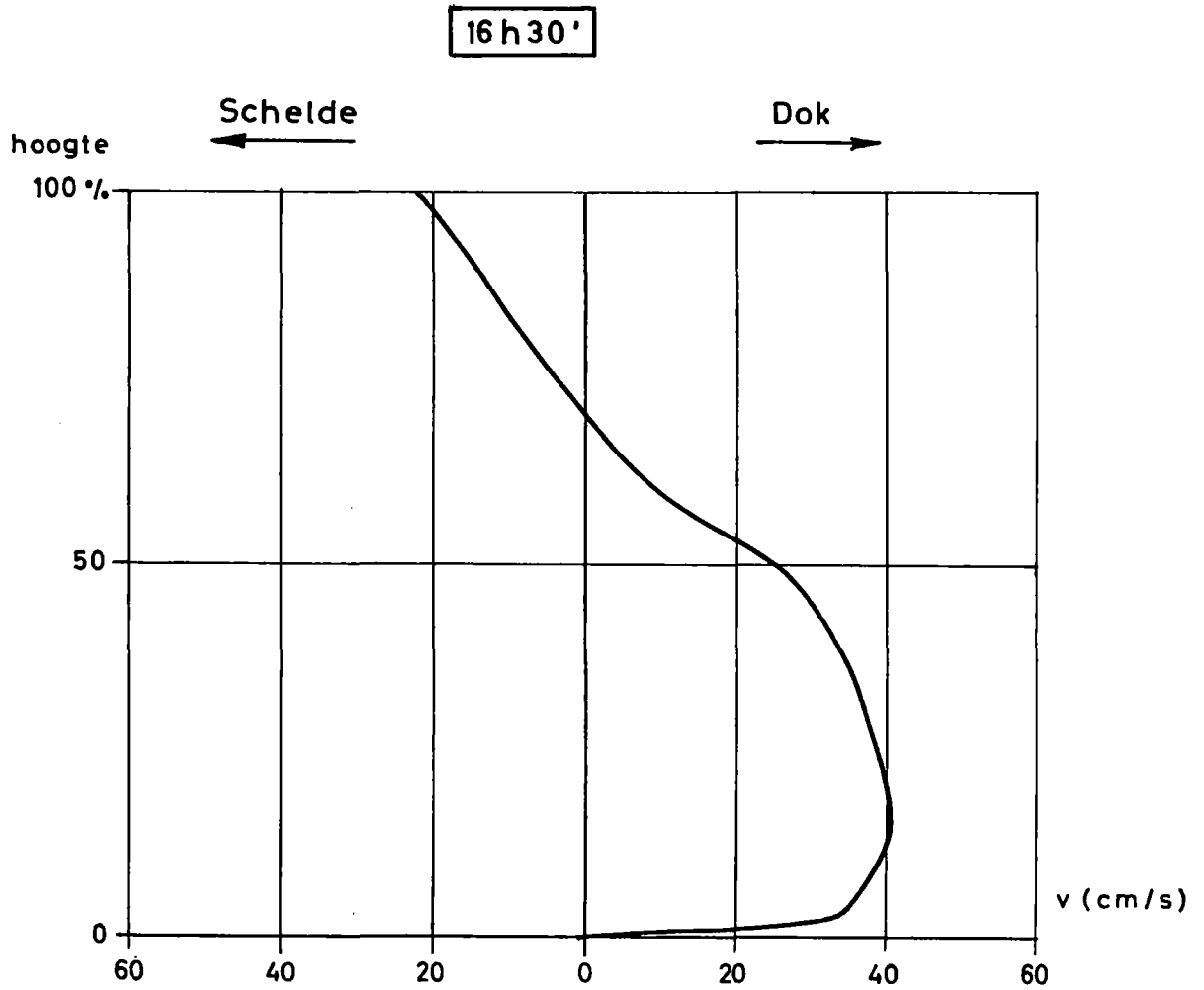


fig. 20a

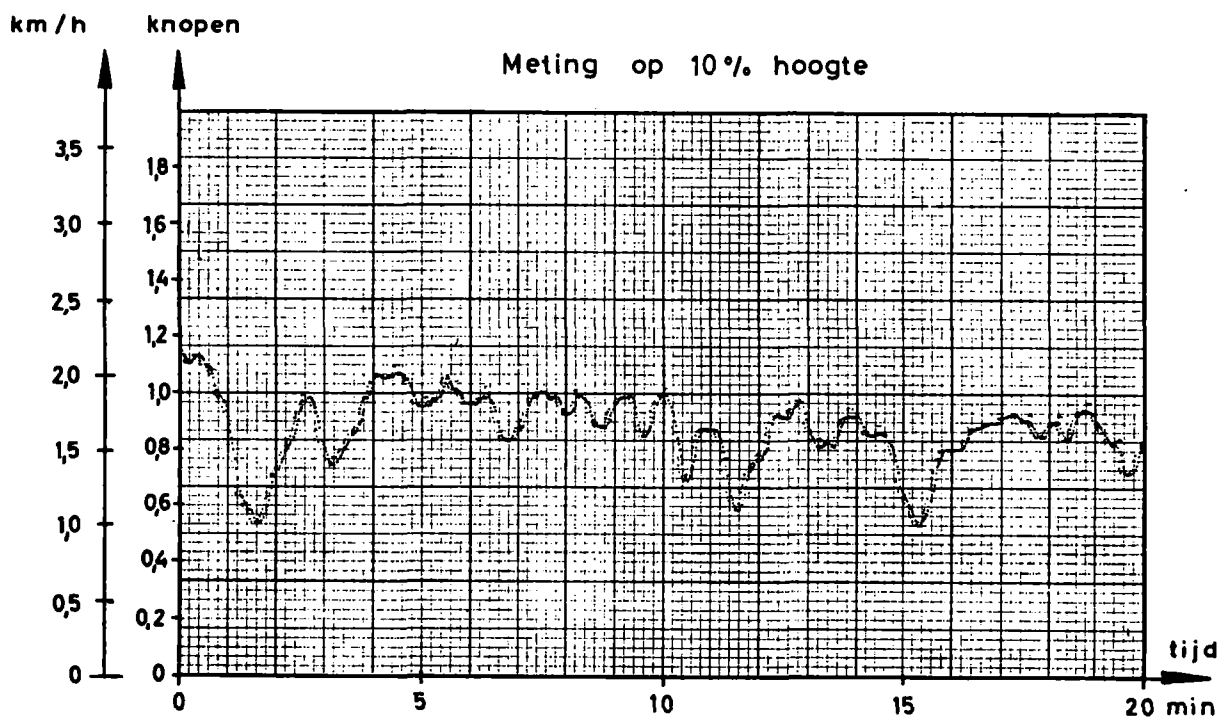
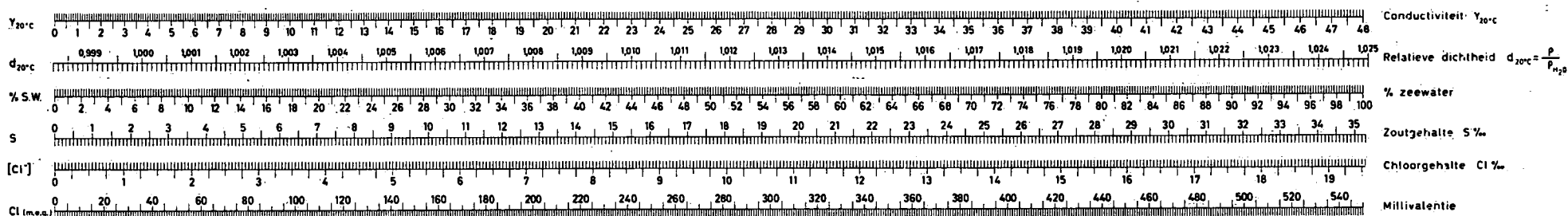


fig. 20b



**LEGENDE :**

- $\gamma_{20^\circ\text{C}}$  = de geleidbaarheid uitgedrukt in mS en herleid tot  $20^\circ\text{C}$
- $d_{20^\circ\text{C}}$  = de relatieve dichtheid herleid tot  $20^\circ\text{C}$
- % S.W. = het percentage zeewater gemengd met gedistilleerd water
- S = het zoutgehalte uitgedrukt in gram per liter
- $[\text{Cl}^-]$  = de chloorionenconcentratie uitgedrukt in gram per liter
- Cl(m.e.g.) = de chloorionenconcentratie uitgedrukt in millivalenties



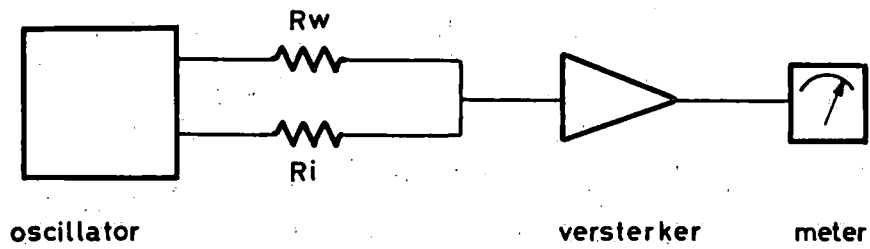


fig. 22a

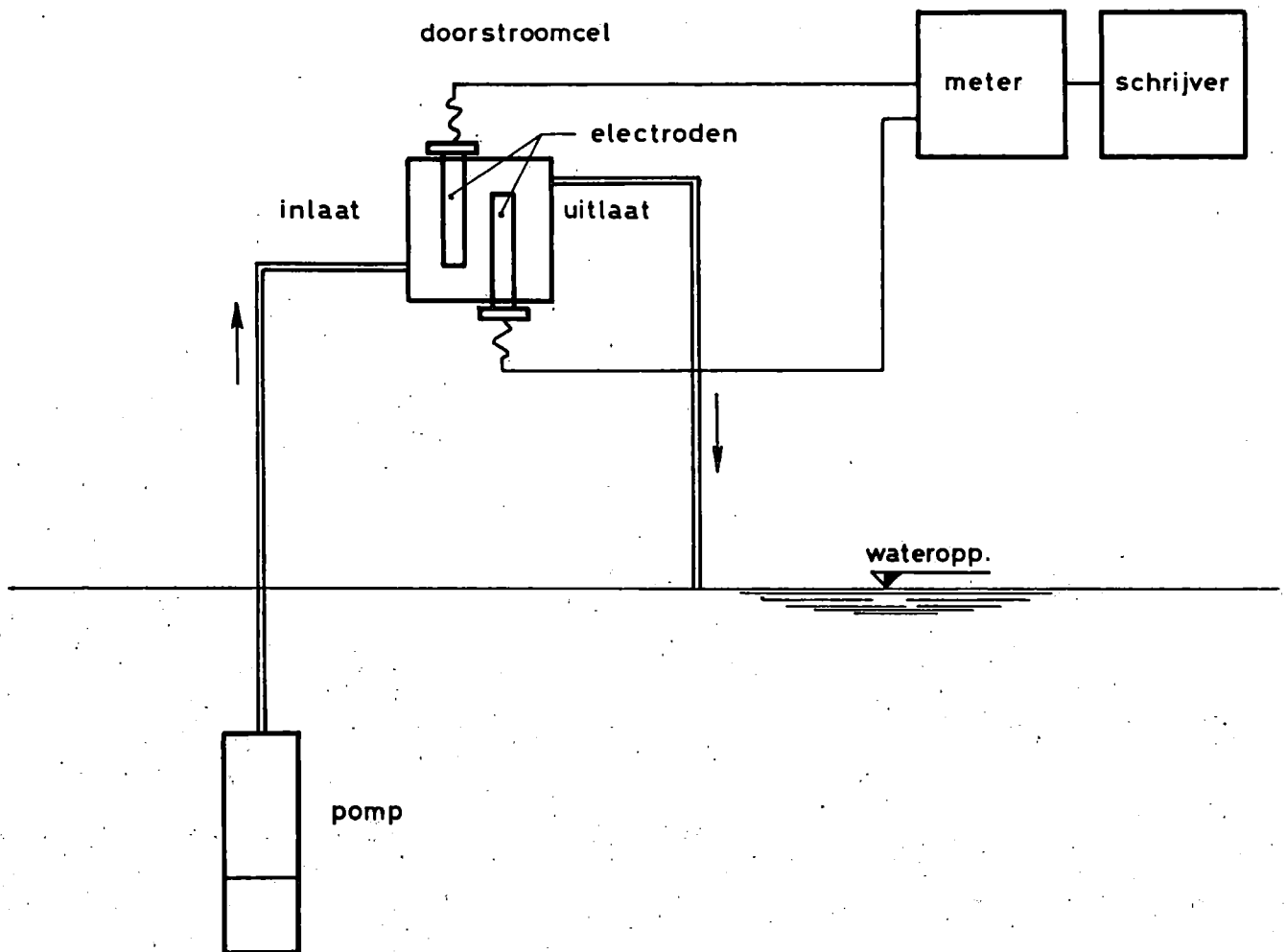


fig. 22b

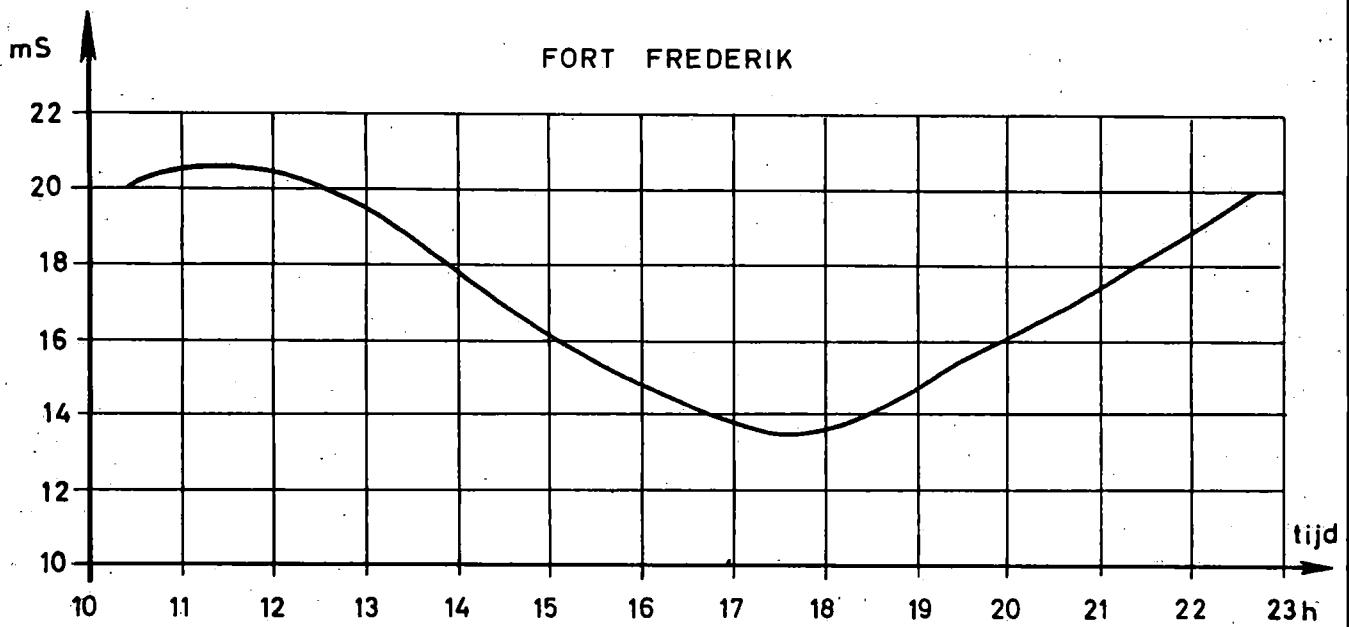


fig. 23

ZEESLUIS ZANDVLIET  
RAAI 16

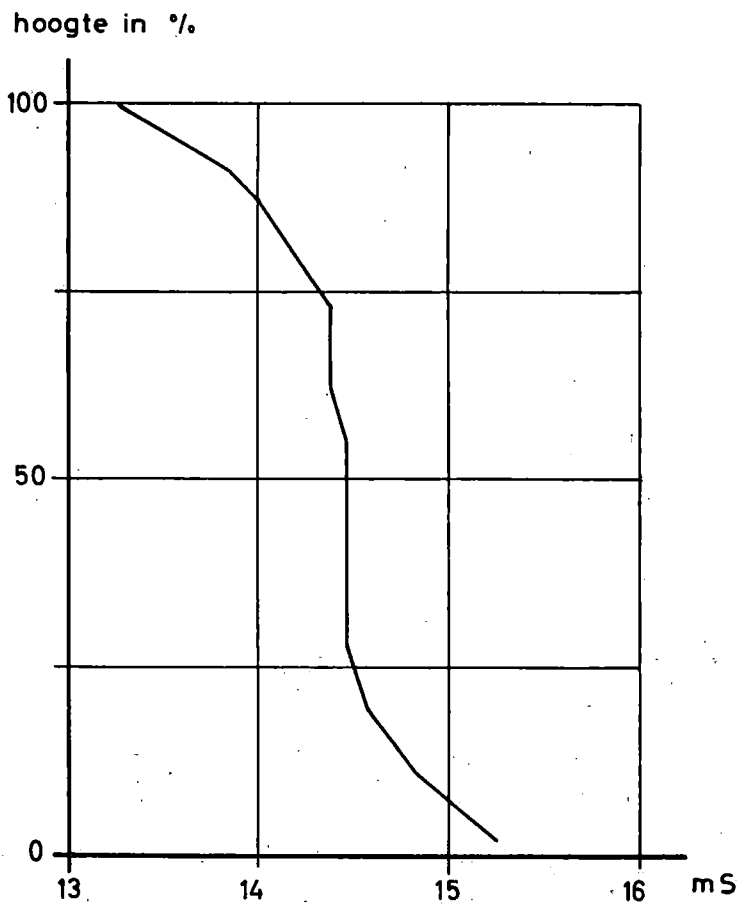


fig. 24

MEETCEL

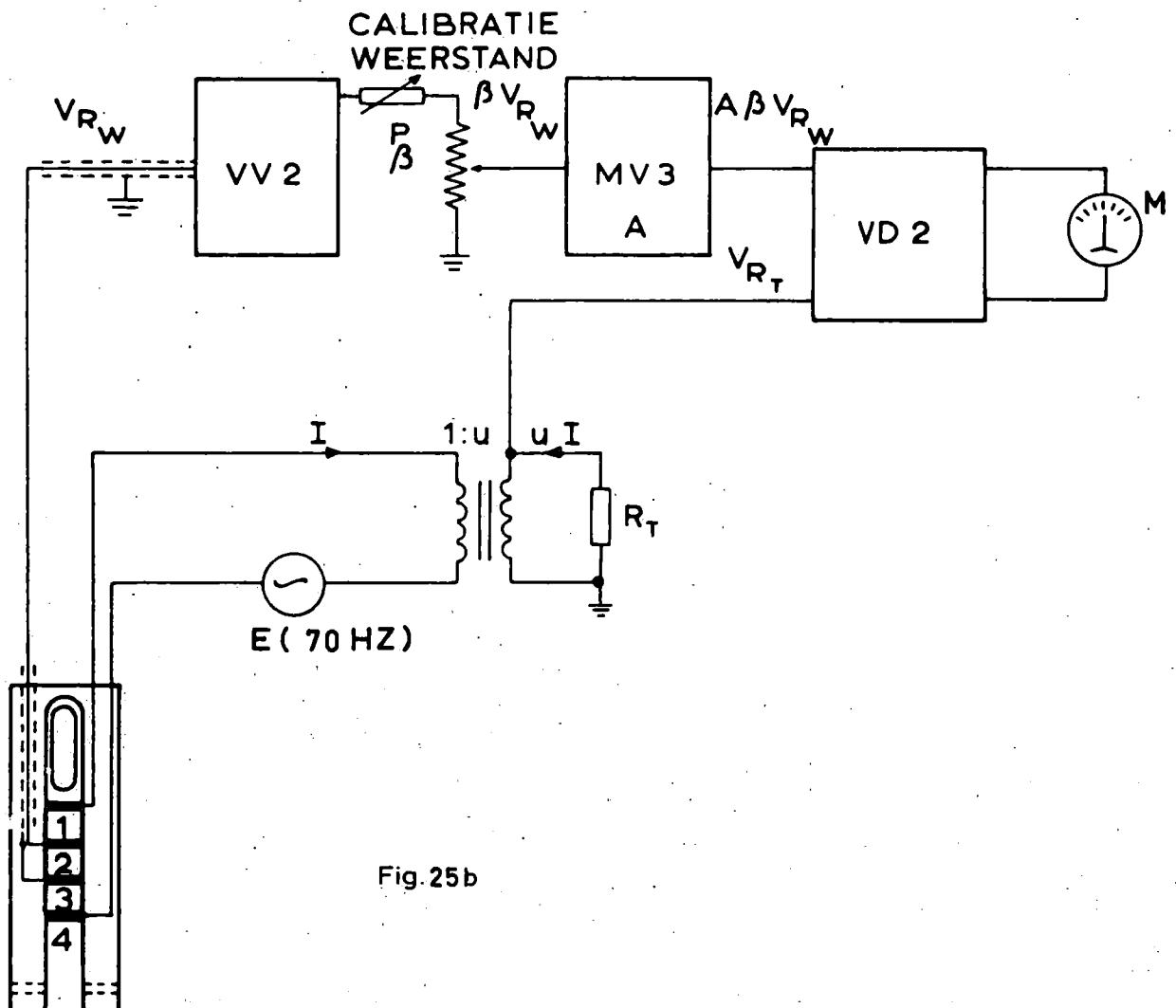
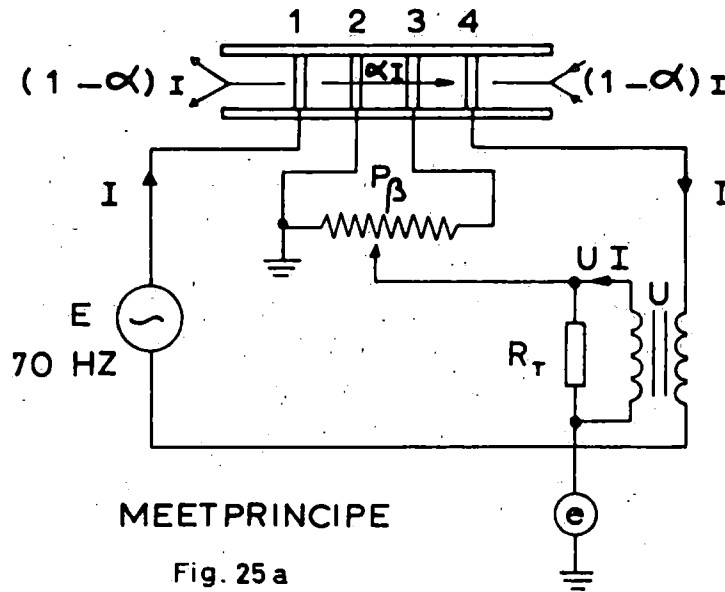
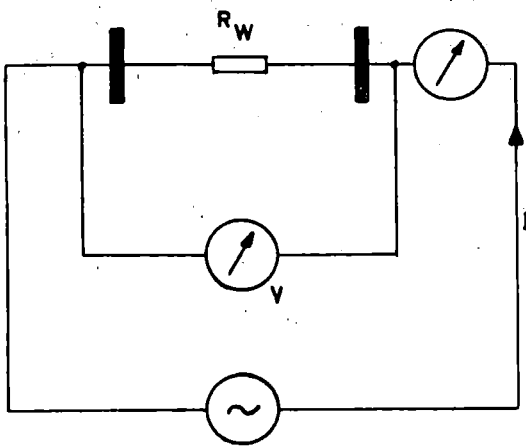


Fig. 26

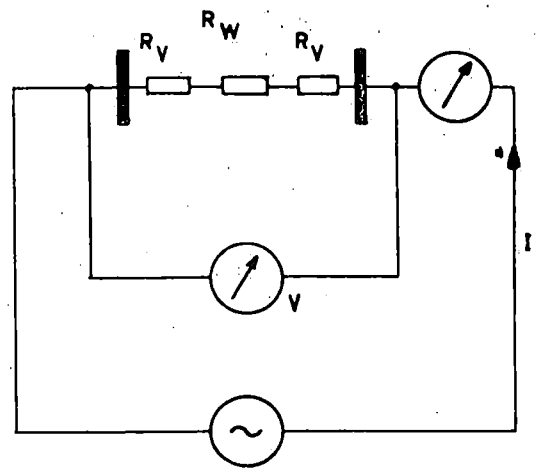
SCHONE ELEKTRODEN



$$V = IR_W$$

$$R_W = \frac{V}{I}$$

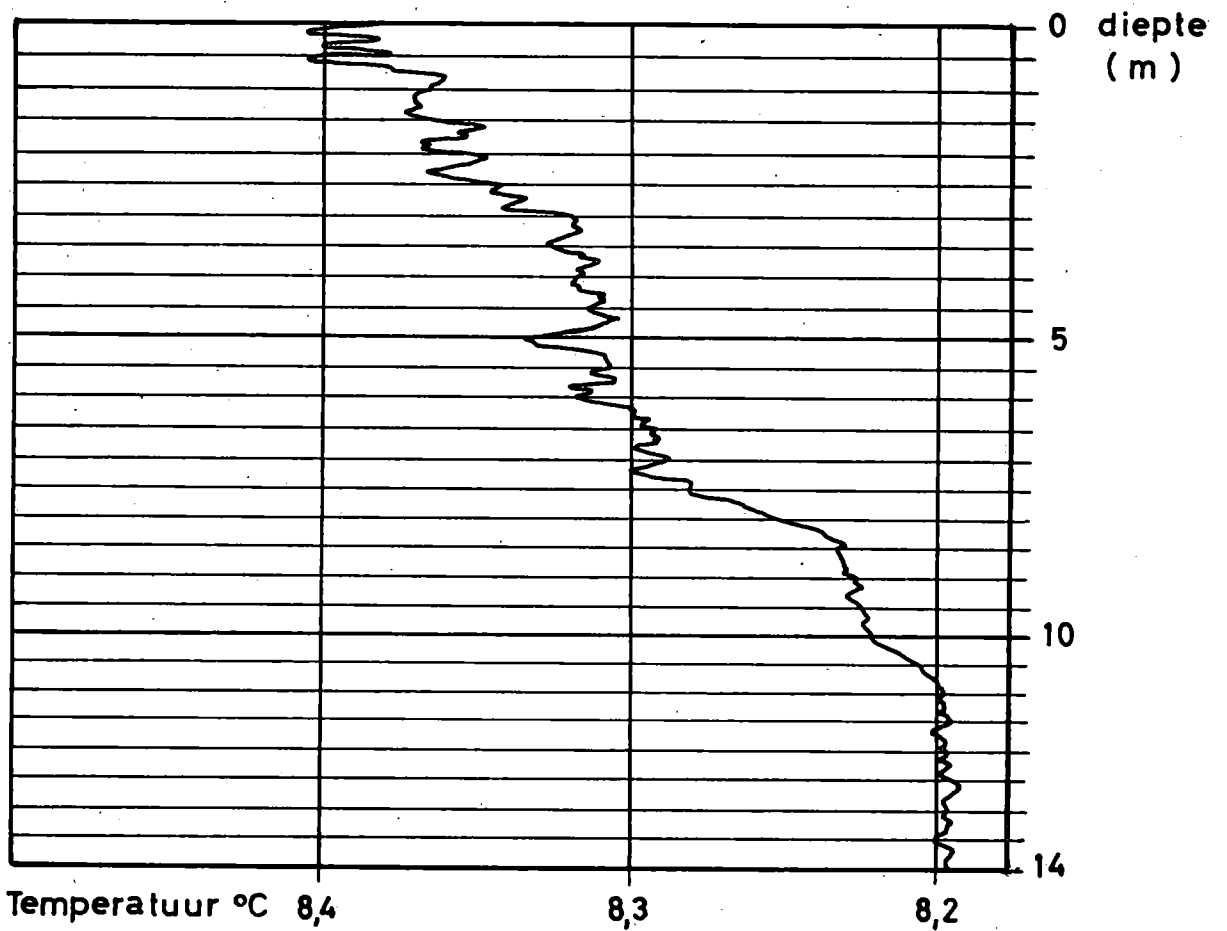
VERVUILDE ELEKTRODEN

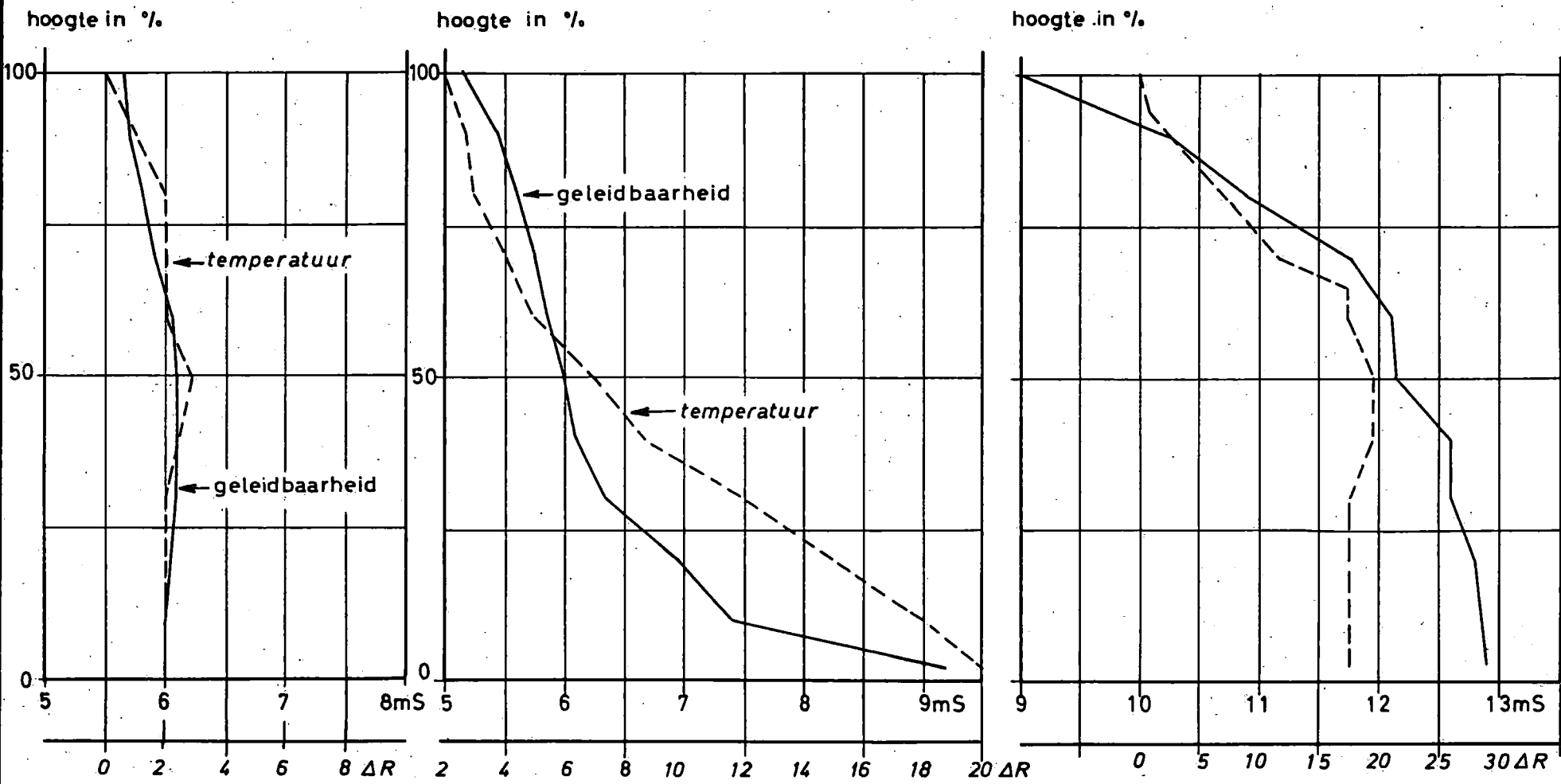


$$V' = I(R_W + 2R_V)$$

$$R'_W = R_W + 2R_V = \frac{V'}{I}$$

Vertikale temperatuurgradient  
opgemeten 1h voor H.W.





ONDERZOEK  
SCHELDWATER

VERGELIJKING TEMPE-  
RATUUR EN GELEID-  
BAARHEID o/e VERTICALE

Fig. 28

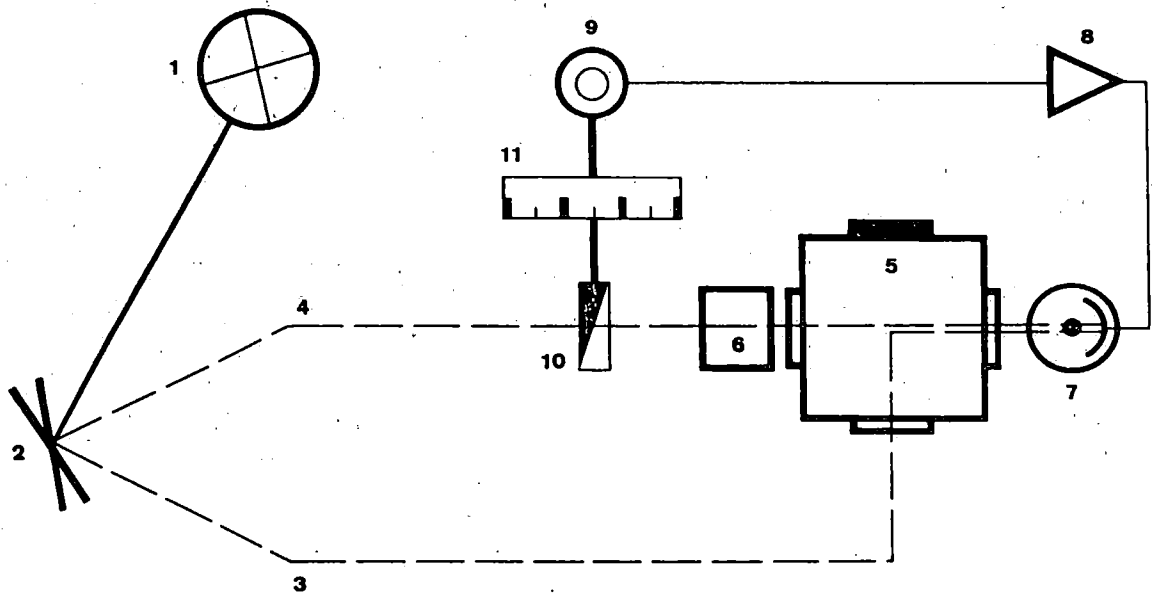


Fig. 29a

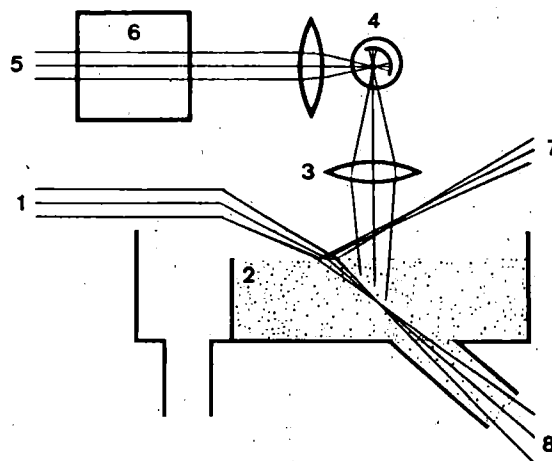
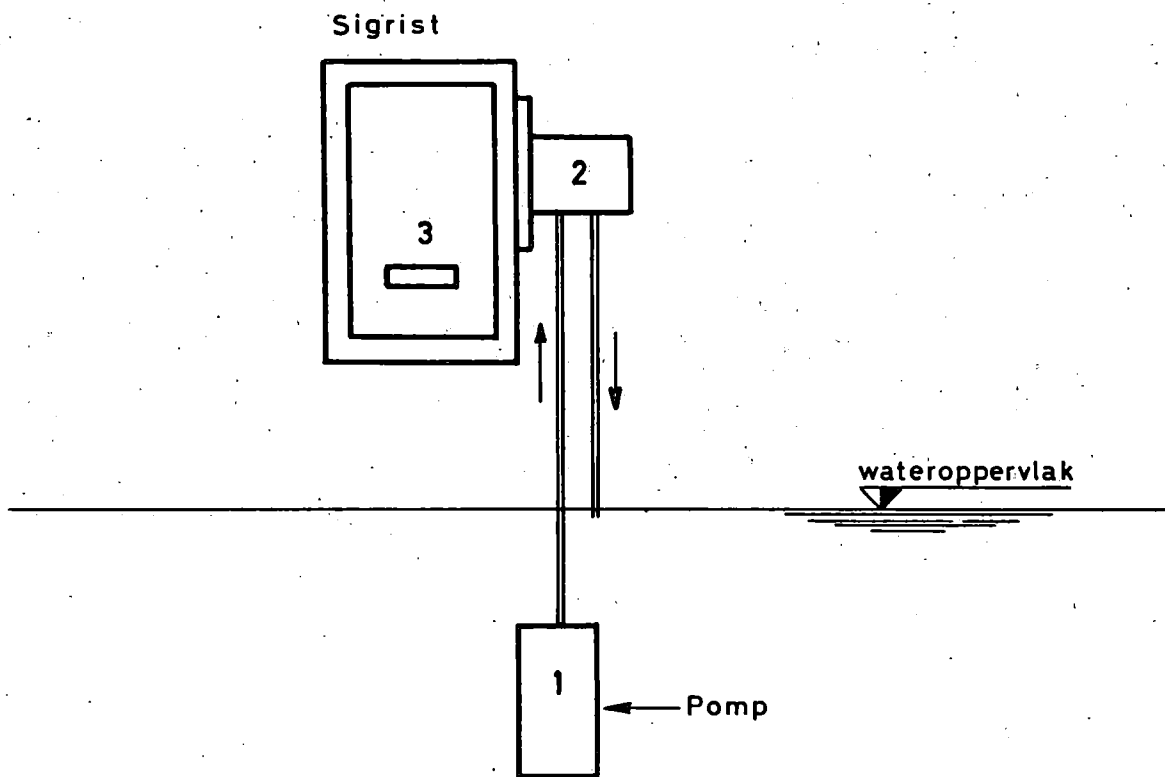


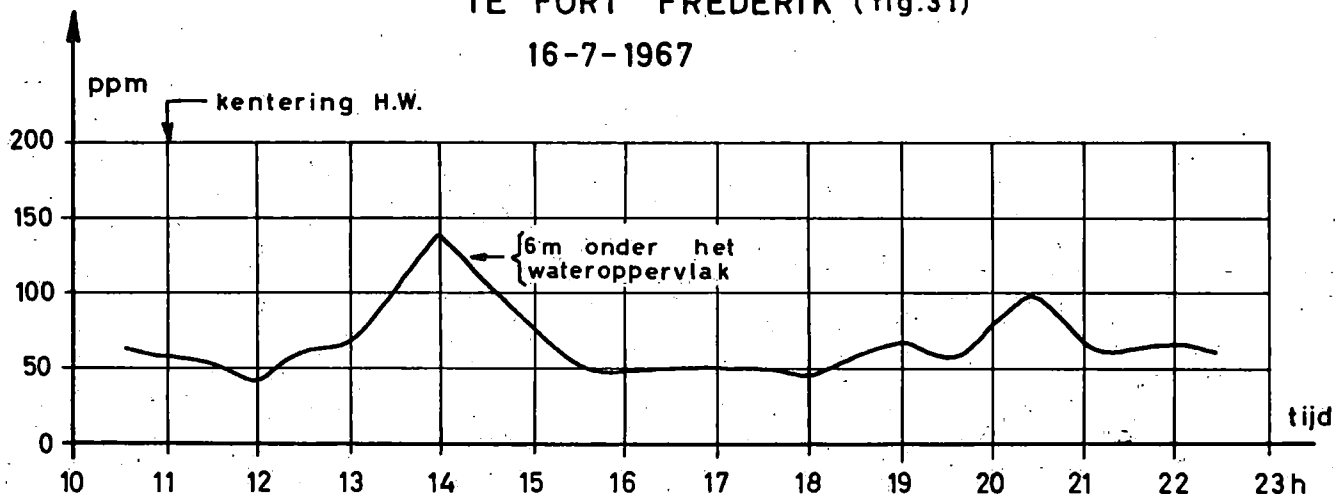
Fig. 29b

MEETOPSTELLING (fig.30)



VOORBEELD VAN EEN TROEBELHEIDSMETING  
TE FORT FREDERIK (fig.31)

16-7-1967



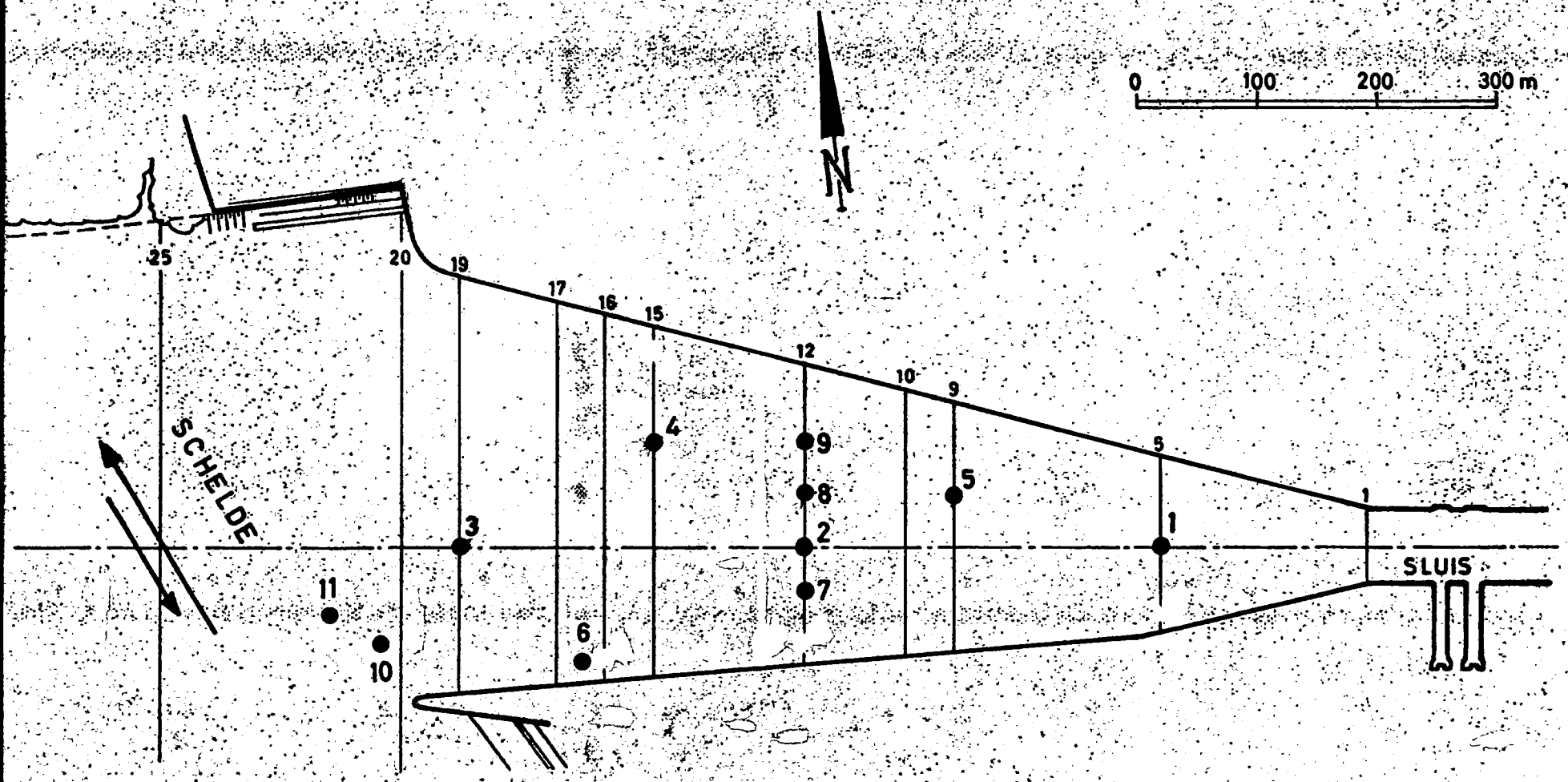


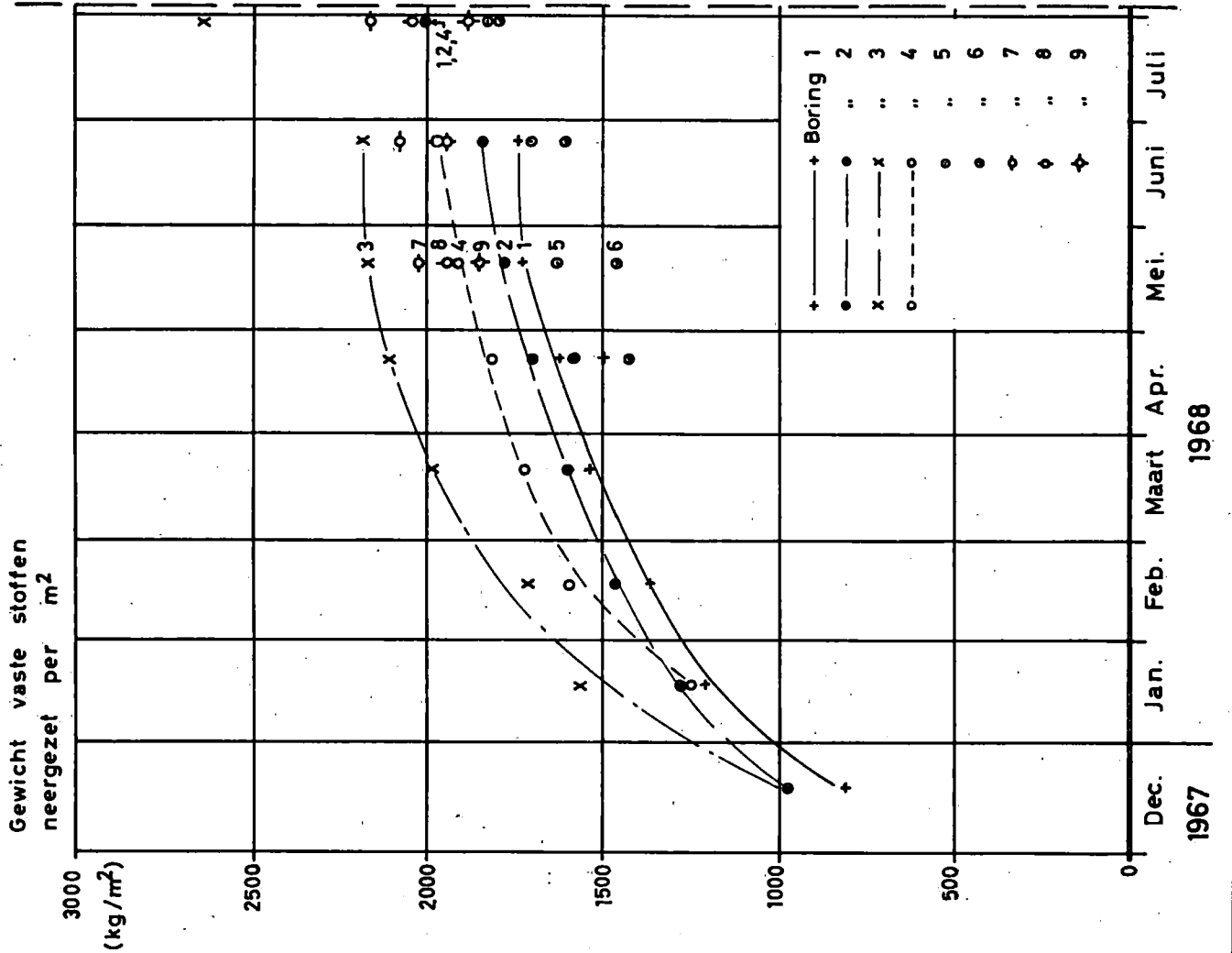
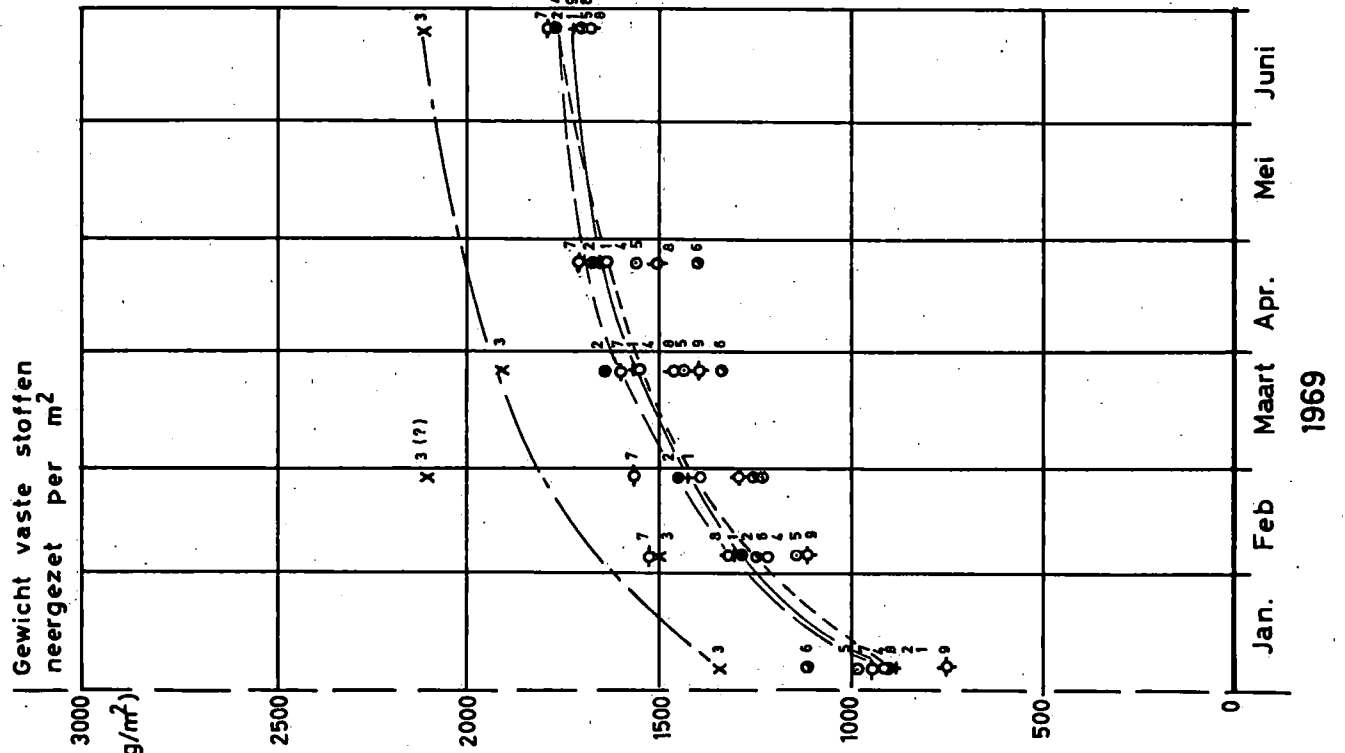
W.L. 66.051

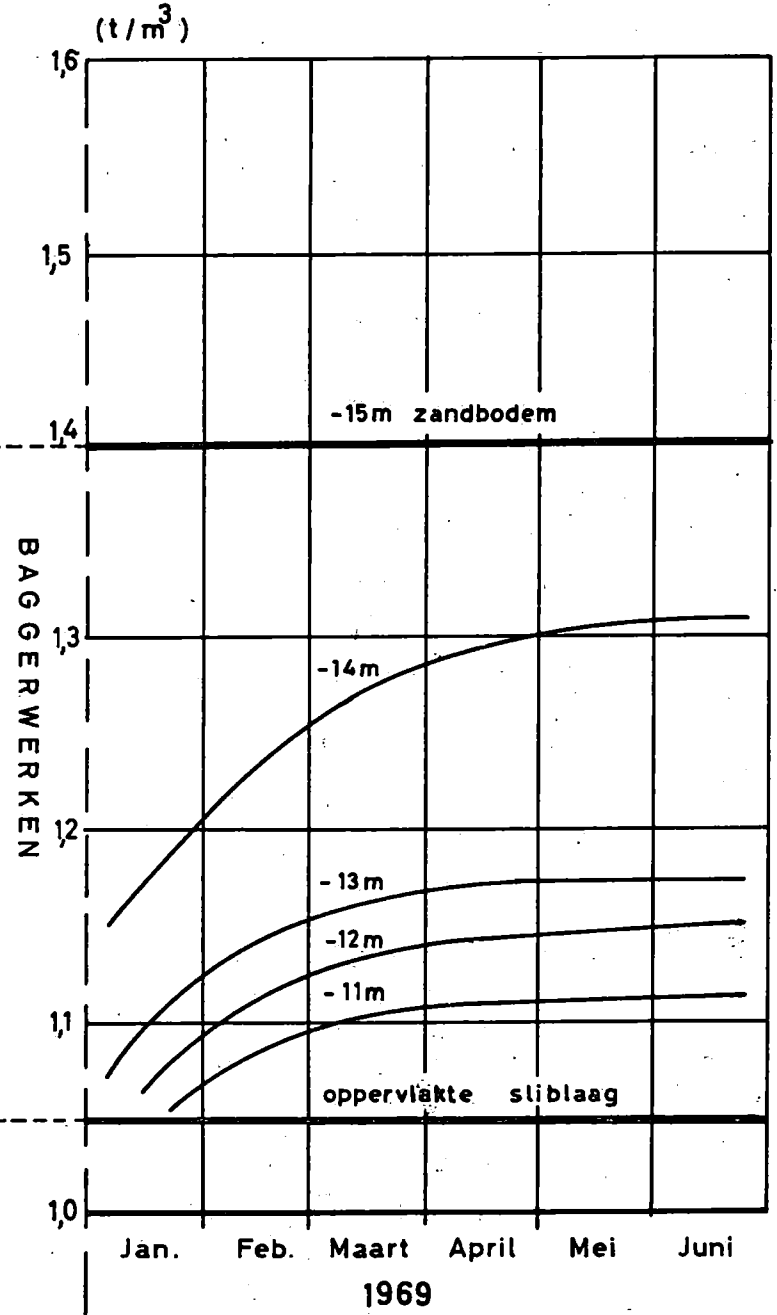
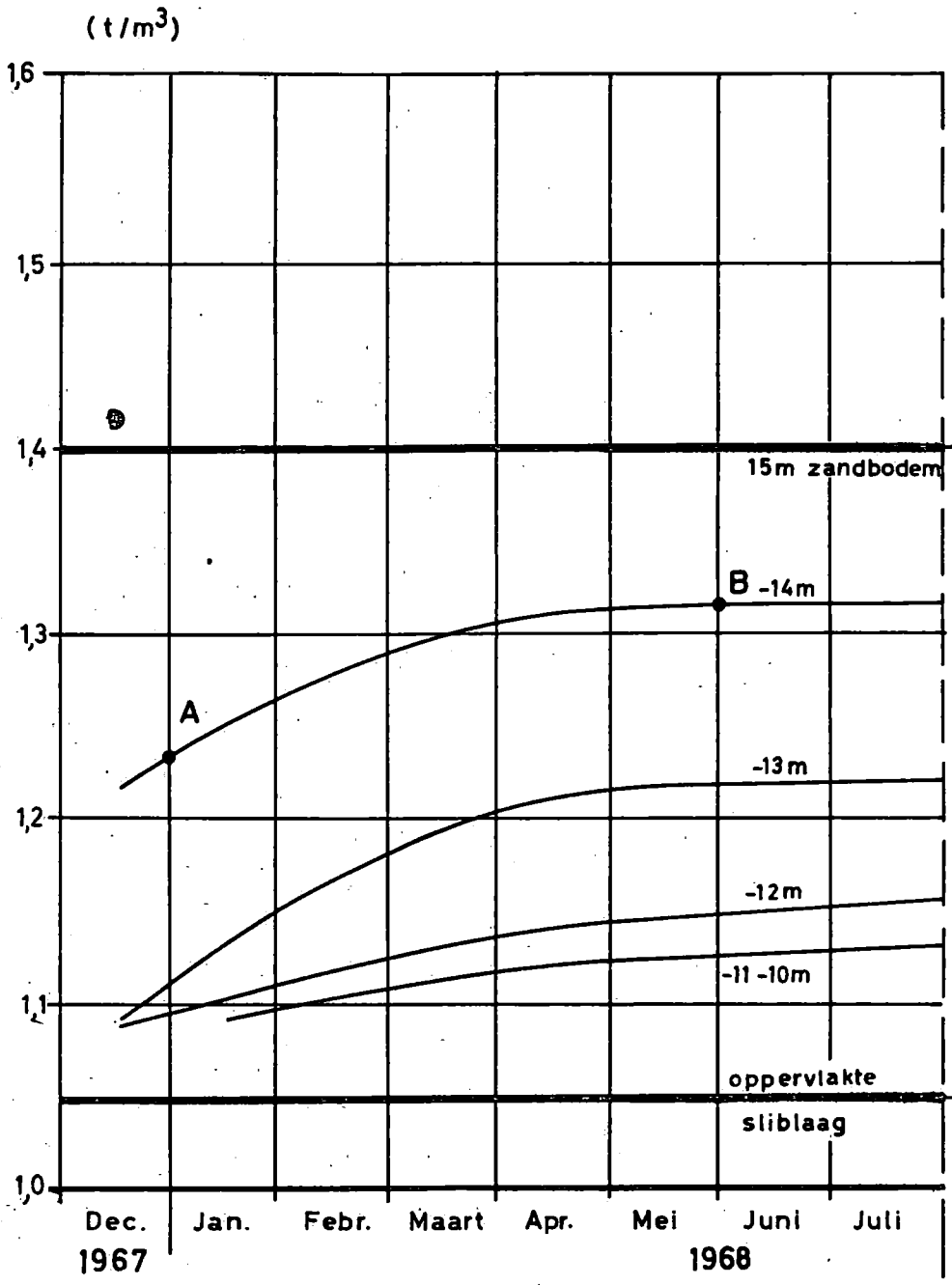
TOEGANGSGEUL  
ZEESLUIS ZANDVLIET

LIGGINGSPLAN

Fig. 32





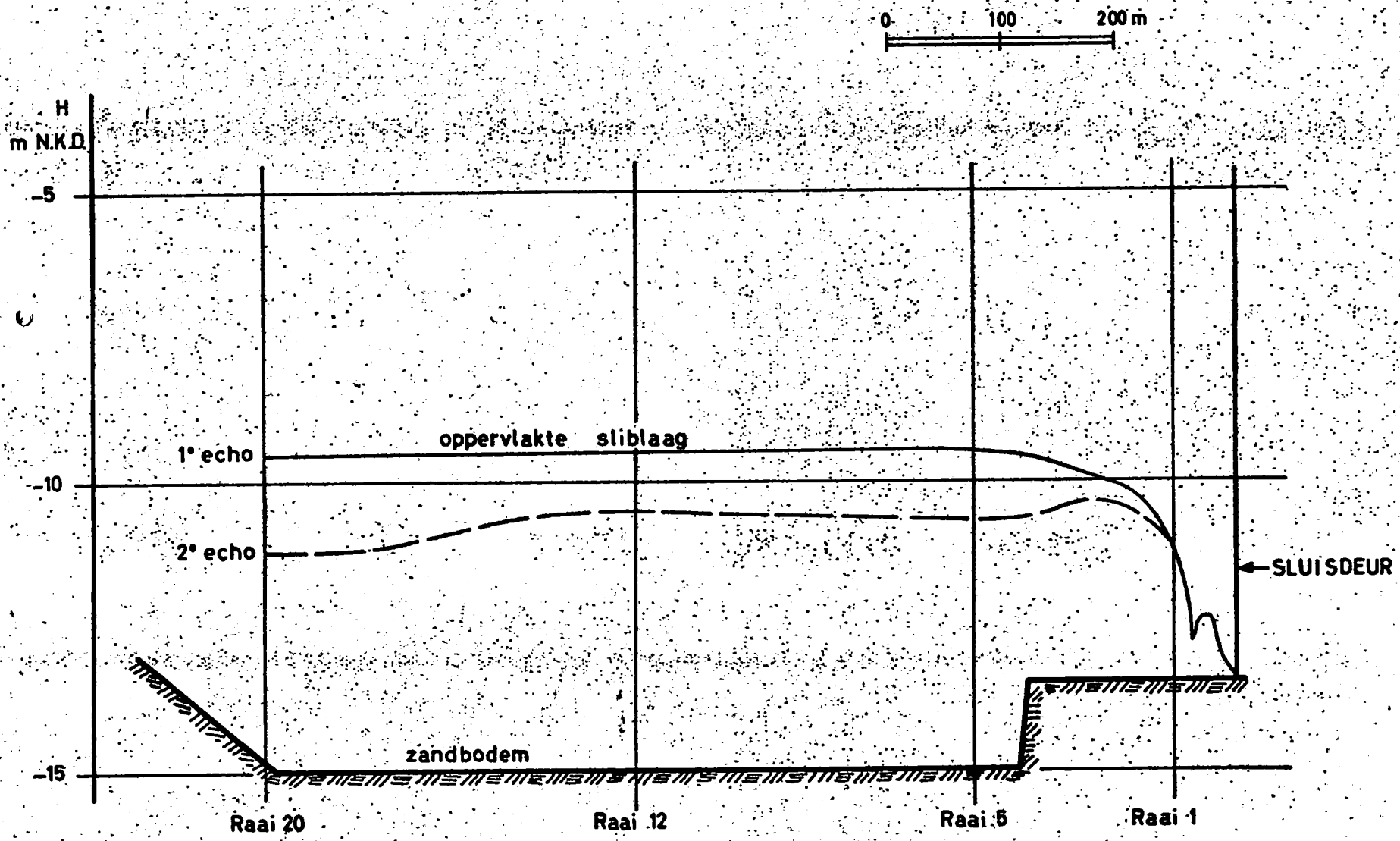


Voorbeeld: Soortelijk gewicht van het slib 1m boven de zandbodem  
 Op 1 januari 1968 is het soortelijk gewicht 1,233 t/m<sup>3</sup> (punt A)  
 Op 1 juni 1968 is het soortelijk gewicht 1,314 t/m<sup>3</sup> (punt B)

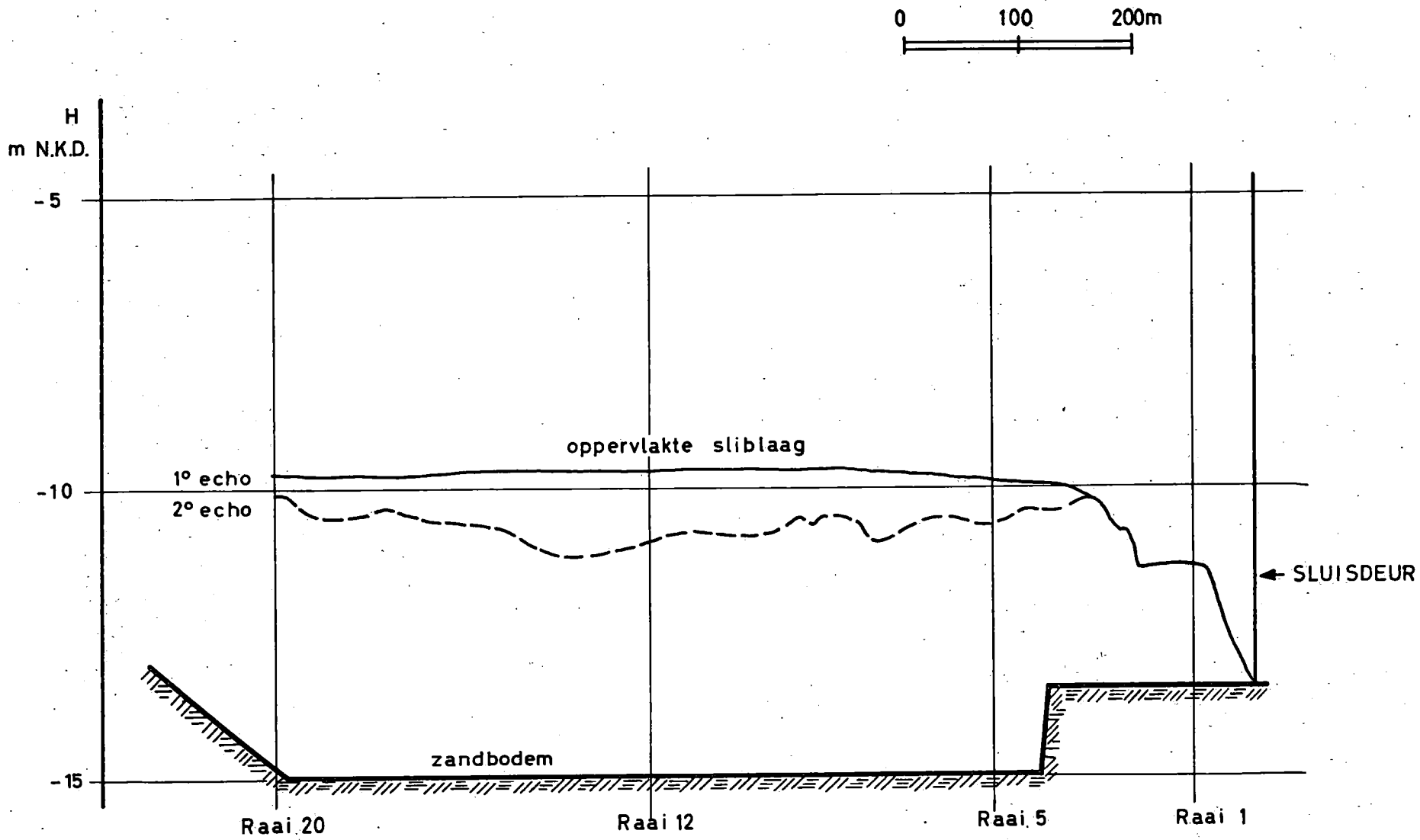
TOEGANGSGEUL  
 ZEESLUIS ZANDVLIET

EVOLUTIE VAN HET SOOR-  
 TELIJK GEWICHT OP VER-  
 SCHILLENDE DIEPTEN  
 -BORING 2-

Fig. 34



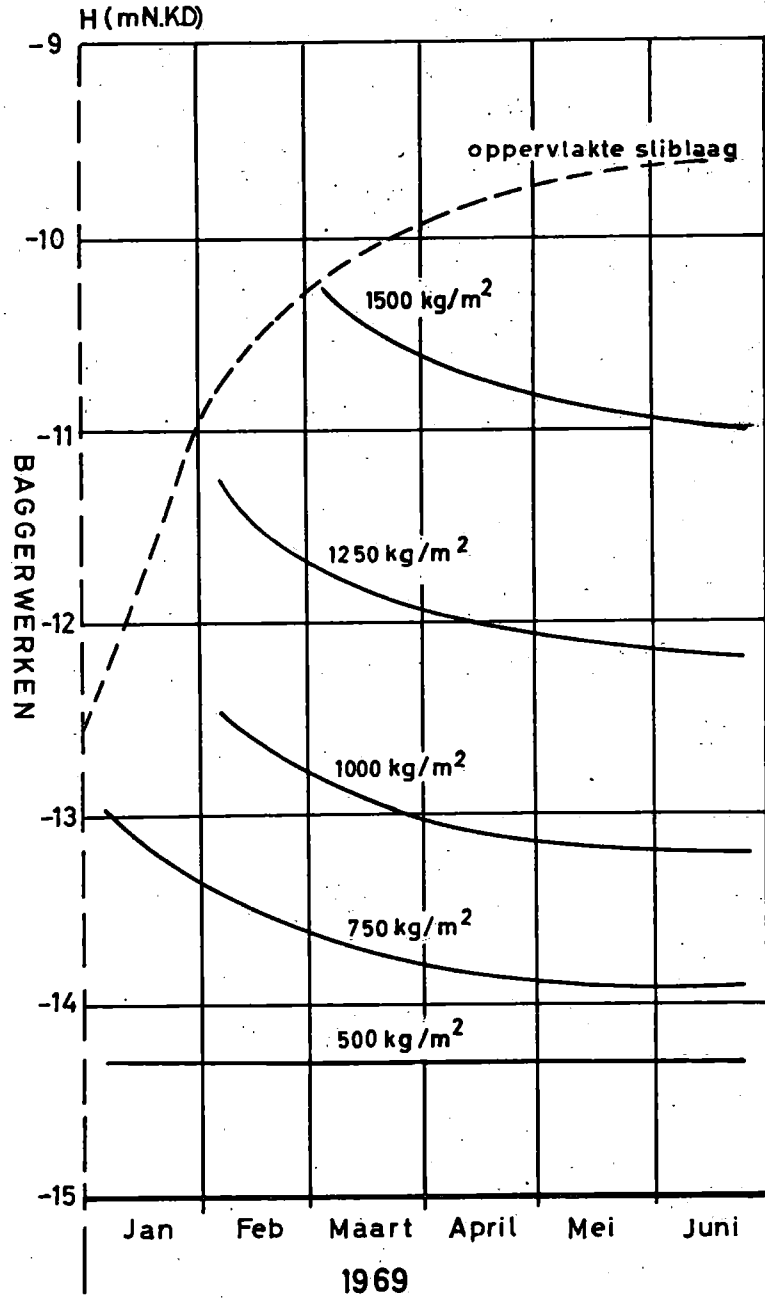
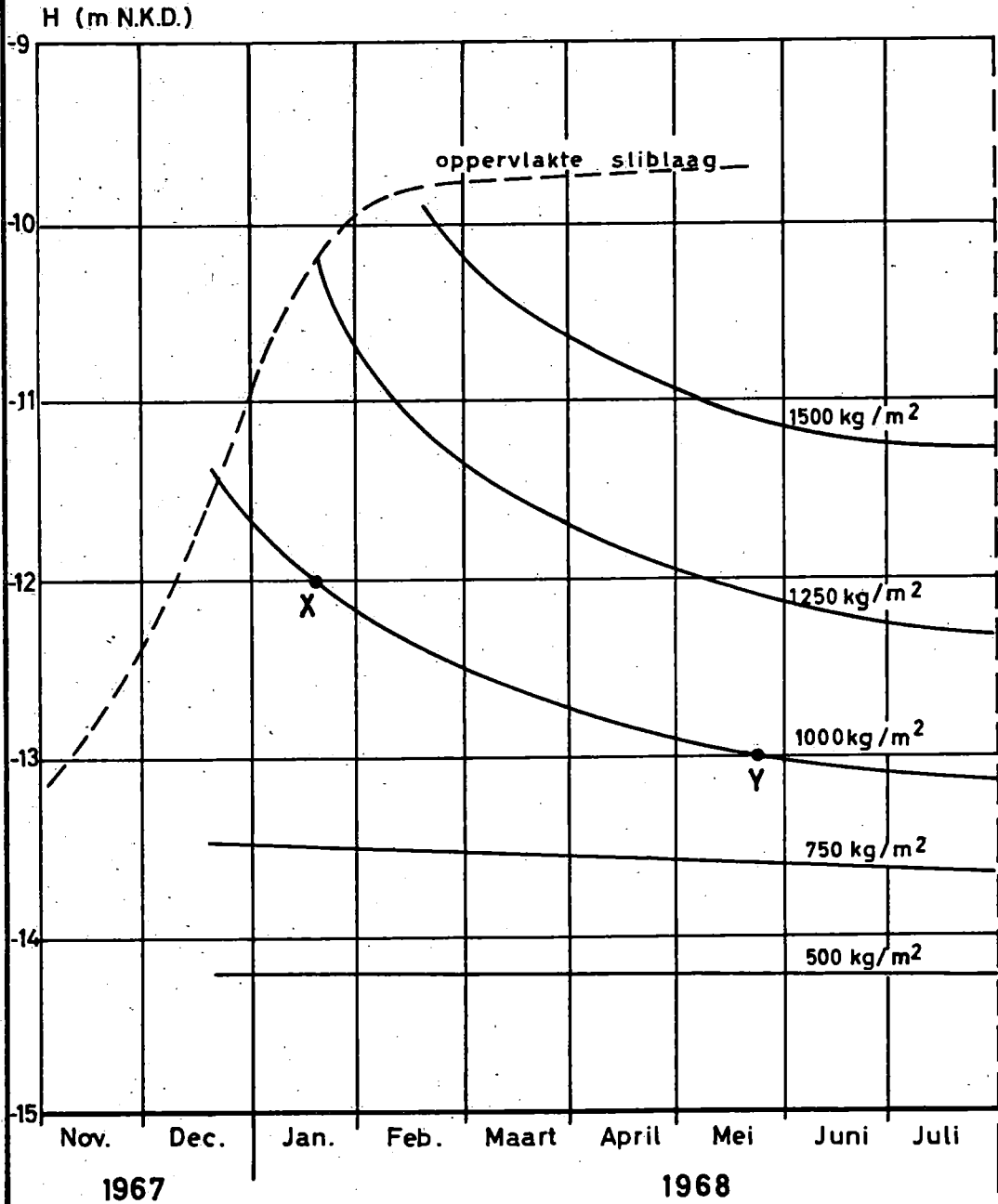
W.L. 68.714



TOEGANGSGEUL  
ZEESLUIS ZANDBLIET

LANGPROFIEL IN DE AS  
VAN DE TOEGANGSGEUL  
TOESTAND OP 25/6/1969

Fig. 36



Voorbeeld: Op 17 januari 1968 lag er 1000 kg droog silt in een drie meter dikke sli blaag boven de zandbodem (punt X) Op 26 mei 1968 was deze sli blaag vaster geworden en slechts twee meter dik (punt Y)

TOEGANGSGEUL  
ZEESLUIS ZANDVLIET

EVOLUTIE GEWICHT VASTE  
STOFFEN AFGEZET PER  
m<sup>2</sup> - BORING 2 -

Fig. 37

## BIBLIOGRAFIE

---

- B 1 BERTHOIS L. 1958. Sédimentation dans l'estuaire de la Loire pendant la crue de mars 1957.  
C.R. Académie des Sciences . 19 mai.
- B 2 BERTHOIS L. 1958. Les modalités d'envasement dans l'estuaire de la Loire.  
C.R. Académie des Sciences . 6 janvier.
- B 3 BERTHOIS L. 1956. Comportement du bouchon vaseux dans l'estuaire de la Loire.  
Communication aux IVe Journées de l'Hydraulique.  
Société Hydrotechnique de France. juin.
- B 4 BERTHOIS L. CHATELIN-MARCOU. Influence de la salinité et de la température sur la vitesse de sédimentation dans les eaux de l'estuaire de la Loire.  
C.R. Académie des Sciences . 17 août .
- B 5 BOURCART J. - FRANCIS-BOEUF C. 1942. La vase.
- B 6 BOWDEN K. F. 1967. Circulation and Diffusion.  
Estuaries. American Association for Advancement of Science.
- C 1 CODDE R. 1958. Het verloop van het zoutgehalte in de Zeeschelde.  
Revue Génie Civil. Construction . Vol. I, n° 6.
- H 1 HANSEN D. V. 1967. Salt balance and circulation in partially mixed estuaries.  
Estuaries. AAAS.

- H 2 HERRER P.L. 1967. Methods and Devices for Measuring Currents.  
Estuaries. AAAS.
- L 1 LARRAS J. 1964. Embouchures estuaires et deltas.  
Eyrolles.
- M 1 MANGELSDORF P.C. 1967. Salinity measurements in Estuaries.  
AAAS.
- P 1 PETERS J.J. 1965. Les vases d'anciens bras de l'Escaut.  
Rapport du Laboratoire de Recherches Hydrauliques-  
Bergerhout -Anvers. Etude faite à l'Université Libre  
de Bruxelles.
- P 2 PETERS J.J. 1965. Les sédiments et suspensions de l'Escaut.  
Rapport du Laboratoire de Recherches Hydrauliques-  
Bergerhout-Anvers. Etude faite à l'Université Libre  
de Bruxelles.
- P 3 POSTMA H. 1967. Sediment transport and sedimentation in the  
estuarine environment.  
Estuaries. AAAS.
- P 4 PRITCHARD D.W. 1967. Observations of circulation in coastal  
plain estuaries.  
Estuaries AAAS.
- R 1 RILEY J.P. -SKIRROW G. 1966. Chemical Oceanography.  
Tome I & II. Academic Press. London and New-York.



S 1 SANTEMA P. 1953. Coagulation van rivierslib bij ontmoeting met  
zeewater.

De Ingenieur. 17 april, n° 16.

S2 SCHULTZ E.A. & SIMMONS H.B. 1957. Fresh water-salt water  
density currents, a major cause of siltation in estuaries.  
Communication au XIXe Congrès International de  
Navigation. Londres.

T 1 TERZAGHI K.V. 1939. Théorie du tassement des couches argileuses  
DUNOD.

W 2 WILSON G.A., ALLEN F.H., STEPHENS N.D.E. 1957. The  
Conservancy of the River Thames.

Communication au XIXe Congrès International de  
Navigation. Londres.

W 3 WOLLAST -1967. Contribution à l'étude de l'envasement de l'Escaut.  
Rapport Interne. Laboratoire de Chimie des solides.  
Université Libre de Bruxelles.

---

EDITIE

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
BORGERHOUT

---

BERCHEMLEI 115  
2200 ANTWERPEN  
BELGIE  
TELEFOON 03/236.18.50.