

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

GEOHYDROLOGISCH ONDERZOEK IN HET
ZWANENWATER (NOORD-HOLLAND)

ing. K.E. Wit
M. Wijnsma

Werkgroep Noord-Holland

nr. XVII

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.

JSN 178446-01

I N H O U D

	blz.
I. INLEIDING	1
II. UITVOERING ONDERZOEK	2
III. WATERHUISHOUDKUNDIGE SITUATIE	5
IV. HYDROLOGISCHE BEREKENINGEN	8
V. KWALITEIT VAN HET OPPERVLAKTEWATER	15
VI. SAMENVATTING	16
VII. LITERATUUR	17

I. INLEIDING

Het Zwanenwater is een natuurreservaat in Noord-Holland (fig. 1), dat onder beheer staat van de Vereniging Tot Behoud Van Natuurmonumenten In Nederland.

Bij een in 1976 uitgevoerd onderzoek naar de consequenties van een bemalingsplan voor de "Onbemalen Landen" in de Zijpe en Hazepolder vond een globale verkenning van het natuurgebied plaats (WIT; 1976). Hierbij bleek dat de peilen van de in het Zwanenwater gelegen meren enkele meters hoger liggen dan de stijghoogte van het grondwater in het pleistocene pakket. Daar het peil in de meren alleen wordt gehandhaafd door het neerslagoverschot, is deze situatie slechts mogelijk indien in het afdekkend pakket slecht doorlatende lagen voorkomen met een relatief hoge c-waarde.

In het kader van het Noord-Holland onderzoek was de mogelijkheid aanwezig voor nader onderzoek naar de geohydrologische gesteldheid in het Zwanenwater. Het gebied leent zich vanwege zijn geïsoleerde ligging bijzonder goed voor het opzetten van een waterbalansstudie, waaruit gegevens kunnen worden verkregen betreffende de geohydrologische bodemconstanten. Deze gegevens zijn niet alleen van belang voor het gebied zelf maar kunnen tevens een waardevolle ondersteuning vormen bij de interpretatie van geohydrologische kaarten elders in Noord-Holland. Daarnaast geeft een analyse van de hydrologische processen een inzicht in het gehele ecologisch systeem en kan het toekomstig beheer van het natuurreservaat hierop inspelen, en kunnen tevens storende invloeden van buitenaf beter worden onderkend.

Door Natuurmonumenten is medewerking verleend bij het uitgevoerde onderzoek, waarvan in deze nota verslag wordt gedaan.

II. UITVOERING ONDERZOEK

De geohydrologische opbouw van de ondergrond in Noord-Holland is schematisch weergegeven in fig. 2. Het onderzoek in het Zwanenwater heeft zich voornamelijk geconcentreerd op de samenstelling en eigenschappen van het afdekkend pakket en de plaatselijk daarin voorkomende watervoerende laag alsmede op de grondwaterstroming in het gehele afdekkend pakket.

Voor het verkrijgen van informatie betreffende de profielopbouw is een puls boring G 188 (fig. 3) uitgevoerd, aangevuld met archiefgegevens van bestaande boringen, gelegen langs de westzijde van het gebied (Pomper; 1979). In fig. 4 is een profieldoorsnede gegeven van G 188 naar 14 A/2.

Voor een analyse van de grondwaterstroming in het gehele afdekkend pakket zijn gegevens nodig betreffende:

1. stijghoogten grondwater bovenste watervoerende pakket
2. stijghoogten grondwater 1^e watervoerende pakket
3. kD-waarde bovenste watervoerende pakket
4. c-waarde van slecht doorlatende lagen in het afdekkend pakket

Ten behoeve van ad. 1 en 2 zijn een drietal avegaarboringen uitgevoerd G 191 tot en met G 193 (fig. 3) waarin evenals bij G 188 zowel filters zijn gesteld in de eerste als in de bovenste watervoerende laag, verder zijn in een aantal ondiepe boringen Zw 1 tot en met 7 alleen filters geplaatst in het bovenste watervoerende pakket (fig. 3). Vanaf 1978 zijn de grondwaterstanden in de waarnemingsfilters twee keer per maand opgenomen.

Voor het bovenste watervoerende pakket is bij G 188 een kD-waarde berekend van ruim $200 \text{ m}^2/\text{dag}$, gebaseerd op een k-waarde van $42 \text{ m}/\text{dag}$ die getaxeerd werd aan de hand van de korrelgrootte verdeling en een laagdikte van ruim 5 m. Zowel voor toetsing van de hierboven gevolgde methode als verifiëring van de verkregen waarde is in de naaste omgeving van G 191 (fig. 3 en 5) op 28 juni 1979 een pompproef uitgevoerd.

In fig. 5 zijn de ligging van de pompput en van de peilputten

aangegeven. Het pompfilter was gesteld op een diepte van 1,5 tot 3,5 m en de waarnemingsfilters van 1 tot 2 m beneden maaiveld. Er is ruim 3 uur gepompt waarbij het debiet van 86 m³/dag in de beginfase afnam tot 73 m³/dag na 1 uur pompen en aan het eind van de pompbeurt 67 m³/dag bedroeg.

In fig. 6 zijn de tijd-potentiaalkrommen weergegeven, de hieruit geëxtrapoleerde waarden voor t=300 min. zijn in fig. 7 gegeven.

Voor de berekening van de kD-waarde is de Formule van Thiem gebruikt:

$$kD = \frac{Q}{2\pi (\phi_2 - \phi_1)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (1)$$

waarin: Q = debiet in m³/dag

r₁ = afstand tot pompput in m

r₂ = afstand tot pompput in m

φ₁ = potentiaal verlaging op afstand r₁ in m

φ₂ = potentiaal verlaging op afstand r₂ in m

kD = doorlatend vermogen in m²/dag

Wordt in fig. 7 een logarithmische periode beschouwd, dan kan (1) worden vereenvoudigd tot:

$$kD = \frac{2,3 Q}{2\pi \Delta h} \quad (2)$$

waarin: Δh : potentiaal verschil over de logarithmische periode in m

Uit fig. 7 volgt voor Δh : 0,15 m, verder is Q gesteld op 65 m³/dag op grond van een ingevoerde correctie als gevolg van een nog optredende daling van het freatisch vlak aan het einde van de pompbeurt.

Substitutie van de waarde in (2) geeft:

$$kD = \frac{2,3 \times 65}{2 \times 3,14 \times 0,15} = 159 \text{ m}^2/\text{dag}$$

Ter plaatse van de pompproef was de hoogte van het freatisch niveau 2,2 m + NAP. Wordt verondersteld dat de hydrologische basis hier op dezelfde diepte voorkomt als bij G 188, hetgeen globaal wordt bevestigd uit andere boorgegevens, dan wordt voor D 5 m gevonden en vervolgens voor $k : 32$ m/dag.

Uit het bovenstaande volgt dat de getaxeerde k -waarde 30% hoger is dan die uit de pompproef. De oorzaak hiervan kan enerzijds worden toegeschreven aan de verschillende methoden van bepaling en anderzijds door dat bij G 188 het materiaal iets grover is. Aangezien aan de uitkomst van de pompproef meer betrouwbaarheid kan worden toegekend is in het volgende een k -waarde van 32 m/dag aangehouden.

Ten aanzien van een eerste benadering van de c -waarde van de slecht doorlatende lagen in het afdekkend pakket onder ad. 4 is de hydrologische situatie vanaf het ontstaan van het gebied tot heden beschouwd. Het Zwanenwater is in de tweede helft van de achttiende eeuw ontstaan (LEENTVAAR; 1967). In die periode zal de stijghoogte van het grondwater in de eerste watervoerende laag weinig hebben afgeweken van gemiddeld zeeniveau, hetgeen toendertijd een verticaal drukverschil tussen de stijghoogte in de eerste en bovenste watervoerende laag van enige meters opleverde. Door de inpolderingen naderhand is de stijghoogte in de eerste watervoerende laag globaal 0,40 m verlaagd en is het verticaal drukverschil met dezelfde waarde toegenomen.

Het verticaal drukverschil bedraagt over het jaar 1978 voor G 188, G 191 en G 192 gemiddeld 2,53 m. Over de afgelopen tweehonderd jaar zal het verticaal drukverschil in grootte-orde 2,20 m zijn geweest. Uitgaande van dit drukverschil is nagegaan over welke diepte het zoete neerslagwater tengevolge van dit drukverschil naar beneden is geïnfiltreerd. In fig. 8 is het verloop van het CI-gehalte met de diepte weergegeven; er zijn twee extreme situaties onderscheiden. De diepte waarover zoet water is geïnfiltreerd varieert van 1 tot 8 m. Bij G 191 is het globaal 25 m en bij G 192 15 m.

Voor de berekening van de c -waarde is de volgende formule gebruikt:

$$c = \frac{3 \times t \times 365 \times \bar{\Delta h} \text{ (vert.)}}{Z} \quad (3)$$

waarin: c = verticale weestand in dagen
 t = tijd in jaren
 $\bar{\Delta h}$ (vert.) = gemiddeld drukverschil tussen stijghoogte in de
 bovenste en eerste watervoerende laag over t ja-
 ren in m
 Z = indringingsdiepte zoet water front in m.

Substitutie van $t = 200$; $\bar{\Delta h}$ (vert.) = 2,2 m en een gemiddelde
 waarde van 15 m voor Z geeft na uitwerken een c-waarde van $\approx 30\ 000$
 dagen.

III. WATERHUISHOUDKUNDIGE SITUATIE

Het peil van de in het Zwanenwater gelegen meren ligt globaal
 enige meters hoger dan de peilen van het aangrenzende open water.
 Daarnaast is er tevens een verticaal drukverschil aanwezig van de-
 zelfde grootte orde met de stijghoogte van het grondwater in de 1^e
 watervoerende laag. Als gevolg van deze situatie is een stromings-
 beeld ontstaan zoals in fig. 9 is afgebeeld. De grondwaterstroming
 kan worden opgesplitst in een horizontale in het bovenste watervoe-
 rend pakket en een vertikale naar de 1^e watervoerende laag, waarbij
 opgemerkt kan worden dat de intensiteit van de vertikale stroming te
 verwaarlozen is ten opzichte van de horizontale op grond van de in
 het voorgaande benaderde c-waarde.

Aangezien de laatste jaren geen oppervlakteafvoer meer plaats
 vindt is in het hydrologisch systeem een regulerend evenwicht ont-
 staan tussen neerslagoverschot en de afstroming door het watervoe-
 rend pakket. Hiermee wordt bedoeld dat bij een toename van het neer-
 slagoverschot in eerste instantie het peil van de meren en de grond-
 waterstanden stijgen met als gevolg een toename van de gradiënt en
 diensengevolge weer een toename van de afstroming. Dit proces duurt

voort totdat een nieuwe situatie is ontstaan waarin het neerslagoverschot gelijk is aan de afstroming. Het bovenstaande betekent dat bij een relatief hoog neerslagoverschot - winterperiode - de hoogste peilen en grondwaterstanden en daarmee samenhangend de hoogste afstroming voorkomen en dat bij een laag neerslagoverschot - zomerperiode - lage peilen en een lage afvoer behoren.

In fig. 10 is de fluctuatie van het peil van de twee meren voor het jaar 1978 weergegeven.

Voor berekening van het neerslagoverschot zijn neerslaggegevens gebruikt van Callantsoog, Petten en de Kooy en waarden voor Eo van het laatstgenoemde station; in tabel 1 zijn de gegevens weergegeven.

Tabel 1. Gegevens betreffende neerslag en verdamping (1978)

	Neerslag in mm			Verdamping in mm
	Callantsoog	Petten	De Kooy	De Kooy
jan.	77,0	61,6	69,9	9
febr.	42,0	26,3	33,4	13
maart	83,8	64,4	69,9	41
april	34,8	29,0	26,0	69
mei	22,2	24,5	19,7	97
juni	55,7	42,2	40,6	121
juli	45,0	41,0	53,5	108
aug.	32,6	29,6	46,5	95
sept.	72,8	66,1	70,7	74
okt.	67,9	34,6	51,9	33
nov.	61,5	46,1	47,8	28
dec.	98,8	96,0	86,1	3
Totaal	694,1	561,4	615,7	691

Als waarde voor de neerslag over 1978 is voor het Zwanenwater het gemiddelde genomen van de drie stations, te weten 624 mm. De aangegeven waarden voor Eo gelden als overdag gemiddelde, voor omrekening naar 24 uur gemiddelde dienen ze met een factor 0,9 te

worden vermenigvuldigd.

Voor bepaling van het neerslagoverschot zijn 4 gebieden onderscheiden, namelijk:

1. de hooggelegen duinen
2. een relatief vlak overgangsgebied tussen de meren en de duinen
3. een aan de meren grenzend gebied dat in de winterperiode 4 à 5 maanden onder water staat
4. de meren

Voor het onder ad. 1 genoemde gebied is voor het neerslagoverschot een gemiddelde waarde van 1,2 mm/dag genomen, gebaseerd op gegevens van het lysimeter waarnemingsstation te Castricum over de periode 1942 tot 1972. Bij het hier aangehaalde onderzoek is gebleken dat de nuttige neerslag 50% bedraagt van de neerslag; voor het jaar 1978 zou dit neerkomen op gemiddeld 0,9 mm/dag. De reden, dat voor het duingebied niet de waarde voor 1978 is gebruikt maar een gemiddelde waarde over een lange periode, is gelegen in het feit dat de hydrologie in de duinen mede wordt bepaald door de klimatologische omstandigheden in de voorafgaande jaren.

Voor het vlakke overgangsgebied is een reductie factor ingevoerd van 0,8, zodat voor de actuele verdamping een jaarlijkse waarde is berekend van $0,8 \times 0,9 \times 691 = 498$ mm. Het gemiddeld neerslagoverschot bedraagt 0,35 mm/dag.

Bij de berekening van het neerslagoverschot in de gebieden, die jaarlijks 4 à 5 maanden onder water staan, is voor de winterperiode voor de actuele verdamping 0,9 Eo genomen en voor de resterende periode van het jaar 0,72 Eo; als gemiddelde waarde voor het neerslagoverschot is zodoende 0,3 mm/dag gevonden.

Tenslotte is op grond van een actuele verdamping van $0,9 \times 691 = 622$ mm/jaar, het neerslagoverschot in 1978 van de meren praktisch nihil.

IV. HYDROLOGISCHE BEREKENINGEN

Uit het in fig. 9 weergegeven stromingsbeeld blijkt dat naast een horizontale stroming in het bovenste watervoerende pakket een naar het pleistocene zandpakket gerichte verticale stroming plaats vindt. Vanwege de hoge c-waarde van de slecht doorlatende lagen in het afdekkend pakket is de verticale stroming ten opzichte van de horizontale in eerste instantie buiten beschouwing gelaten. In een later op te zetten balansberekening zal moeten blijken of deze aanname is gerechtvaardigd.

De horizontale stroming vindt plaats tussen de gebieden met open water, dus in het algemeen tussen het Eerste en Tweede water en de Noordzee en de aangrenzende polders. Langs de rand van het gebied, waar een grondwaterstroming vanuit de bodem naar het oppervlaktewater voorkomt, treedt een radiale stroming op. Intern kan langs de rand van de twee meren eveneens een radiale stroming aanwezig zijn tengevolge van een drainage naar of wegzijging vanuit deze meren.

Het gebied, gelegen tussen de meren en de buitenbegrenzing is opgedeeld in een viertal stroken, fig. 11. Aan de hand van een voor een aantal raaien uitgevoerde berekeningen zal in het volgende een nadere uiteenzetting worden gegeven over de grondwaterstromingen in de bovenste watervoerende laag in het Zwanenwater.

i. Raai AA¹

In fig. 11 is raai AA¹ weergegeven, die loodrecht op de kustlijn loopt van de Noordzee over Zw2 naar het Eerste water. In fig. 12 is het gemiddelde zeeniveau, het peil van de meren en van de grondwaterstand bij Zw2 aangegeven. Tussen de peilen van open water en de grondwaterstand in Zw2 is door een onderbroken lijn een eerste benadering gegeven van het verloop van de grondwaterspiegel. In fig. 13 zijn gebieden onderscheiden waar een horizontale dan wel een radiale stroming kan optreden.

Gebaseerd op het verloop van de onderbroken lijn zijn kD-waarden ingevoerd op grond van een k van 32 m/dag en een D volgende uit de stijghoogte van het grondwater boven de slecht doorlatende laag. Voor de nuttige neerslag is een waarde gebruikt van 1,2 mm/dag, afgeleid

uit het verrichte onderzoek van het lysimeterstation bij Castricum.

Voor het construeren van het verloop van de grondwaterspiegel tussen x_0 en x_n is als volgt te werk gegaan.

Allereerst is nagegaan of tussen x_3 en x_n een waarde voor x_4 bestaat waarvoor de grondwaterstand gelijk is aan het peil van het Eerste water, vervolgens is tussen x_4 en x_n een waarde x_5 bepaald waar de hoogste grondwaterstand voorkomt. Bij x_5 kan dan worden gesproken van een waterscheiding (fig. 14a en b).

Voor de berekening van x_4 is gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$(h_x - h_{x_3}) = \frac{N (x_4 - x_3)^2}{2kD} \quad (4)$$

Substitutie van 2,29 m voor h_{x_n} ; 1,55 m voor h_{x_3} ; 0,0012 m/dag voor N en $151 \text{ m}^2/\text{dag}$ voor kD ; geeft na uitwerken voor $(x_4 - x_3)$: 432 m. Daar de afstand tussen x_3 en x_n 720 m bedraagt komt in werkelijkheid het punt x_4 voor.

Voor het verloop van de grondwaterspiegel tussen x_4 en x_n is het punt x_5 bepaald waar de hoogste grondwaterstand voorkomt.

Voor de grondwaterstroming tussen x_4 en x_n kan de volgende vergelijking worden opgesteld:

$$\frac{N (x_n - x_5)^2}{2kD} + W = \frac{N (x_5 - x_4)^2}{2kD} + N (x_5 - x_4) \frac{(x_4 - x_3)}{kD} \quad (5)$$

De term W in het linkerlid heeft betrekking op een radiale weerstand langs de rand van het meer. Uit grondwaterstandswaarnemingen elders in het gebied langs de rand van de meren volgt dat deze weerstand is te verwaarlozen.

Substitutie van de bekende waarden voor N , x_4 , x_n en kD geeft na uitwerken voor x_5 : 622 m.

Met (5) is nu het verloop van de grondwaterspiegel te berekenen tussen x_3 en x_n . In fig. 14a is het resultaat hiervan aangegeven.

Voor het traject $x_0 \rightarrow x_3$ is het verloop in een aantal intervallen berekend, zoals in het onderstaand voorbeeld duidelijk wordt voor

het traject $x_2 \rightarrow x_3$. Voor dit traject geldt:

$$N \left[(x_5 - x_3) + \frac{(x_3 - x_2)}{2} \right] = \bar{kD}_{x_2, x_3} \frac{(h_{x_3} - h_{x_2})}{x_3 - x_2} \quad (6)$$

waarin \bar{kD}_{x_2, x_3} de gemiddelde kD -waarde is voor het traject berekend uit de gemiddelde hoogte van de grondwaterspiegel ten opzichte van de slecht doorlatende laag en een k van 32 m/dag.

Uitvoering van een identieke berekening voor de trajecten $x_0 \rightarrow x_1$ en $x_1 \rightarrow x_2$ geeft nu het verloop van de grondwaterspiegel van $x_0 \rightarrow x_3$. In tabel 2 zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.

Tabel 2. Berekening van h_x in het traject $x_0 \rightarrow x_3$

traject	\bar{kD} (m^2/dg)		h_{x_3} (m)	
$x_2 \rightarrow x_3$: 30 m	134	$h_{x_3} - h_{x_2}$: 0,14 m	1,55	$h_{x_2} = 1,41$ m
$x_1 \rightarrow x_2$: 50 m	116	$h_{x_2} - h_{x_1}$: 0,28 m	1,55	$h_{x_1} = 1,13$ m
$x_0 \rightarrow x_1$: 50 m	98	$h_{x_1} - h_{x_0}$: 0,37 m	1,55	$h_{x_0} = 0,76$ m

In fig. 14a geeft de 2^e benadering het resultaat weer van de uitgevoerde berekeningen. Uit het berekende verloop van de grondwaterspiegel blijkt dat de gebruikte kD -waarden te laag zijn. Herhaling van de hierboven uitgevoerde berekeningen met kD -waarden, aangepast aan de 2^e benadering, geeft een 3^e benadering (fig. 14b). De verschillen tussen 2^e en 3^e benadering zijn gering, de waterscheiding verschuift enkele meters naar rechts en komt 5 cm lager te liggen.

Uit fig. 14a en b blijkt dat langs de kustlijn een aanzienlijke radiale weerstand aanwezig is. Voor Δh (vert.) volgt uit fig. 14b 0,94 m. Bij een q van 0,75 m^2/dag geeft substitutie in:

$$\Delta h \text{ (vert.)} = q \cdot w \quad (7)$$

voor de radiale weerstand $w = 1,2 \text{ dag } m^{-1}$.

2. Raai BB¹

In deze raai is de gemiddelde situatie weergegeven voor de strook KL. De afstand tussen de Noordzee en het Tweede water bedraagt gemiddeld 465 m. Vanaf de Noordzee komen hoge duinen voor met landinwaarts grenzend aan het meer een honderd meter breed relatief vlak laaggelegen gebied, fig. 15.

Voor de duinen is de overtollige neerslag weer gesteld op 1,2 mm/dag, terwijl voor het lage gedeelte 0,4 mm/dag is aangehouden (fig. 16), opgebouwd uit een neerslagoverschot van 0,35 mm en een bergingsverandering van 0,05 mm/dag. Ten aanzien van laatstgenoemde factor de volgende toelichting: de grondwaterstand in 1978 was aan het eind van het jaar 20 cm lager dan aan het begin, bij een bergingscoëfficiënt van 10% komt dit neer op een afvoer van 0,05 mm/dag.

Uit de verrichte berekeningen voor AA¹ kan al worden afgeleid dat in raai BB¹ geen waterscheiding voorkomt. Het neerslagoverschot stroomt in zijn geheel naar de Noordzee en kan worden berekend op 0,48 m²/dag. Deze afstroming geeft op de kustlijn een Δh (vert.) van $1,2 \times 0,48 = 0,58$ m. De afvoer van het neerslagoverschot geeft een potentiaal verschil van 0,73 m, berekend met (4) en (5).

Voor het potentiaal verschil, dat een afstroming vanuit het Tweede water naar de Noordzee tot gevolg heeft, resteert:
 $2,36 - (0,58 + 0,73) = 1,05$ m. Dit verschil moet worden opgedeeld naar verhouding van de radiale en horizontale weerstand. De radiale weerstand bedraagt 1,2 dag. m⁻¹ en de horizontale $\frac{465}{133} = 3,5$ dag. m⁻¹. Voor het horizontaal potentiaal verschil wordt 0,78 m gevonden. Een eerste berekening van de afstroming vanuit het meer levert het volgende resultaat:

$$q = 133 \times \frac{0,78}{465} = 0,22 \text{ m}^2/\text{dag}$$

In fig. 17 is een 2^e benadering van de grondwaterspiegel gegeven, berekend met de gevonden hydrologische constanten, aangezien het verschil met de 1^e benadering gering is, is geen 3^e berekening uitgevoerd.

3. Raai CC¹

De voor deze raai, fig. 18, uitgevoerde berekeningen komen grotendeels overeen met die van de voorgaande. De raai geeft een gemiddelde situatie weer voor de strook MN fig. 11. In het relatief vlakke gedeelte tussen de duinen langs de rand en het meer komt een hoge rug voor, de "Verloren dijk". Voor deze rug is het neerslagoverschot gesteld op 1,1 m/dag, fig. 19. Langs de oostgrens van het gebied is als randvoorwaarde 0,50 + NAP ingevoerd, gebaseerd op een beperkt aantal waarnemingen.

Uitgaande van de hydrologische constanten in fig. 19 is de afstroming vanuit het meer berekend op 0,1 m²/dag en de stroming op de rand op 0,67 m²/dag. Vervolgens is een 2^e benadering berekend voor het verloop van de grondwaterspiegel, gezien de geringe verschillen is een derde berekening achterwege gelaten.

Voor deze raai was de mogelijkheid aanwezig om de berekende lijn te toetsen aan gemeten grondwaterstanden in waarnemingsfilters. Uit fig. 20 blijkt een redelijke overeenstemming aanwezig, hetgeen een bevestiging inhoudt van de berekende waarden.

4. Raai DD¹

Deze raai geeft een gemiddeld beeld voor de strook MO. Voor de stroming vanuit het meer is een waarde berekend van 0,34 m²/dag en voor de stroming op de rand 0,68 m²/dag, fig. 21 tot en met 23.

Bij deze raai was eveneens de mogelijkheid aanwezig om de berekende grondwaterspiegel te vergelijken met gemeten grondwaterstanden. Uit fig. 23 blijkt de gemeten grondwaterstand bij Zw 6 lager te zijn dan de berekende en bij Zw 1 en G 188 hoger. Een verklaring hiervoor is dat DD¹ de gemiddelde toestand weergeeft, waarbij Zw 6 onder invloed van relatief lage polderpeilen in de aangrenzende Zijpe en Hazepolder een te lage grondwaterstand geeft en G 188 en Zw 1 vanwege hoge grondwaterstanden in de westelijk gelegen duinen een te hoge.

Met de voor de raaien berekende waarden voor de afstroming vanuit de meren of vanaf een ingevoerde grens, is voor het in deze figuur (11) aangegeven gebied de volgende waterbalans op te stellen:

$$Q = 10 \sum_{n=1}^m F_n (N_n + \Delta B_n) + R \quad (8)$$

waarin: Q : afstroming vanuit het beschouwde gebied in m^3/dag
 F_n : oppervlakte in ha van gebied n
 N_n : neerslagoverschot in gebied n in mm/dag
 ΔB_n : bergingsverandering in gebied n , uitgedrukt in mm/dag
 R : restterm in m^3/dag

$$Q = B_{K \rightarrow L} q_b + B_{N \rightarrow M} q_c + B_{M \rightarrow O} q_d \quad (9)$$

waarin: $B_{K \rightarrow L}$: lengte strook K naar L in m
 q_b : afvoer in raai BB^1 in m^2/dag

$$\begin{aligned}
 10 \sum_{n=1}^m F_n (N_n + \Delta B_n) &= 10 \{ (F_1 + F_5) (N_{1,5} + \Delta B_{1,5}) + (F_2 + F_4) \\
 &(N_{2,4} + \Delta B_{2,4}) + (F_3 + F_6 + F_7) (N_{3,6,7} + \Delta B_{3,6,7}) + (F_8 + F_9) \\
 &(N_{8,9} + \Delta B_{8,9}) \} \quad (10)
 \end{aligned}$$

Gebied $(F_1 + F_5)$: oppervlakte 20 ha; het neerslagoverschot bedraagt 0,3 mm/dag ; bergingsverandering 0,55 mm/dag ; in totaal 0,85 mm/dag ; hiervan is 0,4 mm/dag gebruikt in de stromingsformules voor raai CC^1 en DD^1 , zodat 0,45 mm/dag resteert voor de balansformule.

Gebied $(F_2 + F_4)$: oppervlakte 19 ha; neerslagoverschot 0,3 mm/dag ; bergingsverandering 0,55; in totaal 0,85 mm/dag .

Gebied $(F_3 + F_6 + F_7)$: oppervlakte 27 ha; neerslagoverschot en bergingsverandering 1,2 mm/dag .

Gebied $(F_8 + F_9)$: oppervlakte 57 ha; neerslagoverschot en bergingsverandering 0,55 mm/dag .

De lengte van de stroken $K \rightarrow L$; $N \rightarrow M$ en $M \rightarrow O$ is respectievelijk 1400, 2000 en 1500 m. Substitutie van deze waarden alsmede de andere bekende waarden in 8, 9 en 10 geeft:

$$\begin{aligned}
 1400 \times 0,22 + 2000 \times 0,1 + 1500 \times 0,34 &= 10 (20 \times 0,45 + 19 \times 0,85 + \\
 + 27 \times 1,2 + 57 \times 0,55) + R
 \end{aligned}$$

$$R = 129 \text{ m}^3/\text{dag}$$

In de restterm R manifesteren zich zowel de onjuiste benaderingen voor de hydrologische constanten in de uitgevoerde berekeningen als een geringe aanwezige verticale stroming naar het pleistocene zandpakket.

Op grond van de hoge c-waarde zal de verticale wegzijging $< 0,1$ mm/dag zijn. Dit betekent een negatieve post in de waterbalans van 129 tot $232 \text{ m}^3/\text{dag}$ voor een oppervlakte van 103 ha. De oorzaak kan zijn een te laaggenomen neerslagoverschot in de berekeningen of een te hoge kD-waarde in de afstromingsformule. Het laatste heeft tot gevolg dat een kleiner gebied afwatert op de meren. De afwijking kan dus worden verklaard door een te laag genomen neerslagoverschot en of een te klein gebied waaruit voeding van de meren optreedt.

Het totaalbeeld zal echter weinig veranderen, de meren worden gevoed met het neerslagoverschot van de meren zelf en de nuttige neerslag van het Bokkeneiland, een gedeelte van het Hazeneiland, de hoge rug die vanuit de westelijke duinen uitwigt tussen het Eerste en Tweede water en een smalle strook ten westen van het Eerste water. De afvoer van het neerslagoverschot in het gebied tussen de meren en de rand van het gebied doet de gradiënt tussen de meren en de buitenpeilen afnemen en stagneert hierdoor de afstroming vanuit de meren. Bij de in het noordwesten gelegen duinen is deze invloed zo groot, dat hier geen afstroming meer plaats vindt, maar een zekere toestroming.

Verlaging van de peilen in de aangrenzende polders zal een toename van de afstroming tot gevolg hebben; het handhaven van een hoog watersloot langs de grens van het gebied zal dit effect verminderen of zelfs de bestaande afstroming verminderen.

Voor de verticale weerstand van het afdekkend pakket volgt zowel uit de eerste benadering volgens (3) als uit de balansberekening een waarde van 20 000 tot 30 000 dagen. Uit fig. 4 blijkt dat deze weerstand kan worden toegeschreven aan klei- en veenlagen in het Holoceen en een kleilaag in de Formatie van Twente. De verhouding van het vertikaal drukverschil tussen het diepste en middelste filter bij G 188 en tussen het middelste en ondiepste bedraagt 1:7. De verticale

weerstand van de slechtdoorlatende lagen en wel voornamelijk van het basisveen kan worden berekend op = 20 000 dagen.

Uit het verrichte onderzoek van de Rijks Geologische Dienst naar de samenstelling en verbreiding van het holocene afdekkpakket (DE MULDER, 1979) blijkt dat het basisveen dat over een groot gedeelte van het gebied wordt aangetroffen en voornamelijk verantwoordelijk is voor de hoge c-waarde. Dit gegeven kan worden gebruikt bij de interpretatie van op boven genoemd onderzoek betrekking hebbende kaart voor andere gebieden in Noord-Holland.

V. KWALITEIT VAN HET OPPERVLAKTEWATER

Naar de kwaliteit van het oppervlaktewater in het Zwanenwater is reeds onderzoek verricht naar de hydrobiologische en chemische parameters (LEENVAART; 1967). Het water in de meren is tegenwoordig veelal troebel en geelgroen gekleurd door algenontwikkeling. Dit is niet altijd zo geweest; volgens waarnemingen in het begin van deze eeuw was het water toen helder. Als mogelijke oorzaak voor de afname van de kwaliteit wordt guantrotrofie genoemd.

Nu globaal de begrenzing van het gebied, dat afwatert op de meren bekend is, kan door het opstellen van mineralenbalansen voor dit gebied een beter inzicht worden verkregen in het ontstaan van de kwaliteit. In deze nota zal het onderzoek worden beperkt tot het opstellen van een chloridebalans. De hiervoor gebruikte vergelijking is:

$$A \times A_{CL} = F \times (R + S) CL + T (CL) - G(CL) \quad (11)$$

- waarin: A = ondergrondse afstroming vanuit het beschouwde gebied in m³/dag
- A_{CL} = gemiddeld chloridegehalte van het oppervlaktewater in mgr./l.
- F = oppervlakte beschouwd gebied in ha.
- (R + S) CL = chloridebelasting door neerslag en sea-spray in kg. ha⁻¹ dag⁻¹
- T (CL) = ondergrondse toestroming naar het beschouwde gebied in kg.dag⁻¹

$G (CL) =$ afvoer chloride door afmaaien riet, etc. in $kg. dag^{-1}$.

De ondergrondse afstroming A bedraagt $1018 m^3/dag$, A_{CL} is gesteld op $150 mgr./l.$; $F = 103 ha$; $(R + S) CL = 0,5 kg. ha^{-1} dag^{-1}$ (PWS Noord-Holland; 1977).

Substitutie van de bekende waarde in (11) geeft:

$$T (CL) - G (CL) = 101 kg Cl^{-1} dag^{-1}$$

De uitspoeling van het aan de meren grenzend gebied dat hierop afwatert bedraagt op zijn minst ruim $100 kg$ chloride per dag ofwel $37 ton$ per jaar.

VI. SAMENVATTING

In het natuurreserveaat "Het Zwanenwater" is een geohydrologisch onderzoek uitgevoerd, dat was gericht op een analyse van de grondwaterstroming in het afdekkend pakket en bepaling van de hydrologische bodemconstanten zoals kD -waarde van de bovenste watervoerende laag en c -waarde van de slechtdoorlatende lagen in het afdekkend pakket.

Voor de kD -waarde is uit een pompproef $160 m^2/dag$ berekend; aan de hand van de korrelgrootteverdeling is een waarde van ruim $200 m^2/dag$ getaxeerd. Aangezien de verkregen waarden betrekking hebben op verschillende locaties is geen duidelijke uitspraak omtrent de nauwkeurigheid van laatstgenoemde methode mogelijk.

Met een gemiddelde k -waarde van $32 m/dag$, grondwaterstands- en klimatologische gegevens zijn berekeningen uitgevoerd, die niet alleen als resultaat hebben opgeleverd hoeveel water uit het gebied afstroomt maar tevens een gebied rondom het Eerste en Tweede water hebben aangegeven, dat afwatert op deze twee meren.

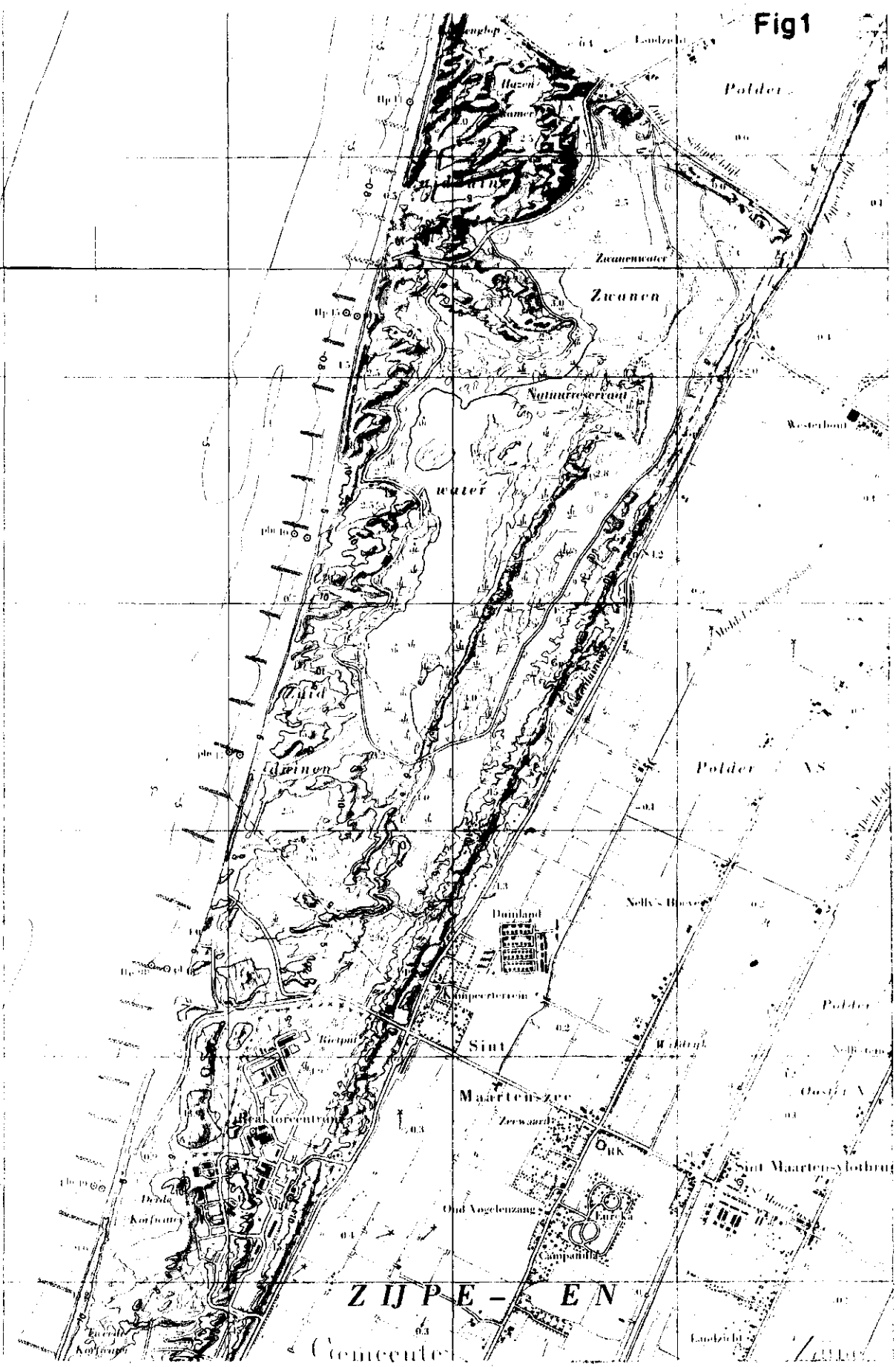
Er is een hoge c -waarde van $20\ 000$ tot $30\ 000$ dagen berekend voor de slecht doorlatende lagen in het afdekkend pakket, naar alle waarschijnlijkheid kan deze waarde grotendeels worden toegeschreven aan het basisveen in het Holoceen.

Voor een in het centrum van het natuurreservaat beschouwd gebied is een chloridebalans opgesteld waaruit blijkt dat door uitspoeling een aanzienlijke hoeveelheid chloride naar de twee meren stroomt.

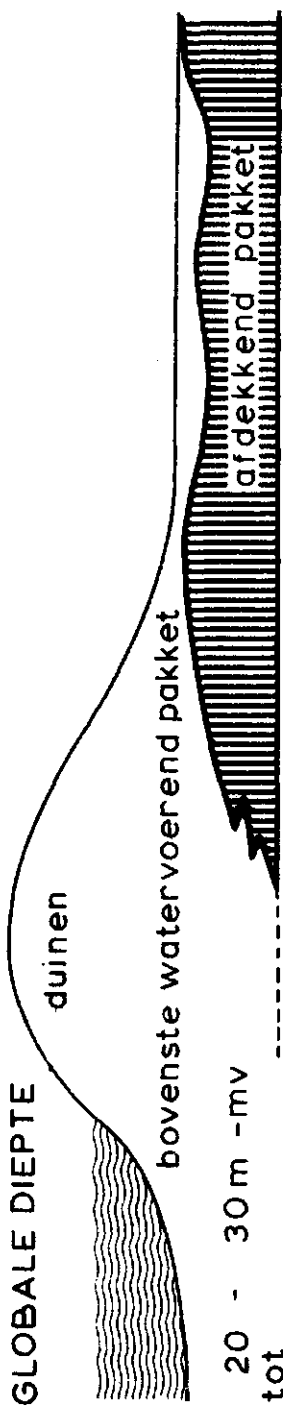
VII. LITERATUUR

- LEENTVAAR, P., 1967. Duinmeren II: Zwanenwater, MUY, Oerd en van Hunenplak. Rivon-mededeling nr. 261
- MULDER, de E.F.J., 1979. Samenstelling en verbreiding holocene afdek-pakket in Noord-Holland. Rapport RGD 5302
- PROVINCIALE WATERSTAAT VAN NOORD-HOLLAND, 1977. Inmissieonderzoek met behulp van regenvangers: opzet, ervaringen en resultaten
- PROVINCIAAL WATERLEIDINGBEDRIJF VAN NOORD-HOLLAND, 1972. Het lysimeter waarnemingsstation te Castricum
- POMPER, A.B., 1979. De geologisch en geohydrologische opbouw van Noord-Holland benoorden het Noordzeekanaal. ICW nota 1135
- WIT, K.E., 1976. Consequenties van het bemalingsplan Onbemalen Landen ten aanzien van de kwel, chloridegehalte van het polderwater en de natuurterreinen. ICW nota 919

Fig 1

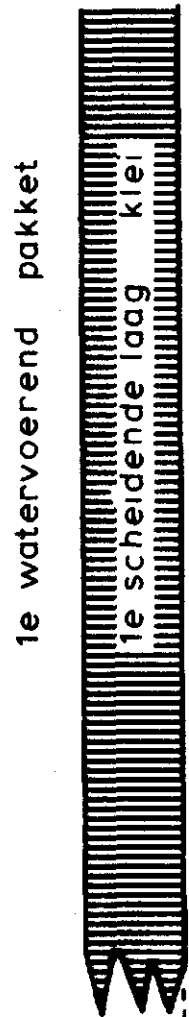


GLOBALE DIEPTE



20 - 30 m -mv
tot

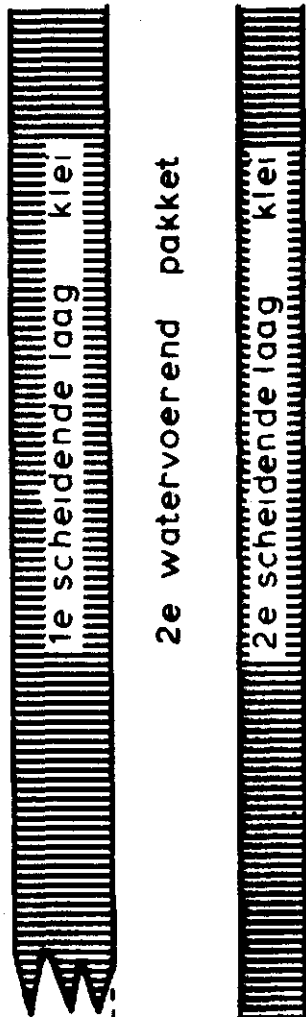
20 - 40 m -mv



1e watervoerend pakket

40 - 50 m -mv
tot

90 - 130 m -mv



1e scheidende laag klei

2e watervoerend pakket



2e scheidende laag klei

100 - 130 m -mv
tot

240 - 300 m -mv



3e watervoerend pakket



slecht doorlatende basis

hydrologische basis

300 - 400 m -mv

**GEOLOGISCHE
FORMATIES**

overwegend Holoceen

Eemien / Formatie van
Kreftenheije

Eemien / Formatie van
Drente

Formaties van Drente,
Urk en Enschede / Sterksel

Formaties van Enschede
en bovenzijde Harderwijk

Formatie van Harderwijk

„Klei van Tegelen“ en
Formatie van Maassluis
(Marien Icenien)

Formatie van Oosterhout
(Pliocene)

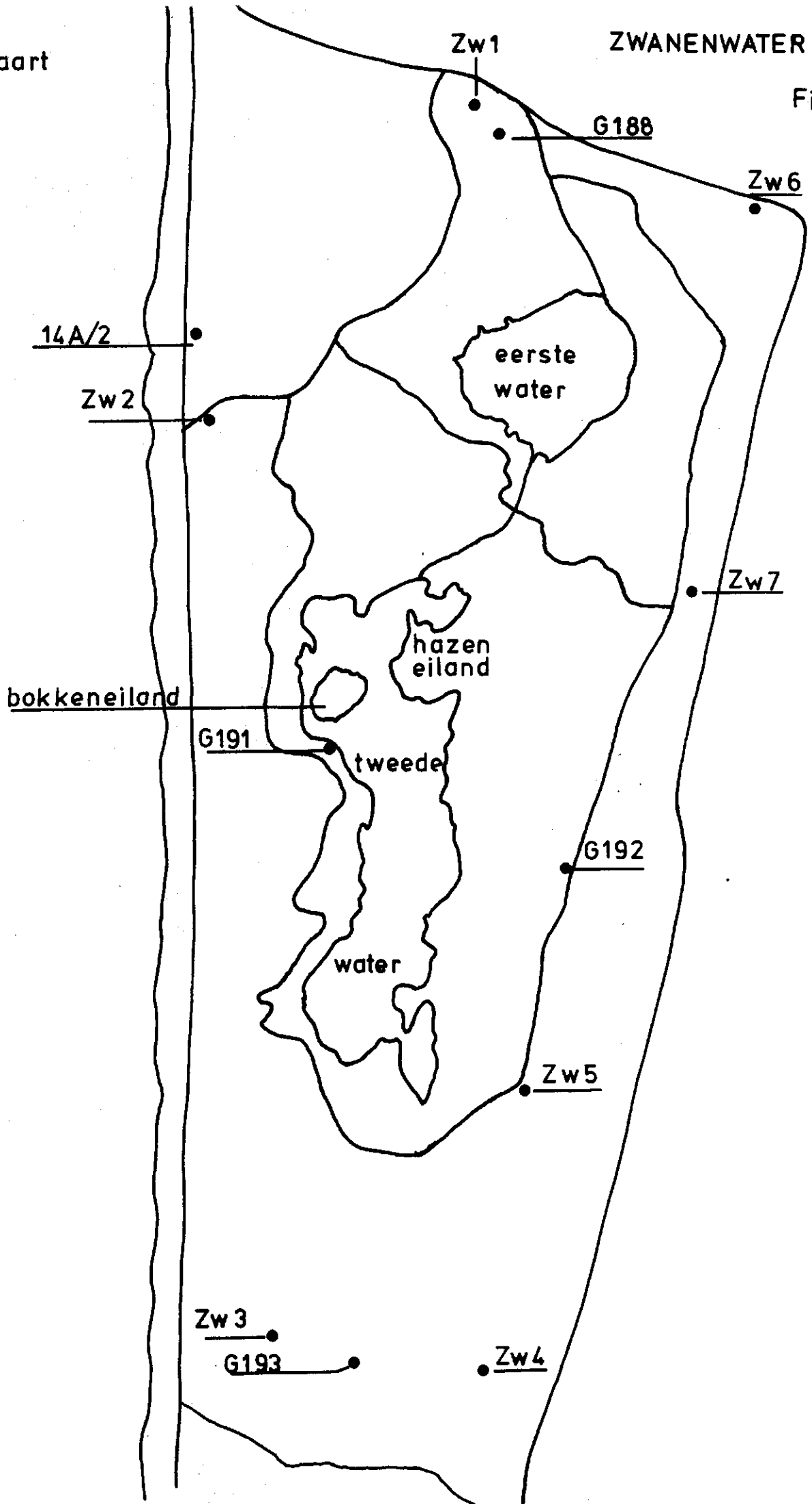
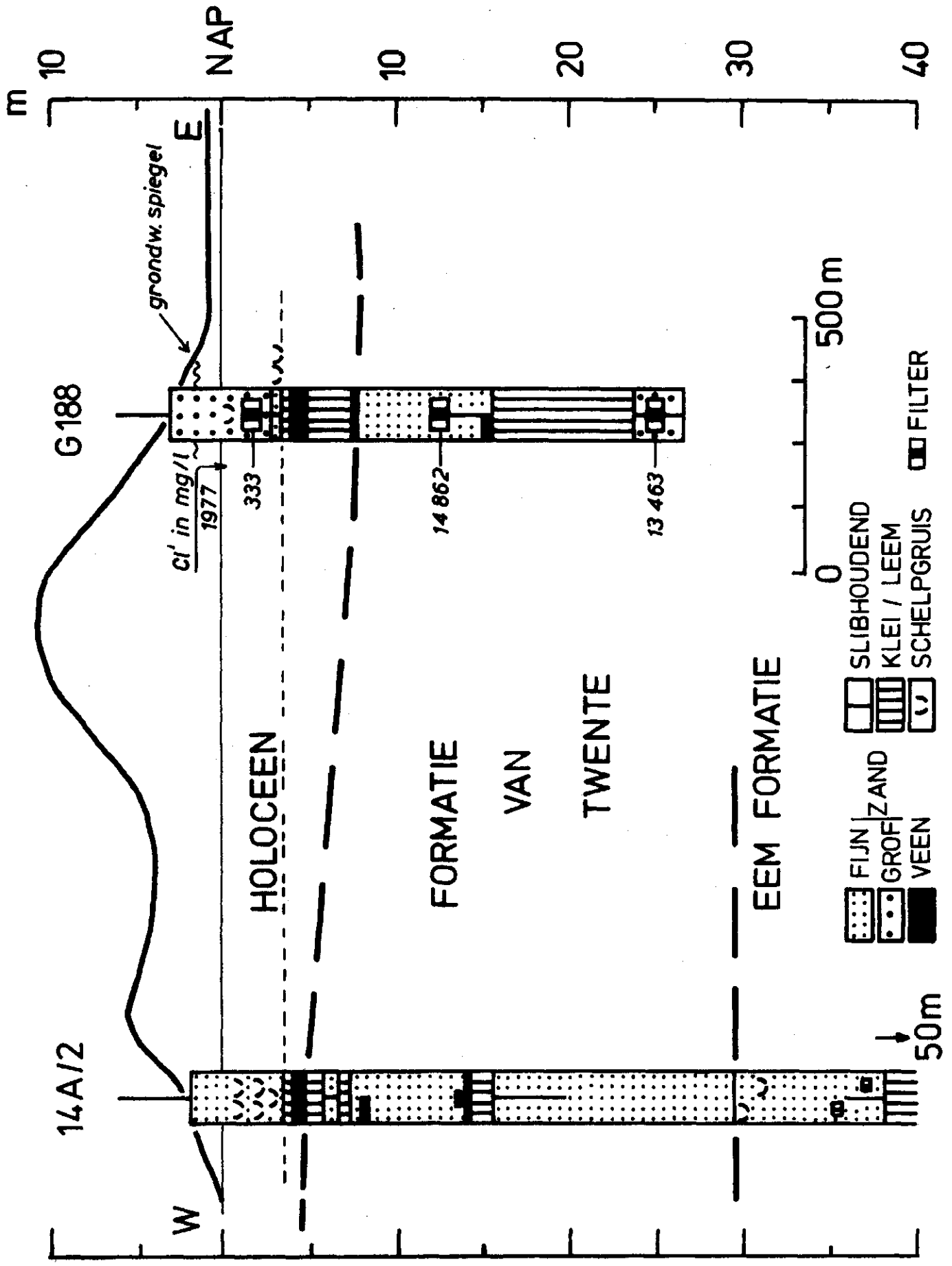
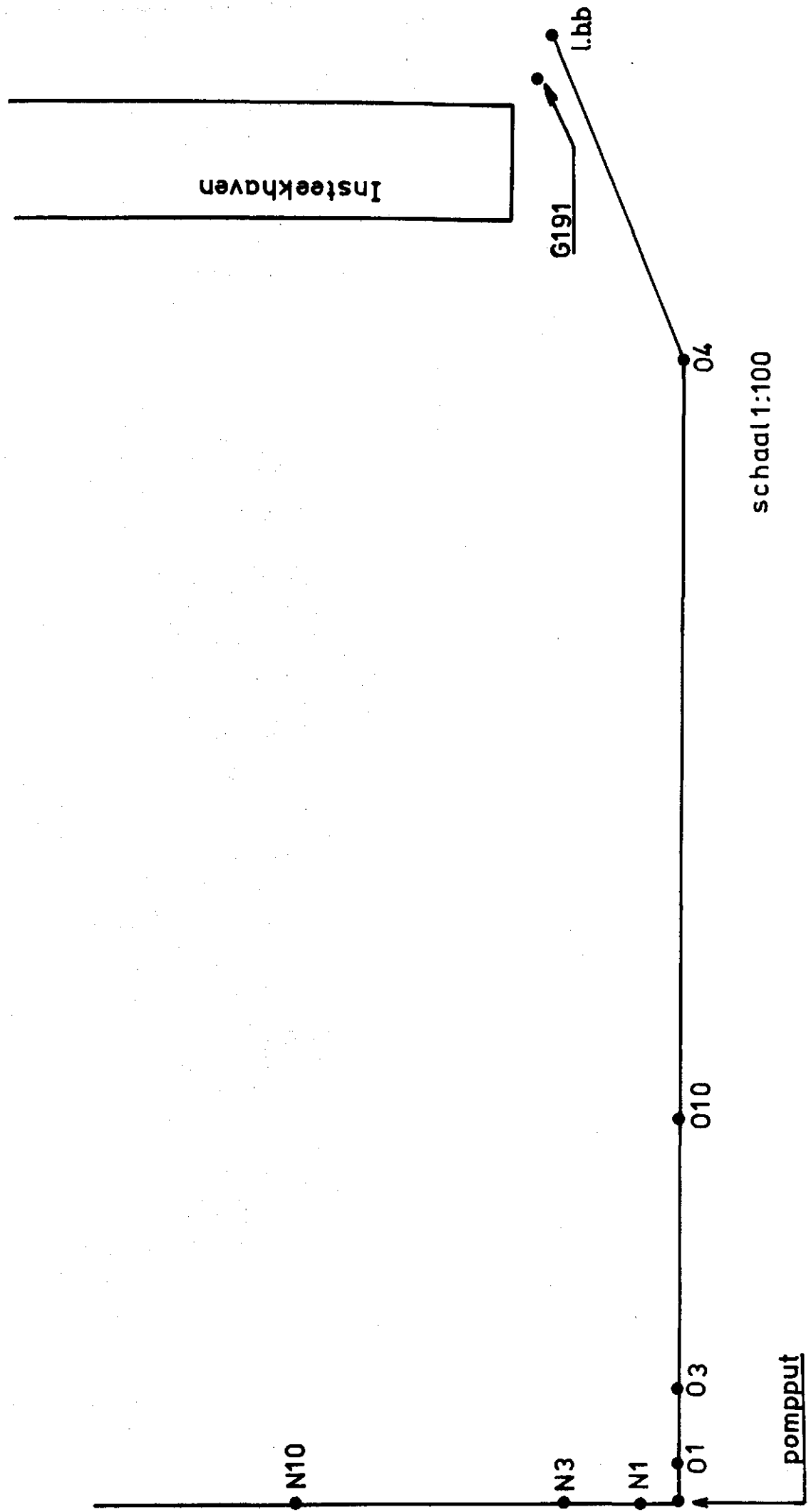


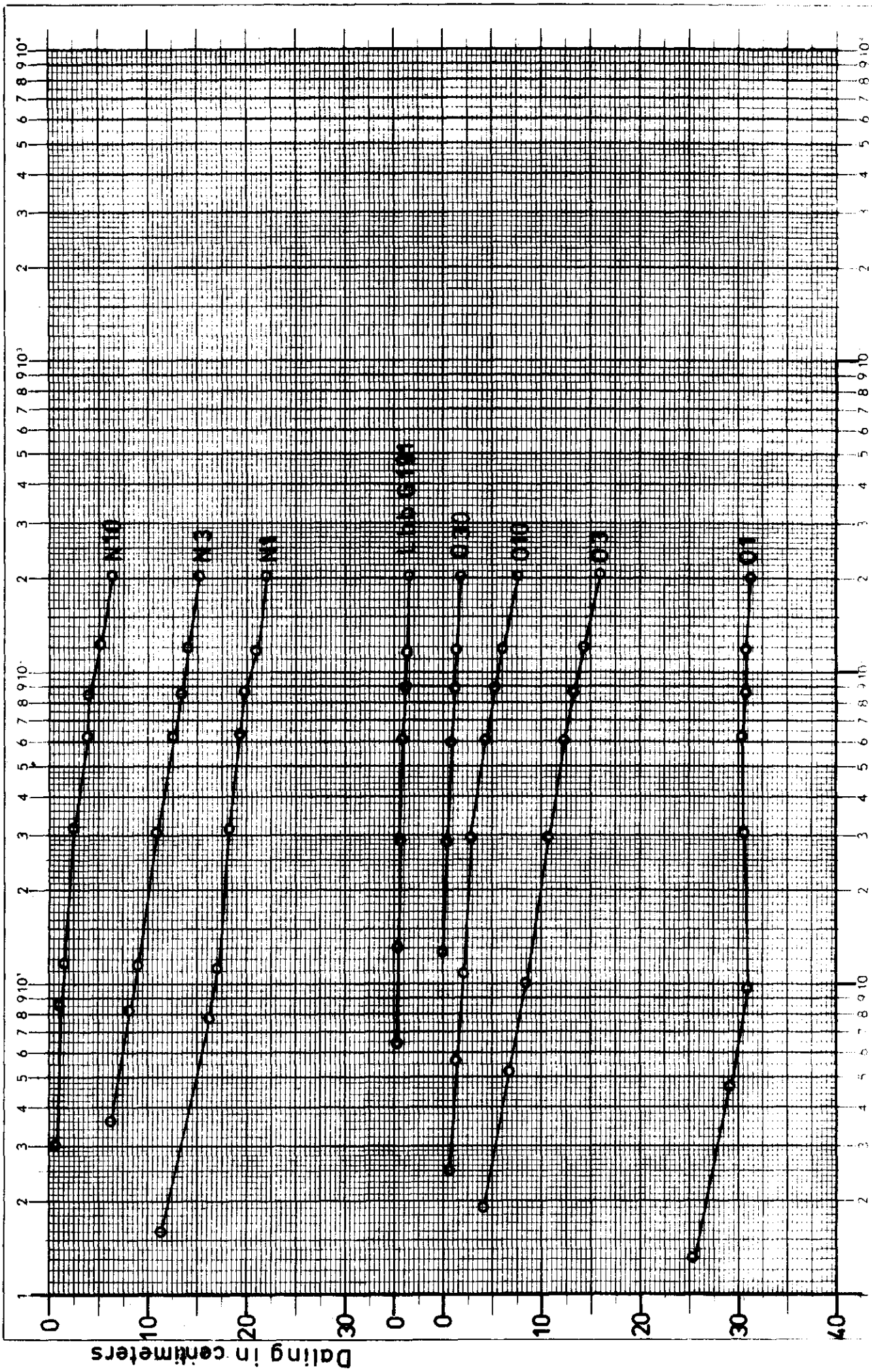
fig.4



Situatieschets pompproef

Fig 5





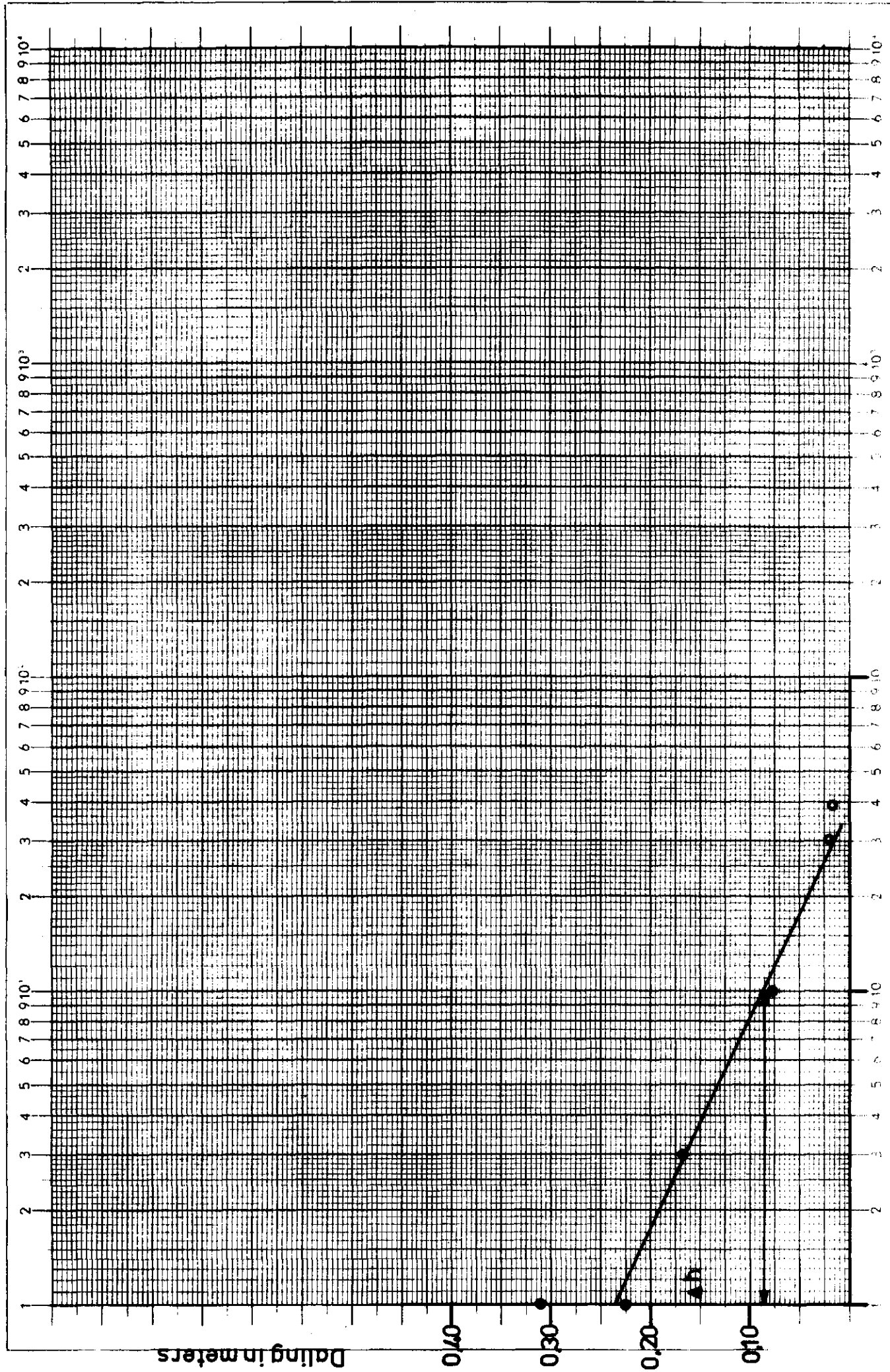
X as 1000^{de} Eenheid 625 mm (as verdeeld in mo

100^{de}

10

N.V. Drukkerij Mercurius Wormerveer

Tijd (minuten)



N.V. Drukkerij „Mercurius“ Wormerveer

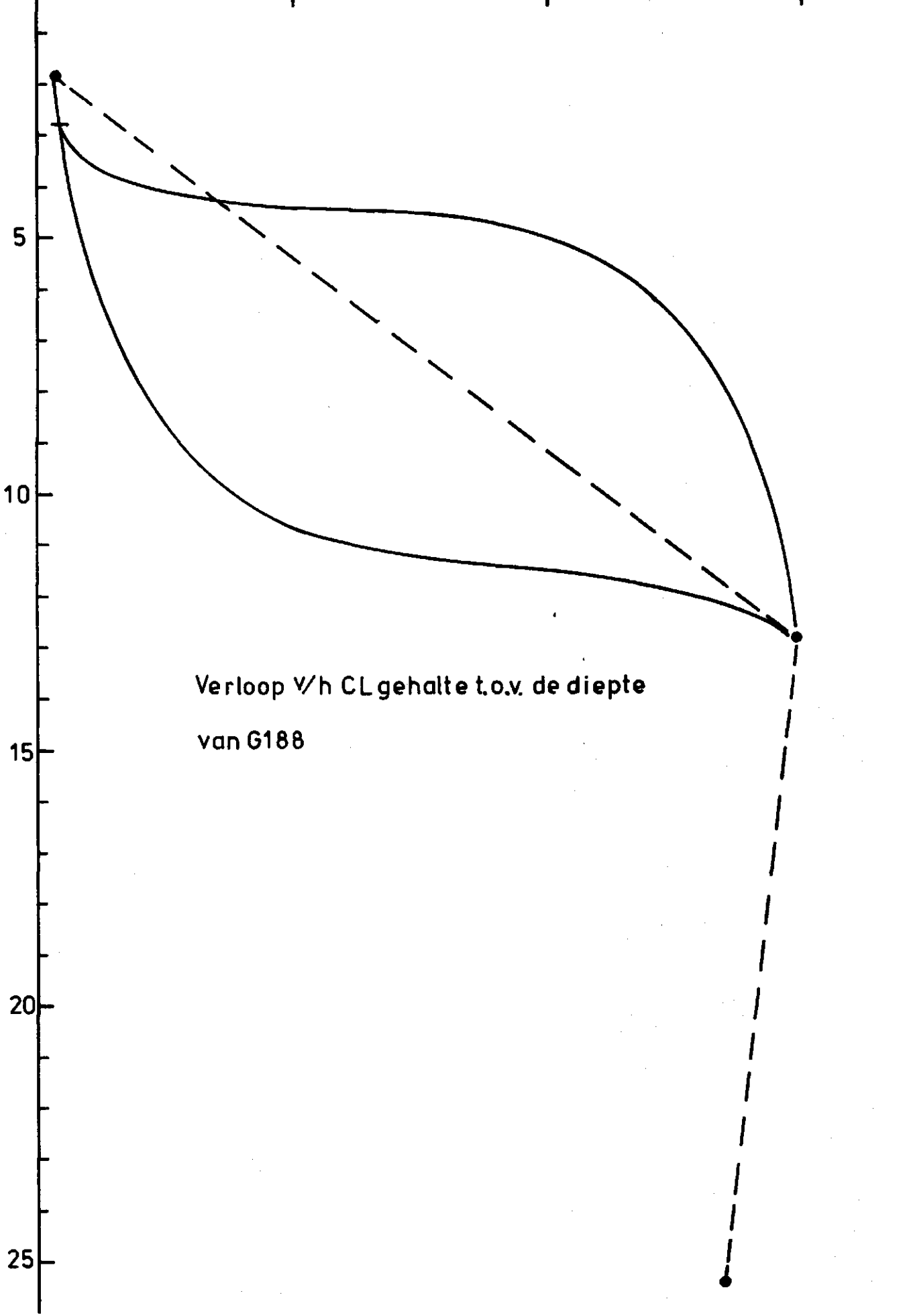
10

100

X-as log. verdeeld 1:10³ Eenheid 62,5 mm Y-as verdeeld in mm.

Afstand tot pompput in meters

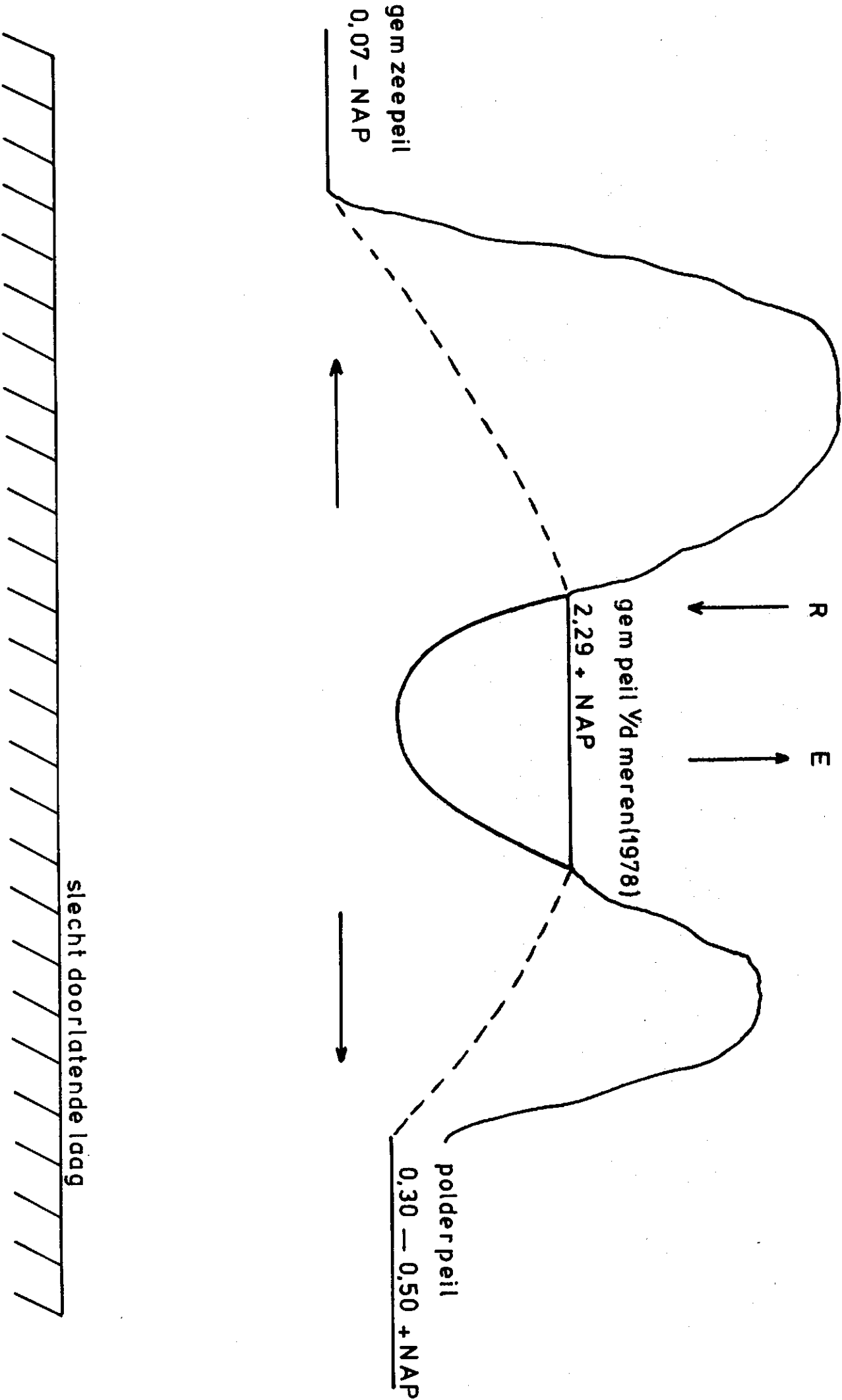
0 5 10 15 grCl/L



Verloop v/h CLgehalte t.o.v. de diepte
van G188

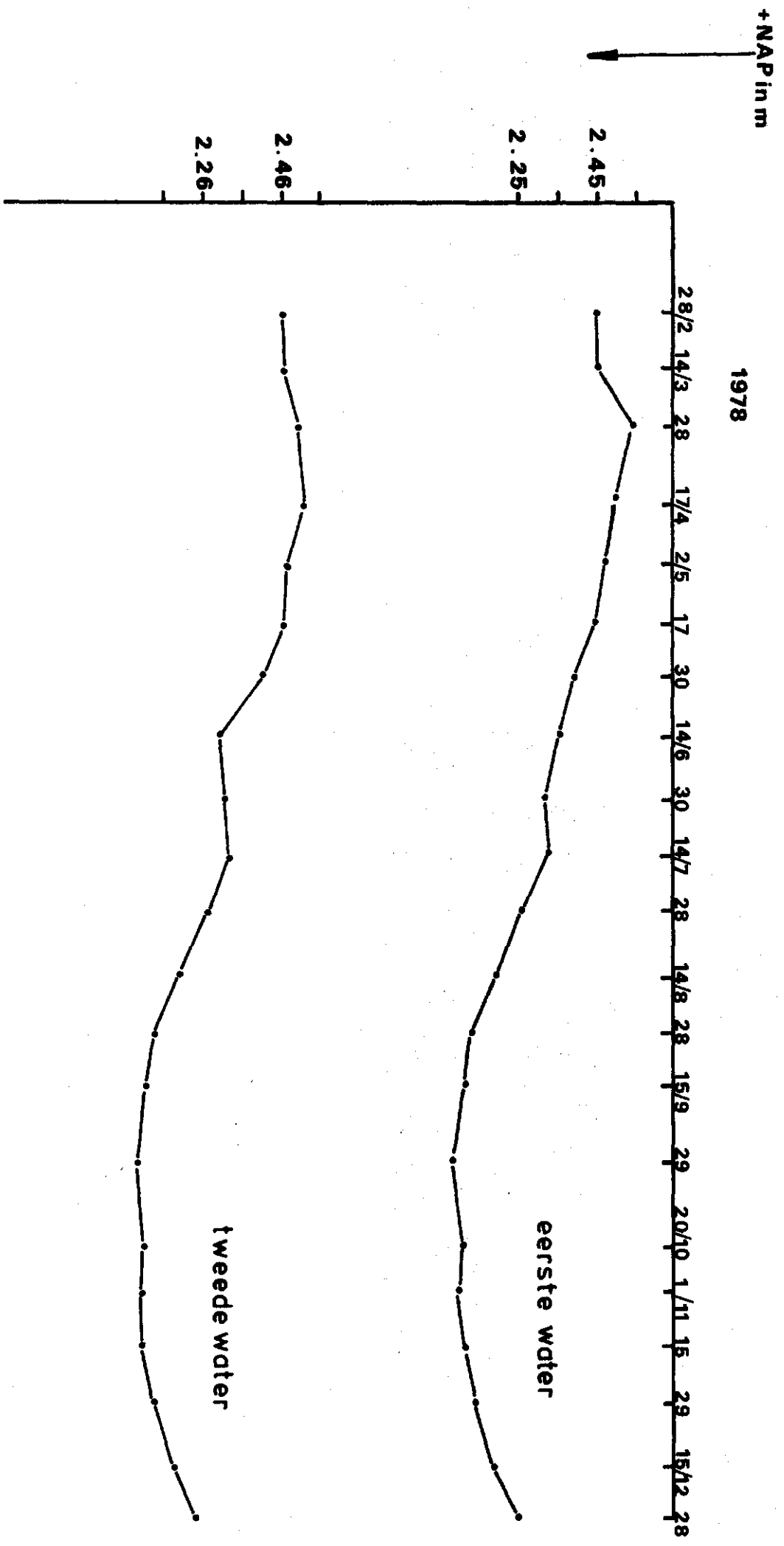
Stromingsbeeld

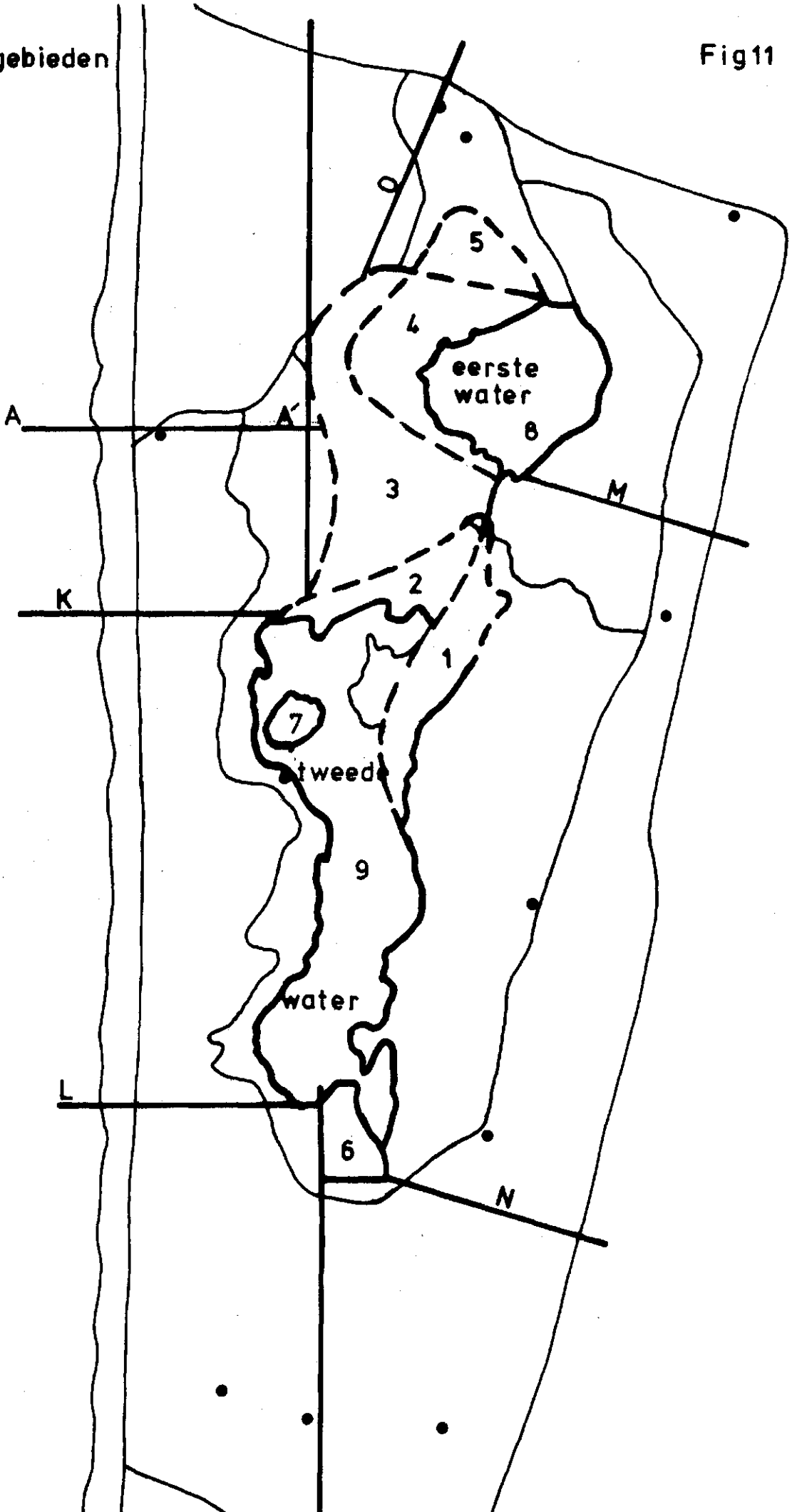
Fig9



Waterstand van de meren

Fig 10

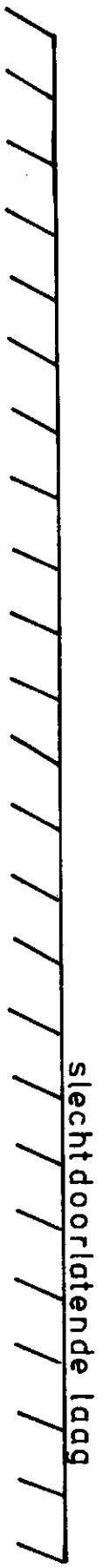
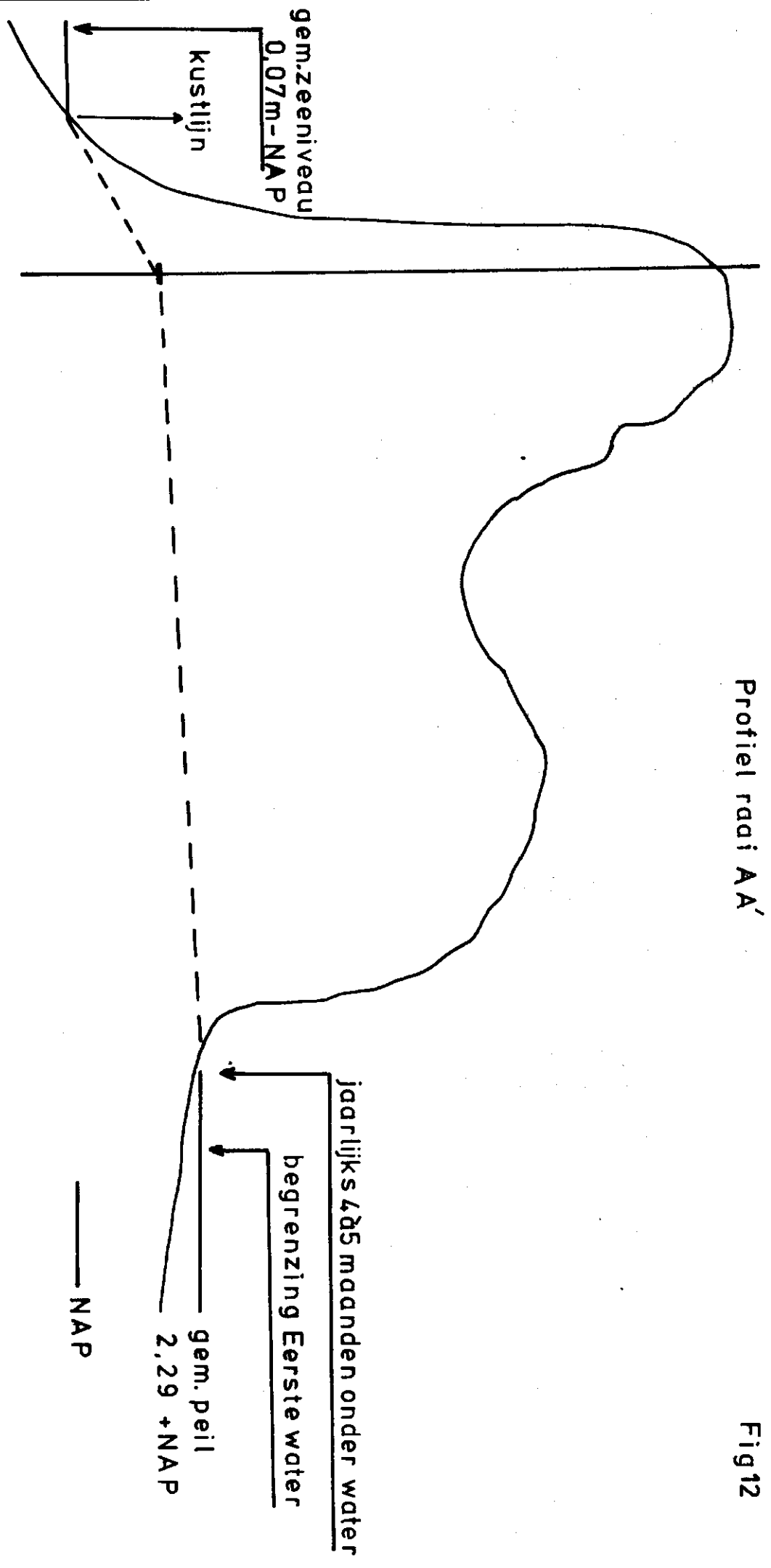




ZW2

Profiel raai AA'

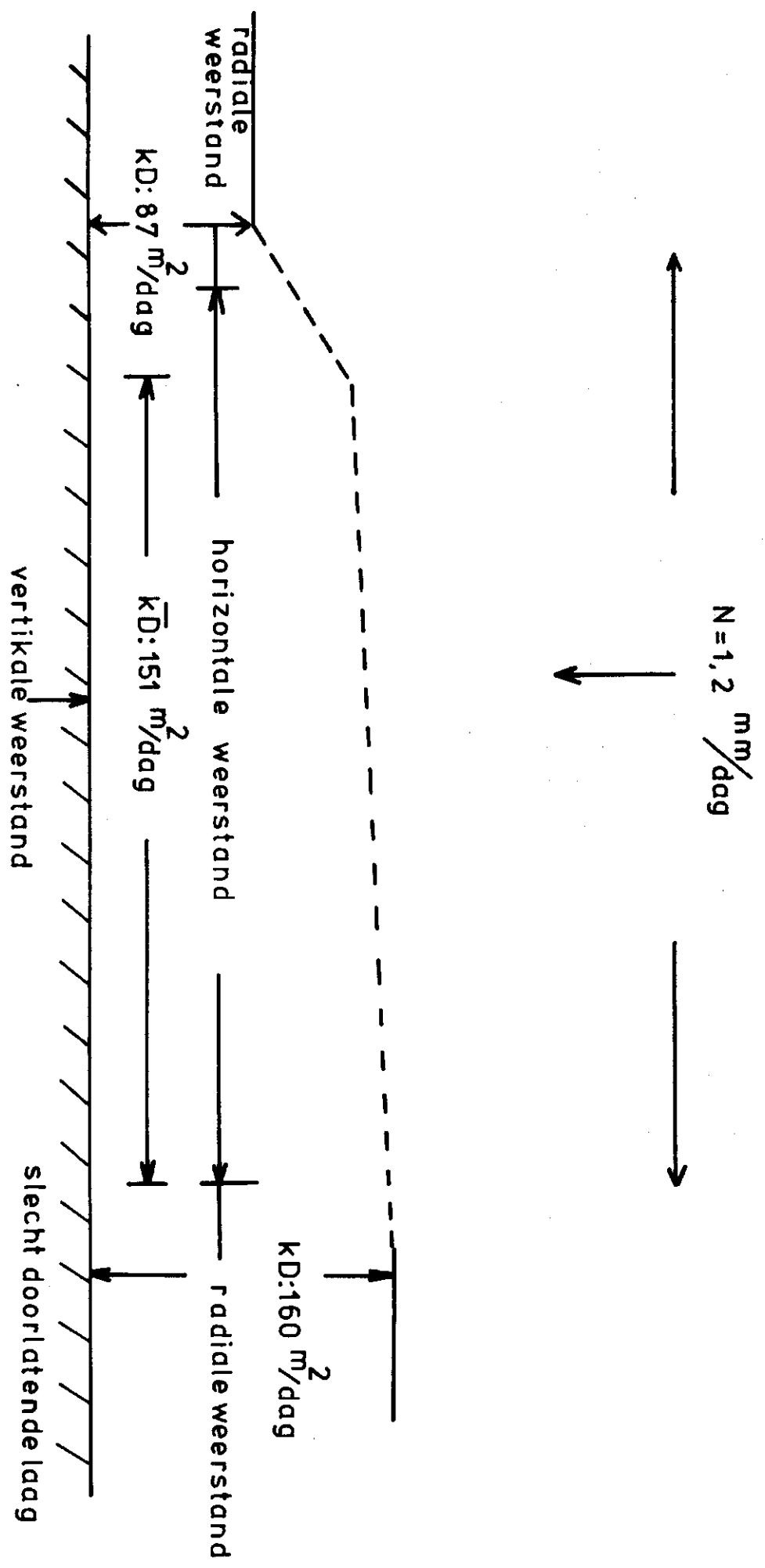
Fig12

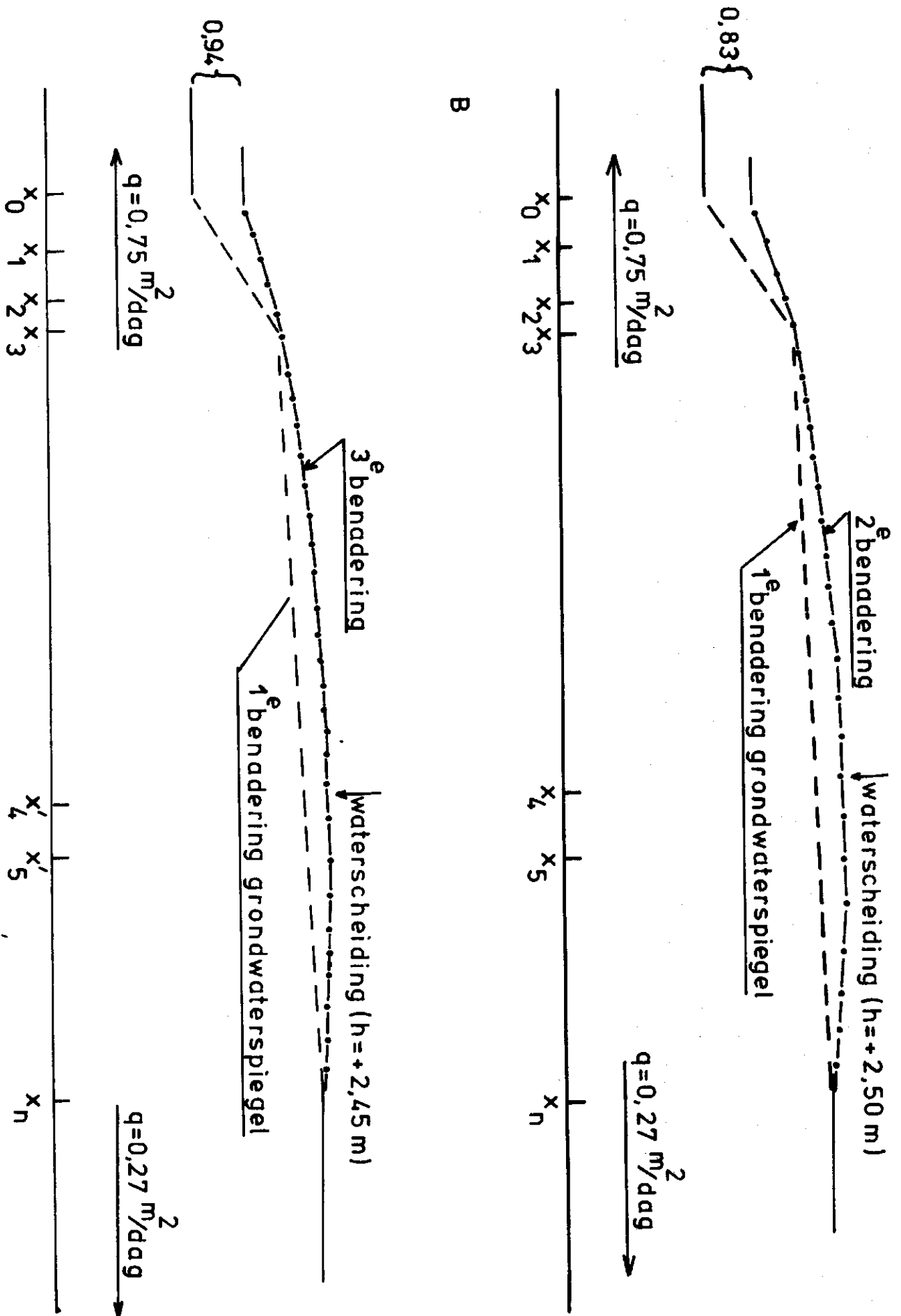


slecht doorlatende laag

horizontale schaal 1:5000

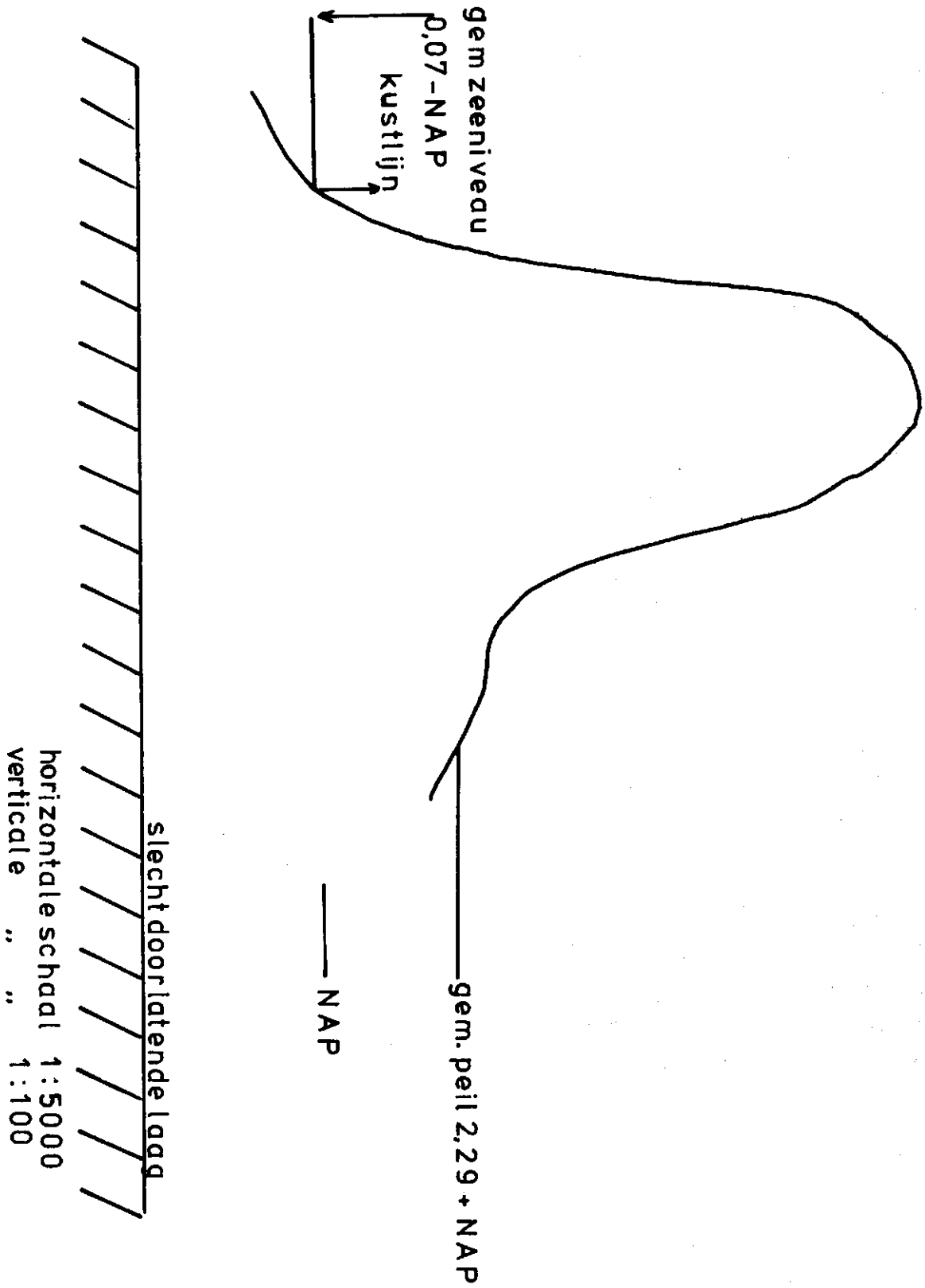
vertikale " " 1:100

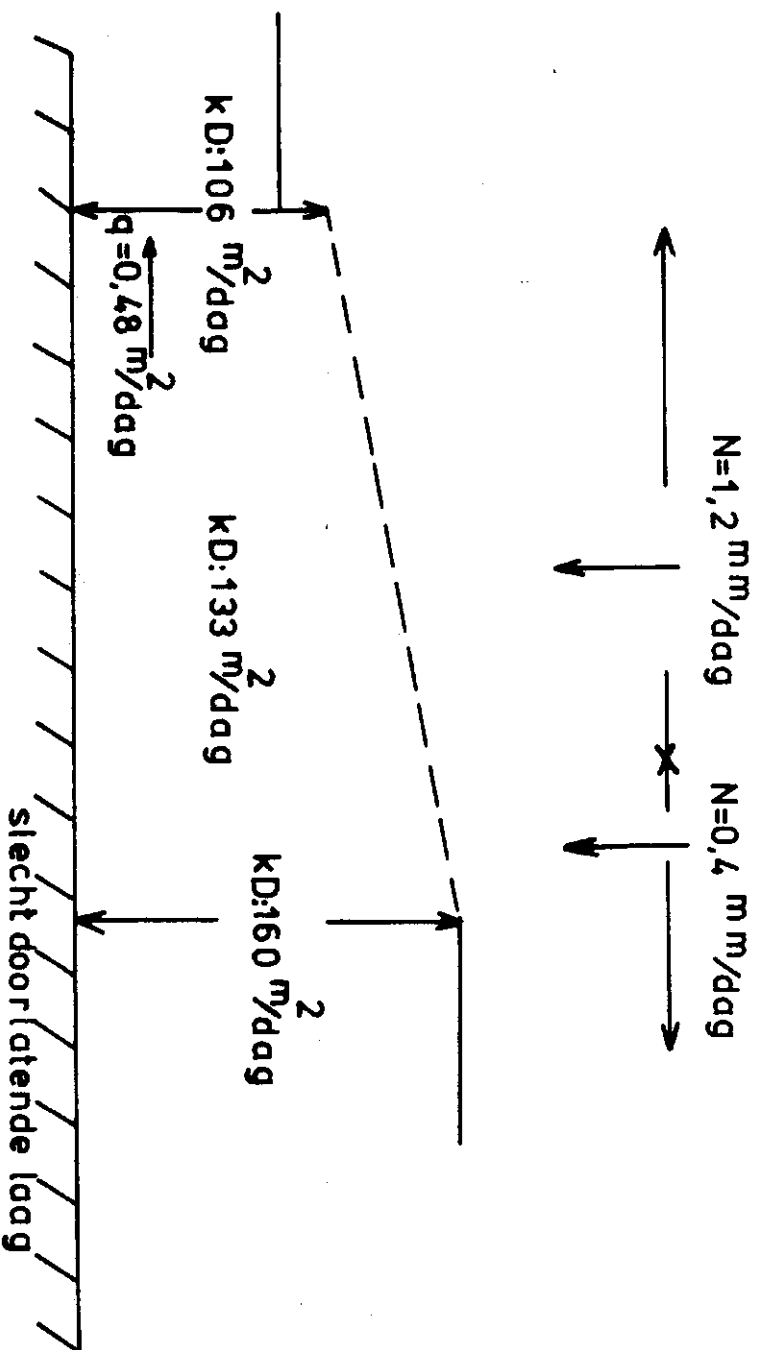




Gemiddeld profiel raii BB'

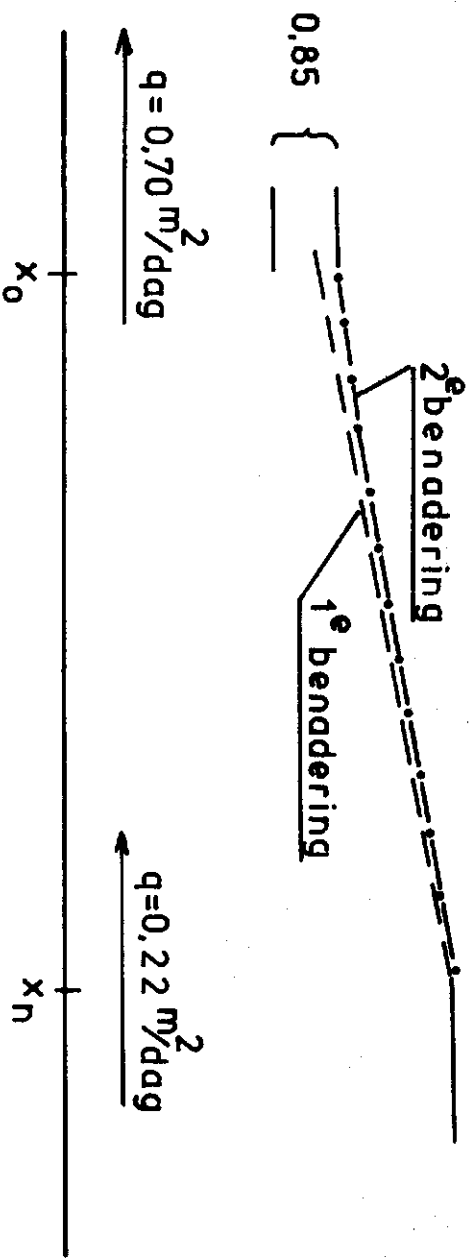
Fig 15





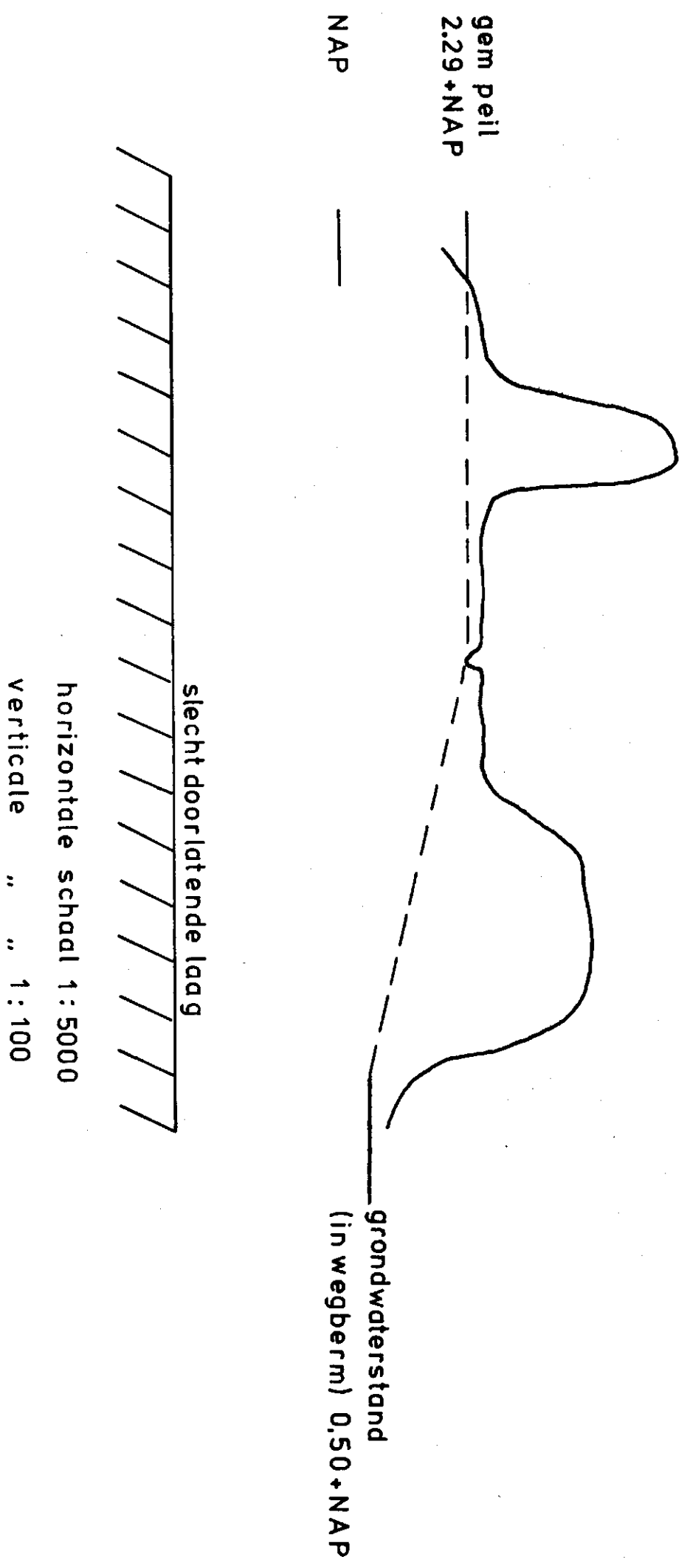
Het verloop $\frac{1}{d}$ grondwaterspiegel in raai BB'

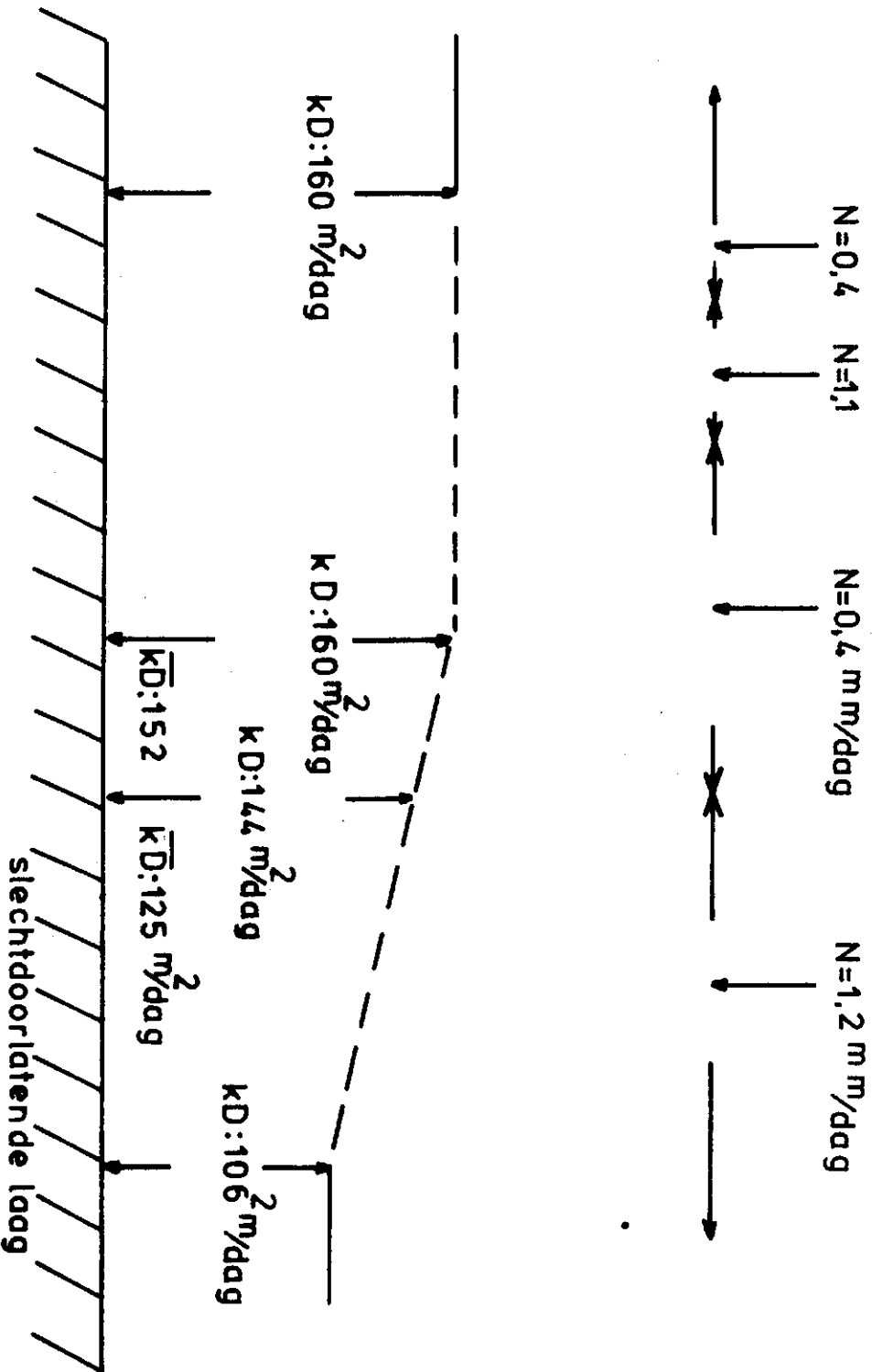
Fig 17



Gemiddeld profiel raai C C'

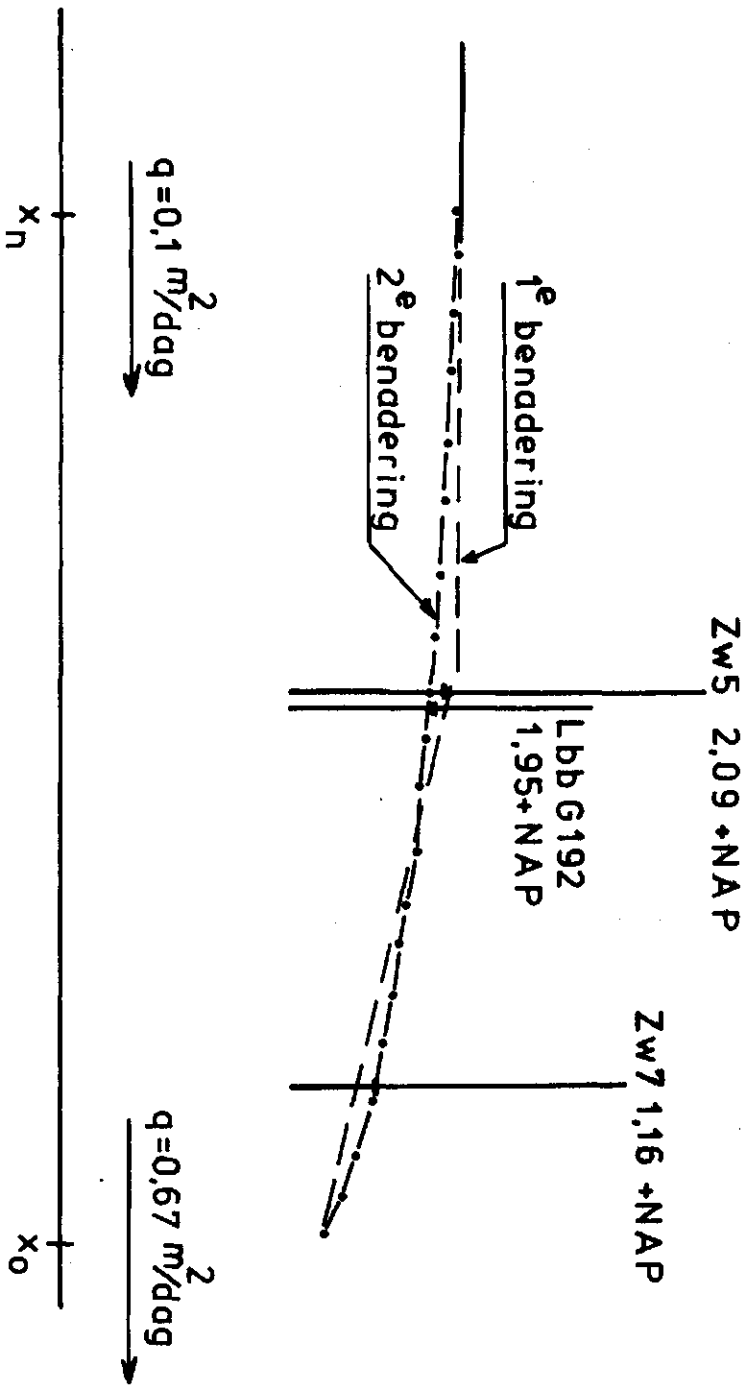
Fig 18

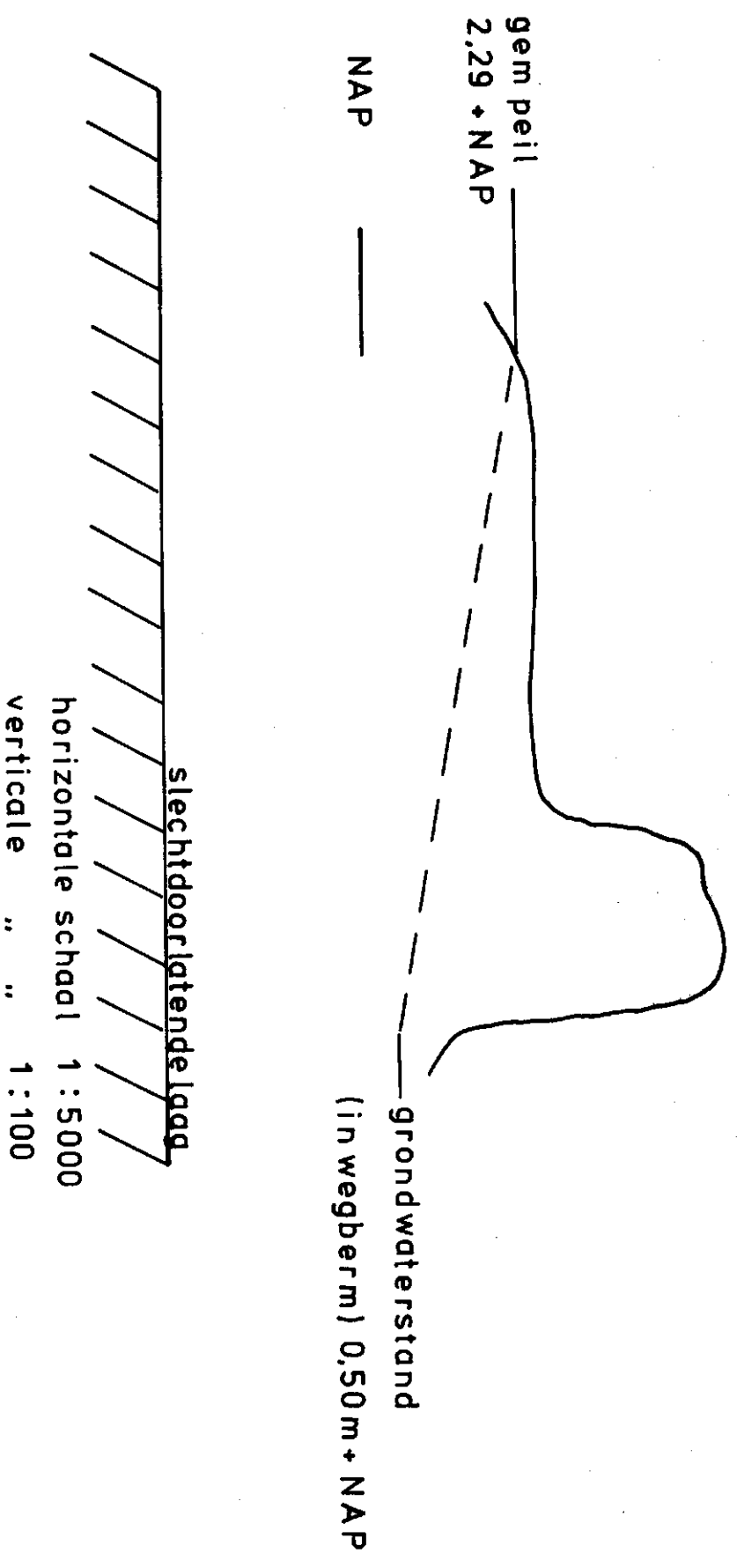




Het verloop v/d grondwaterspiegel in radi CC'

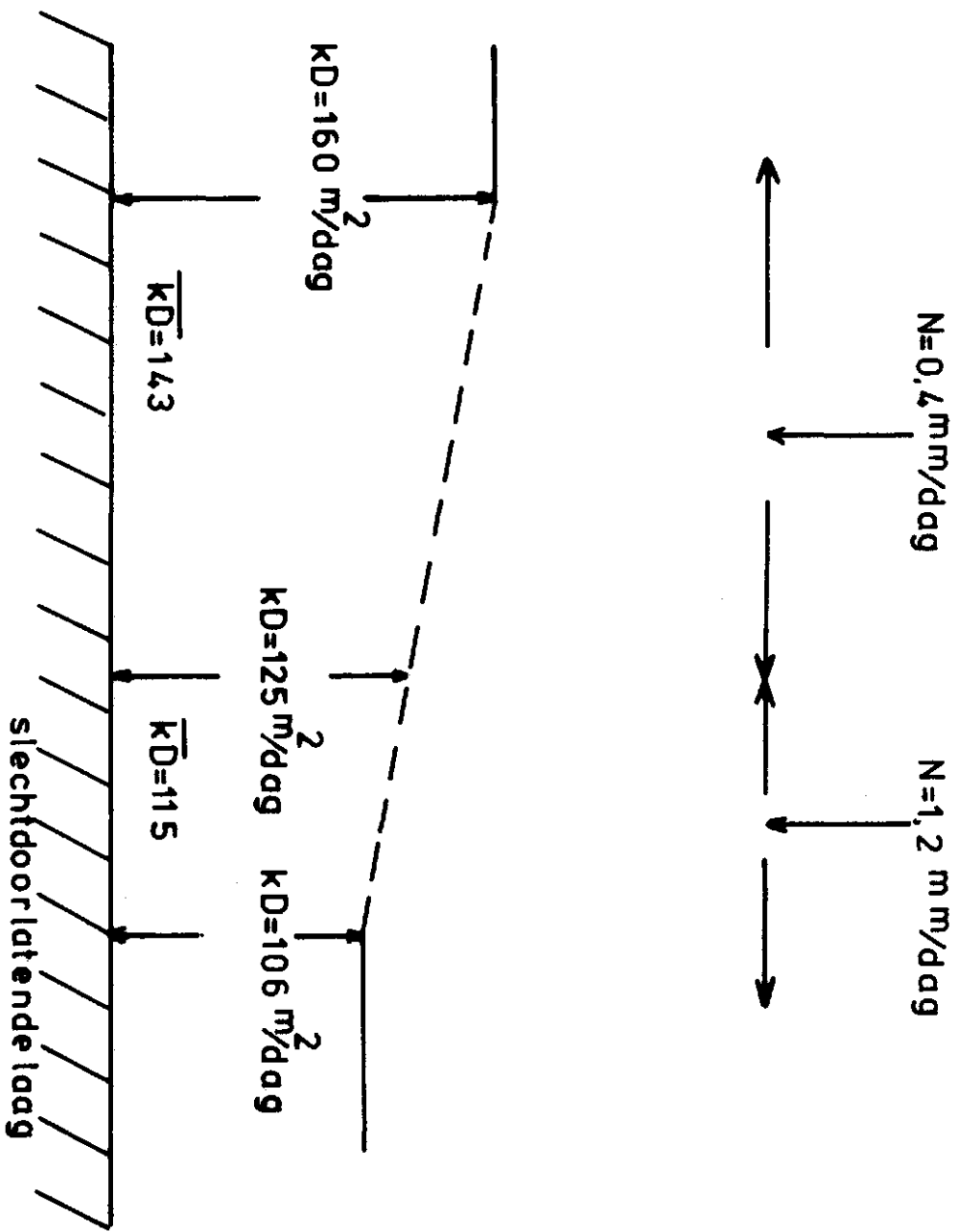
Fig 20





Hydrologische constanten raai DD'

Fig 22



Het verloop van grondwaterspiegel in raai D D'

Fig 23

