

De formatieconstanten in het Prunjegebied (Schouwen)berekend uit pompproeven

K.E. Wit en N.A. de Ridder

Inleiding

Ten behoeve van het kwelonderzoek in het Prunjegebied op Schouwen-Duiveland is een onderzoek naar de geohydrologische gesteldheid van de diepere ondergrond verricht. Voor dit doel is een aantal diepe boringen gemaakt, die een algemeen inzicht hebben gegeven in het voorkomen, de verbreiding en de dikte van de watervoerende en semi-permeabele lagen en hun lithologische eigenschappen.

Van de verschillende formatieconstanten, zoals het horizontaal doorlatend vermogen (kD-waarde) van het watervoerend pakket, de verticale weerstand (c-waarde) van de semi-permeabele lagen en de bergingscoëfficiënt (S) van de watervoerende laag, zijn de kD-waarden voor een 16-tal plaatsen uit de korrelgrootte-verdelingen van geroerde grondmonsters berekend. Het bleek, dat de aldus bepaalde kD-waarden varieëerden tussen 200 en 500 m²/dag. In een binnenkort te verschijnen rapport zullen de resultaten van dit geohydrologisch onderzoek uitvoerig worden behandeld.

Het is bekend, dat de kD-waarden bepaald uit de korrelgrootte-verdelingen van monsters, in sommige gevallen belangrijk afwijken van die, welke zijn berekend uit proefpompingen. Om na te gaan, in hoeverre de gevonden uitkomsten geacht mogen worden representatief te zijn, zijn op enkele plaatsen in het Prunjegebied pompproeven verricht, die betrouwbare gegevens betreffende het doorlatend vermogen van de watervoerende lagen hebben opgeleverd. Daarnaast bieden deze proeven de mogelijkheid ook de andere formatieconstanten, als de c-waarde en de bergingscoëfficiënt (S) te berekenen.

In deze nota zullen de resultaten worden besproken van een pompproef, die deze zomer is uitgevoerd bij boring K89 in de zuidoosthoek van de polder (fig. 1).

149094

Uitvoering van de pompproef

In figuur 2 is de ligging en de diepte van de verschillende putten aangegeven, als ook de diepten, waarop het pompfilter en de waarnemingsfilters waren gesteld.

De waarnemingsputten waren gelegen op afstanden van 20, 40 en 100 meter van de pompput.

Uit bovengenoemd geologisch onderzoek was reeds gebleken, dat zich ter plaatse van deze pompproef een opgevulde kreek moet bevinden. Deze voormalige kreek nu, werd in de nieuwe putten voor deze proef teruggevonden. Onder een dun kleidek (ca. 1 m dik) komen tot een diepte van ca. 31 meter jong holocene geulafzettingen voor, die uit blauwgrijze matig fijne tot matig grove, en slibhoudende, siltrijke zeer fijne tot middel fijne zanden bestaan. Van ca. 31 meter tot 50 meter - maaiveld is marien Icenien aangetroffen, bestaande uit matig fijne tot matig grove zanden en kleilagen. Uit figuur 2 blijkt, dat in alle putten op 38 meter - maaiveld, deze Icenienklei is aangeboord. Ook is in deze figuur te zien, dat in alle boringen van ca. 18 tot 28 meter - maaiveld zeer fijne, jong holocene geulafzettingen zijn gevonden.

Hydrologisch beschouwd hebben we met twee watervoerende lagen te maken, gescheiden door een semi-permeabele laag. De onderste watervoerende laag wordt aan de basis begrensd door een als ondoorlatend te beschouwen kleipakket. De bovenste watervoerende laag wordt afgedekt door een dunne, semi-permeabele laag, jonge zeeklei.

Op grond van dit profiel is eerst een pompproef uitgevoerd in de onderste watervoerende laag, waarbij gedurende 7,5 uren met een debiet van $15,9 \text{ m}^3/\text{uur}$ aan de pompput water is onttrokken. Het pompfilter was gesteld van 28 - 38 meter - maaiveld.

Vervolgens is het pompfilter van 10 - 18 meter - maaiveld in de bovenste watervoerende laag gesteld en is gedurende 6,5 uren gepompt met een debiet van $18,7 \text{ m}^3/\text{uur}$.

Tijdens de proefpompings zijn ieder uur in alle peilputten de grondwaterstands dalingen gemeten; in enkele putten zijn vooral gedurende het eerste uur van de proef zeer frequent de dalingen gemeten.

Resultaten van de berekeningen

Vanwege het feit, dat de pompproef op betrekkelijk korte afstand van de kust werd uitgevoerd, diende er rekening mede gehouden te worden, dat alle peilputten onder invloed stonden van de getijbeweging. De gemeten grondwaterstandsverlagingen tijdens de proef moesten dus op de invloed van deze getijbeweging worden gecorrigeerd. Voorafgaande aan de eigenlijke pompproef zijn daarom alle putten gedurende een gehele dag gepeild, zodat de tijden van "eb" en "vloed", de amplitude en de fasevertraging van iedere put bekend waren.

Voor elk van de peilputten is nu een grafiek met twee krommen gemaakt, waarbij op de abscis de tijd is uitgezet. De eerste kromme van elke grafiek geeft het verloop van de dalingen en stijgingen, die zouden zijn ontstaan wanneer geen proefpomp zou zijn uitgevoerd. Op deze grafiek worden de dalingen ten opzichte van de abscis naar boven uitgezet en de stijgingen naar beneden (De Glee, 1951). De tweede kromme wordt verkregen door de waargenomen peildalingen respectievelijk stijgingen, uit te zetten ten opzichte van de eerste kromme en wel de dalingen naar beneden, de stijgingen naar boven. De ordinaten van deze tweede kromme ten opzichte van de abscis geven dan de peilverlagingen, die in werkelijkheid tengevolge van de proefpomp zijn ontstaan. Niet alle grafieken kunnen hier worden weergegeven, maar figuur 3 geeft een voorbeeld.

In figuur 2 zijn naast iedere peilfilter de maximale peilverlagingen, als ook de stijghoogten ten opzichte van N.A.P. gedurende de evenwichtstoestand van de beide proeven aangegeven.

Uit deze cijfers kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. Tijdens de proefpomp in de onderste watervoerende laag werden in deze laag belangrijke peildalingen gemeten, terwijl de filters onder de Icenien-kleilaag op 51 meter - maaiveld niet reageerden, ja zelfs een kleine stijging van 2 en 4 centimeter te zien gaven. Hieruit volgt, dat de betreffende kleilaag op 38 meter diepte als ondoorlatende basislaag beschouwd mag worden.
2. Tijdens de proefpomp in de onderste watervoerende laag werden kleine peilverlagingen waargenomen in de filters, die in de bovenste watervoerende laag en op 2 meter - maaiveld waren gesteld (orde van grootte 1 à 6 cm). In de fijnzandige, slibhoudende laag op 18 tot 28 meter diepte moet een verticale stroming hebben plaatsgevonden. Deze laag is als semi-permeabel te beschouwen, waarbij op betrekkelijk grote verticale weerstanden gerekend moet worden.

3. Tijdens de proefpompings in de bovenste watervoerende laag, traden in de diepe peilfilters op ca. 30, 38 en 51 meter - maaiveld slechts geringe peilverlagings op, zodat voor de fijnzandige, slibhoudende laag op 18 tot 28 meter diepte dezelfde conclusies gelden. In de ondiepe peilfilters (2m - mv) traden belangrijke peilverlagings op, zodat de afdekkende kleilaag als semi-permeabele laag is te beschouwen met een relatief kleine verticale weerstand.

De stromingstoestand, die zich tijdens de pompproeven voordeed, kan beschouwd worden als een niet-permanente stroming in een oneindige watervoerende laag met onvolkomen spanningswater naar een put, waaraan continu water wordt onttrokken. Voor de oplossing van de niet-permanente verdeling van de daling, die zich in dit geval voordoet leidden Hantush en Jacob (1955) de volgende formule af:

$$h = \frac{Q}{4\pi kD} \int_u^{\infty} \frac{1}{y} e^{-\left(y + \frac{r^2}{4B^2y}\right)} dy \quad (1)$$

Hierin is h = de daling; Q = debiet van de put; kD = horizontaal doorlatend vermogen; r = afstand van pompput tot peilput; $u = \frac{r^2 S}{4 kD t}$ waarin S = de bergingscoëfficiënt; t = de tijd sedert met de afpompings werd begonnen; B = spreidingslengte, ook wel aangeduid met λ of L .

Hantush (1956) gaf echter een grafische methode, met behulp waarvan op voldoende nauwkeurige wijze de verschillende formatieconstanten, als kD - en c -waarden en S bepaald kunnen worden.

Op half-logaritmisch papier worden daartoe de gemiddelde peilverlagings (h) van de filters in de watervoerende laag tegen de tijd (t) uitgezet, figuur 4; de dalings op de lineair verdeelde as, de tijd in minuten op de logaritmisch verdeelde as.

Deze kromme heeft een buigpunt, waarvoor geldt dat de daling in dit punt gelijk is aan de helft van de maximale daling, die in de evenwichtstoestand wordt bereikt of $h_i = \frac{1}{2} h_{\max}$. In het buigpunt wordt de raaklijn aan de kromme getrokken. De helling van deze lijn met de abscis wordt voorgesteld door m_i .

Uit (1) kunnen nu de volgende betrekkingen worden afgeleid:

$$f\left(\frac{r}{B}\right) = e^{-r/B} K_0\left(\frac{r}{B}\right) = 2,3 \frac{h_i}{m_i} \quad (2)$$

Deze formule geeft dus de betrekking tussen de daling en de helling van de curve in het buigpunt.

De daling in het buigpunt (h_i) wordt gegeven door:

$$h_i = \frac{Q}{4\pi kD} K_0\left(\frac{r}{B}\right) \quad (3)$$

Voor het buigpunt van de kromme geldt de betrekking:

$$\frac{r^2 S}{4kDt_i} = \frac{r}{2B} \quad (4)$$

De spreidingslengte B (of λ) is gedefinieerd door:

$$B = \sqrt{kDc} \quad (5)$$

Door substitutie van de waarden voor h_i en m_i in (2), kan $\frac{r}{B}$ berekend worden. Aangezien de afstand (r) van de peilput tot de pompput bekend is, is ook B te bepalen.

Substitutie van de waarden voor $\frac{r}{B}$, Q en h_i in (3) levert de kD -waarde. Uit (4) kan S gevonden worden door substitutie van de waarden voor r, B, t_i en kD , terwijl de c -waarde uit (5) volgt.

In de onderstaande tabel zijn de op bovengenoemde wijze berekende formatieconstanten weergegeven, betrekking hebbend op de pompproof in de onderste watervoerende laag.

Formatie-constanten	Peilput (20 m)	Peilput (40 m)	Peilput K89 (100 m)
kD	130 m ² /dag	115 m ² /dag	215 m ² /dag
C	680 dagen	390 dagen	660 dagen
B	300 m	215 m	375 m
S	$1,8 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$

Door substitutie van de gevonden waarden in (1), die kan worden herleid tot:

$$h = \frac{Q}{4\pi kD} W\left(u, \frac{r}{B}\right) \quad (6)$$

kan worden gecontroleerd of de juiste waarden zijn gevonden.

In figuur 4a zijn de berekende peilverlagingen door kruisjes aangegeven. Het blijkt, dat de kromme die door deze kruisjes getrokken kan worden, samenvalt met de uit de waarnemingen gevonden kromme.

Voor de evenwichtstoestand kan (1) worden vereenvoudigd tot:

$$h_{\max.} = \frac{Q}{2\pi kD} K_0\left(\frac{r}{B}\right) \quad (7)$$

Voor praktische doeleinden kan bij $\frac{r}{B} \leq 0,05$ vergelijking (7) worden voorgesteld door:

$$h_{\max.} \approx - \frac{2,3Q}{2\pi kD} \text{Log} \left(0,89 \frac{r}{B}\right) \quad (8)$$

Op half-logaritmisch papier wordt nu $h_{\max.}$ tegen de afstand tot de pompput uitgezet, waarbij de afstand op de logaritmische schaal, figuur 5.

In het gebied waar $\frac{r}{B}$ klein is, liggen de punten op een rechte.

Voor het snijpunt r_0 , dat deze rechte met de abscis maakt, geldt:

$$\text{Log} \left(0,89 \frac{r_0}{B}\right) = 0 ; \quad B = 0,89 r_0 \quad (9)$$

De helling, die de rechte met de abscis maakt, is gelijk aan:

$$- \frac{\Delta h}{\Delta \text{Logr}} = \frac{2,3 Q}{2\pi kD} \quad Q = k_i F \quad (10)$$

Voor één logaritmische periode is $\Delta \text{Logr} = -1$, zodat (10) overgaat in:

$$\Delta h = \frac{2,3 Q}{2\pi kD} \quad (11)$$

De spreidingslengte B volgt nu uit figuur 5. Substitutie van Q en Δh in (11) geeft de kD-waarde, waarna met (5) de c-waarde kan worden berekend.

Toepassing van deze methode gaf onderstaande uitkomsten voor de formatieconstanten.

$$kD = 115 \text{ m}^2/\text{dag}$$

$$C = 390 \text{ dagen}$$

$$B = 215 \text{ m}$$

Aangezien de fijnzandige, slibrijke laag op 18 tot 28 meter een

hoge verticale weerstand heeft, mag voor kleine r de formule van Thiem worden toegepast.

$$(h_1 - h_2) \left(\frac{2\pi kD}{Q} \right) = \ln \frac{r_1}{r_2} \quad (12)$$

Substitutie van de bekende waarden in deze formule levert een kD-waarde van 130 m²/dag.

Van de pompproef in de bovenste watervoerende laag zijn de gemeten peilverlagingen (h) tegen de tijd uitgezet in figuur 4b.

Gebruik makend van de formules (2), (3), (4) en (5) werden voor de verschillende formatieconstanten onderstaande waarden berekend.

Formatie-constanten	Peilput (20 m)	Peilput (40 m)
kD	300 m ² /dag	300 m ² /dag
C	315 dagen	80 dagen
B	300 m	160 m
S	2,1 x 10 ⁻⁴	11 x 10 ⁻⁴

De gevonden verticale weerstanden hebben zowel betrekking op de semi-permeabele deklaag als op de semi-permeabele laag op 18 tot 28 meter diepte.

De verticale weerstanden van de afdekkende laag kunnen berekend worden uit:

$$\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} = \frac{1}{c} \quad (13)$$

Voor substitutie van de gevonden waarden voor c₂ van de semi-permeabele laag op 18 tot 28 meter en de totale weerstand c in (13) volgt de verticale weerstand van de afdekkende laag c₁.

	Peilput (20 m)	Peilput (40 m)
c ₁	170 dagen ≈ 590	100 dagen

De gevonden waarden voor de verschillende formatieconstanten zijn tenslotte in onderstaande tabel samengevat.

laag	peilput (20 m)	peilput (40 m)	peilput K89 (100 m)
0 - 6 m	c = 170 ⁵⁹⁰ dagen	c = 100 dagen	
6 - 17	kD = 300 m ² /dag	kD = 300 m ² /dag	
17 - 27,5	c = 680 dagen	c = 390 dagen	c = 660 dagen
27,5-38	kD = 130 m ² /dag	kD = 115 m ² /dag	kD = 215 m ² /dag

Samenvatting en conclusies

Voor het bepalen van de formatieconstanten in het Prunjegebied werd in het zuidoosten van de polder, bij boring K89, een pompproef uitgevoerd. De geologische formaties bleken ter plaatse te bestaan uit jong holocene geulafzettingen, die uit matig fijne tot matig grove zanden en middel fijne tot zeer fijne, slibhoudende zanden zijn samengesteld. Onder deze geulafzettingen komt van ongeveer 31 meter - maaiveld marien Icenien voor, dat uit matig fijne tot matig grove zanden en kleilagen bestaat.

De kD-waarde van deze geulafzettingen bedraagt 300 m²/dag, die van het mariene Icenien 150 m²/dag.

De totale kD-waarde van dit profiel is dus 450 m²/dag, een waarde, die vrij goed overeenkomt met de uit korrelgrootte analyses berekende kD-waarden van enkele omliggende boringen. Voor deze boringen werden namelijk de volgende uitkomsten gevonden: 440, 270, 410, 360, 430 en 330 m²/dag. Hiervan hebben echter alleen de waarden 270 en 410 m²/dag betrekking op overeenkomstige jong holocene geulafzettingen. De overige vertegenwoordigen kD-waarden van een zogenaamd ongestoord profiel.

Opmerkelijk is, dat deze jong holocene geulafzettingen op een diepte van 17 tot 28 meter - maaiveld uit zeer fijne, slibrijke zanden bestaan, waarvoor hoge c-waarden zijn gevonden, variërend van 390 tot 680 dagen.

Gewoonlijk zijn dergelijke afzettingen in het onderste deel grofzandig, waarbij naar boven in het profiel een vrij regelmatige afname in korrelgrootte valt waar te nemen.

Tijdens de opvulling van deze geul moeten tijdelijk blijkbaar bijzondere sedimentologische omstandigheden geheerst hebben, waarbij misschien aan een periode van sedimentatie in een wadmilieu gedacht moet worden. In ieder geval moeten deze fijne zanden met veel kleilaagjes in

zeer rustig water zijn afgezet.

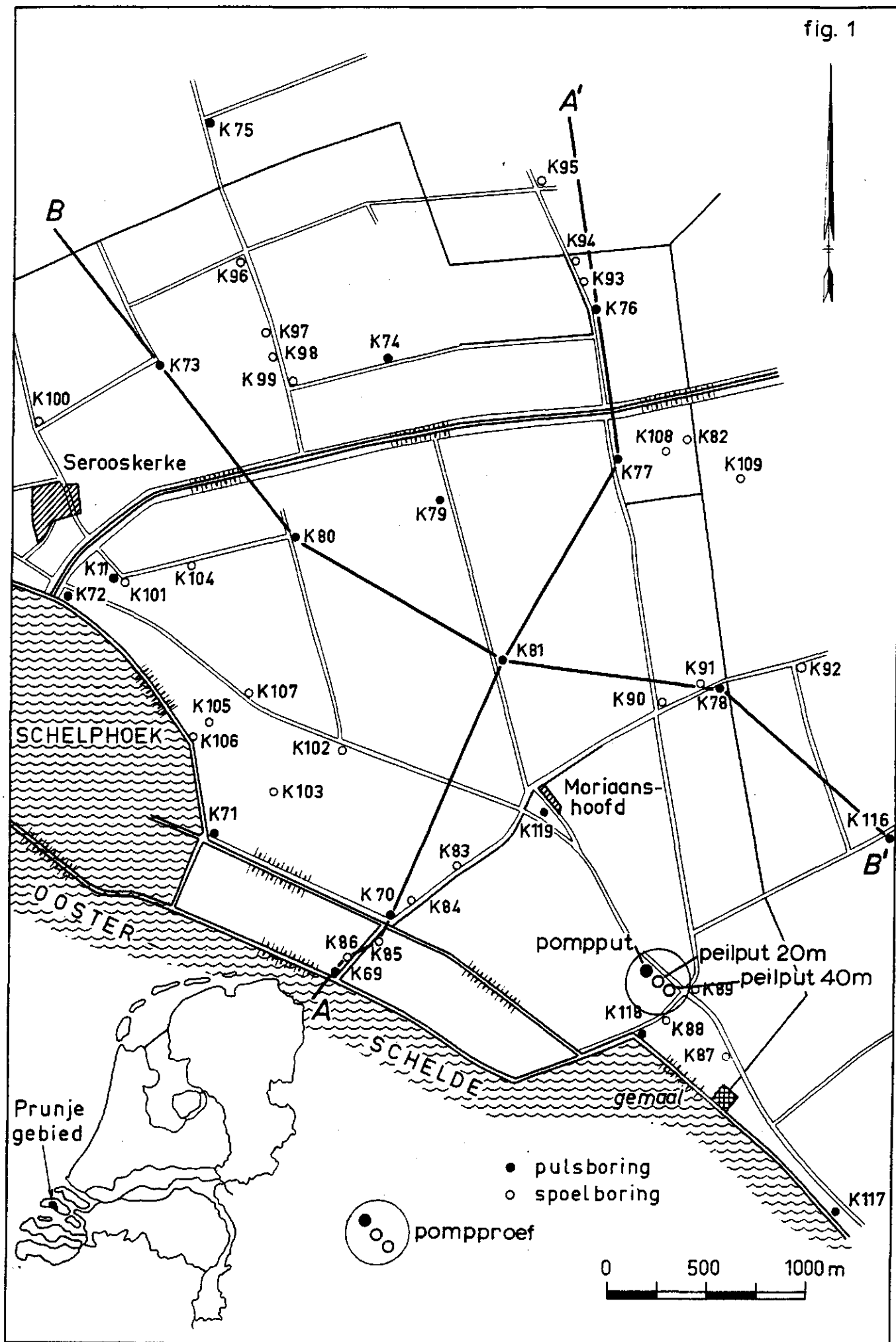
Tenslotte kan erop gewezen worden, dat uit de pompproef in het onderste watervoerende pakket, voor het produkt $kD.c$ een waarde 88.280 gevonden wordt (gemiddelde $kD = 153 \text{ m}^2/\text{dag}$, gemiddelde $C = 577$ dagen). Voor dezelfde plaats berekende Wesseling (1960) uit de voortplanting van de getijbeweging een $kD.c = 32.291$ (methode volgens Bosch) en $kD.c = 20.743$ (methode volgens Steggewentz).

Op de oorzaak van deze afwijkende uitkomsten zal binnenkort door Ernst nader worden ingegaan.

Literatuur

- Glee, G.J. de (1951). Berekeningsmethoden voor de winning van grondwater. In: Drinkwatervoorziening. 3e vakantiecursus 's-Gravenhage. pp. 38-80.
- Hantush, M.S. and C.E. Jacob (1955). Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer. Trans.Amer.Geoph.Union, 36, pp. 95-100
- Hantush, M.S. (1956). Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. Trans.Amer.Geoph.Union, 37, pp. 702-714
- Wesseling, J. (1960) Enkele resultaten van de bepaling van hydrologische constanten in het Prunjegebied (Schouwen-Duiveland). Geol.en Mijnb. 39, pp. 624-630.

fig. 1



LITHOLOGISCH PROFIEL VAN POMPPROEF K89, PRUNJEGEBIED (SCHOUWEN)

fig. 2

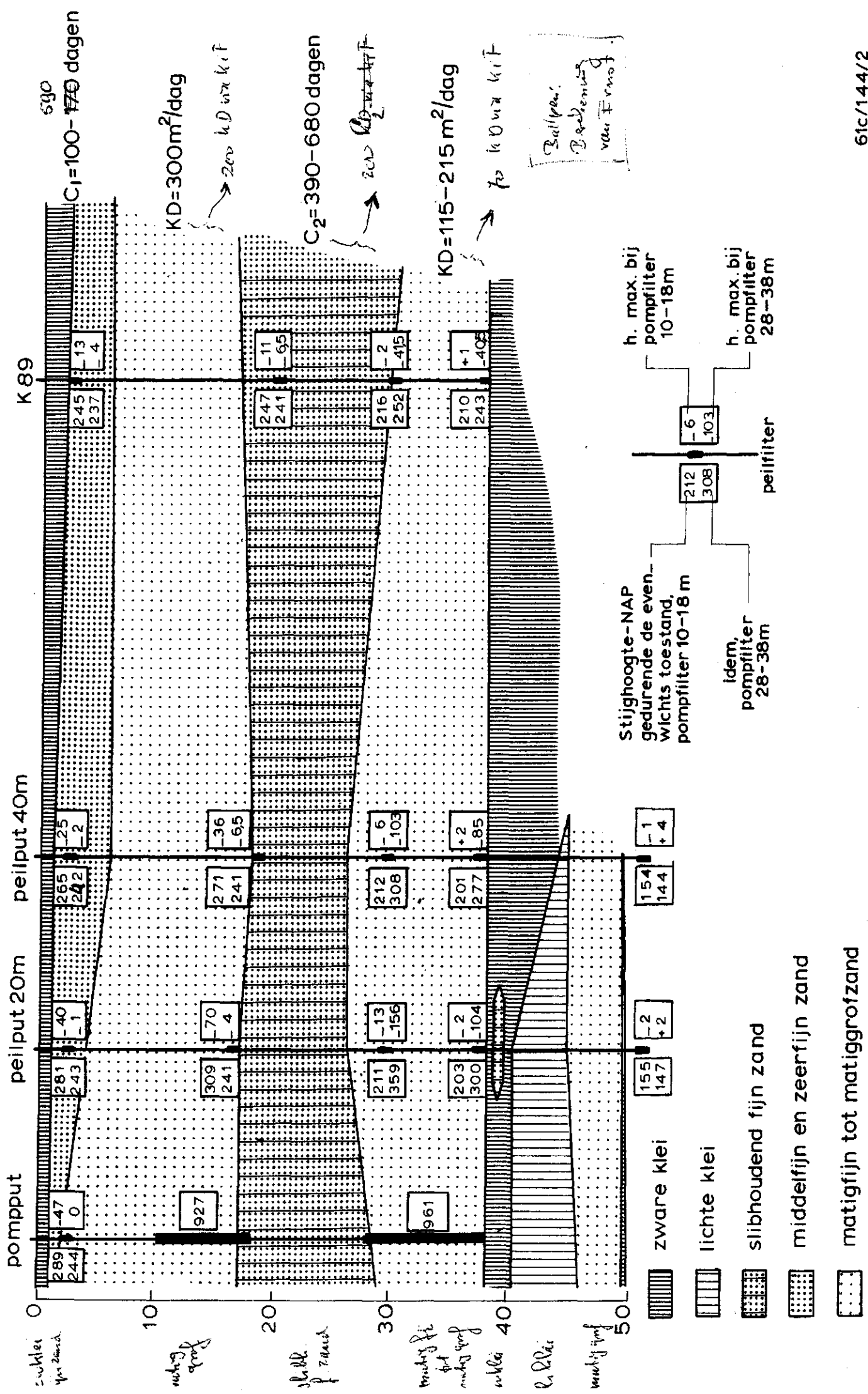
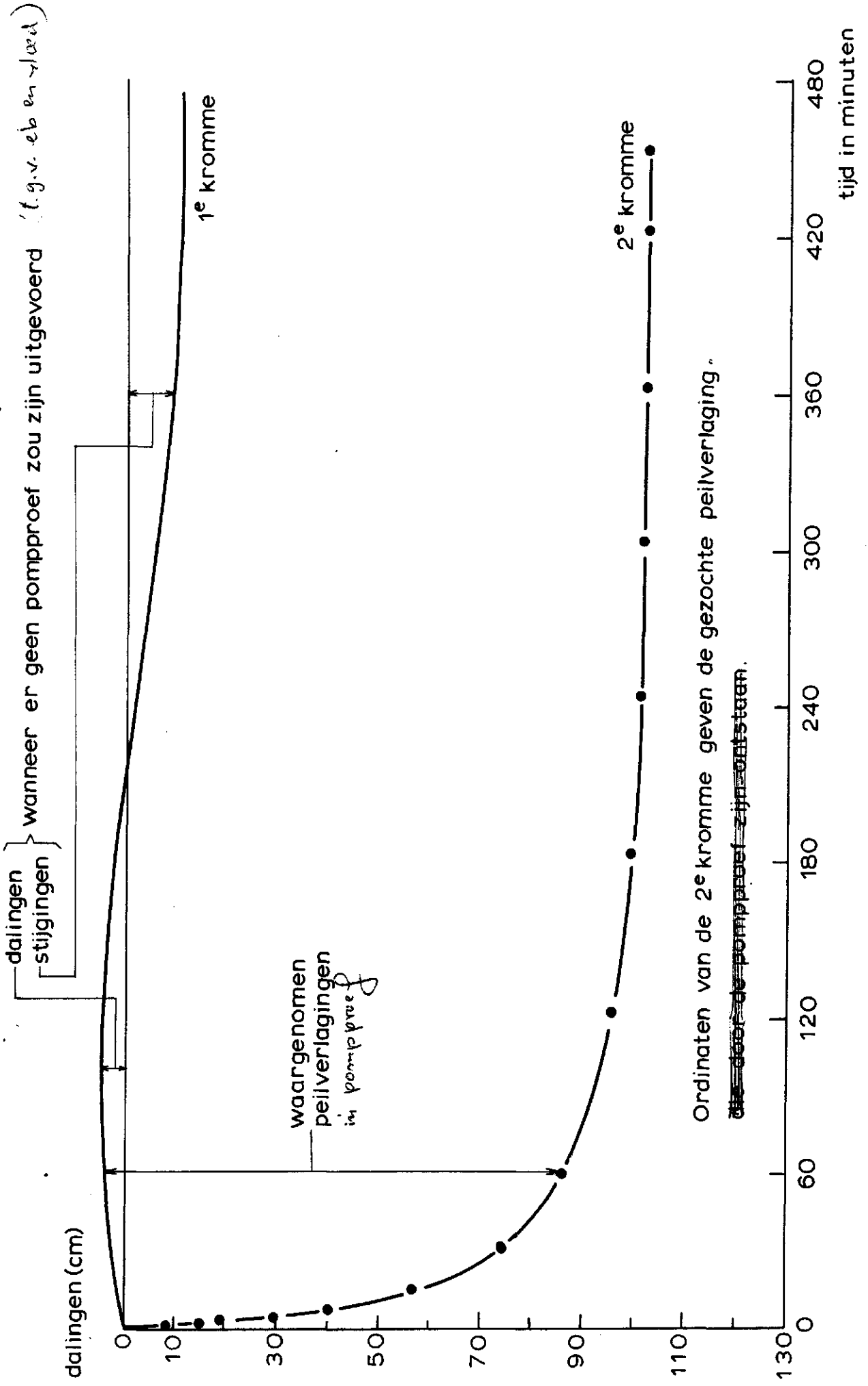


fig.3

FILTER 3, PEILPUT 40m, POMPFILTER 28-38 m



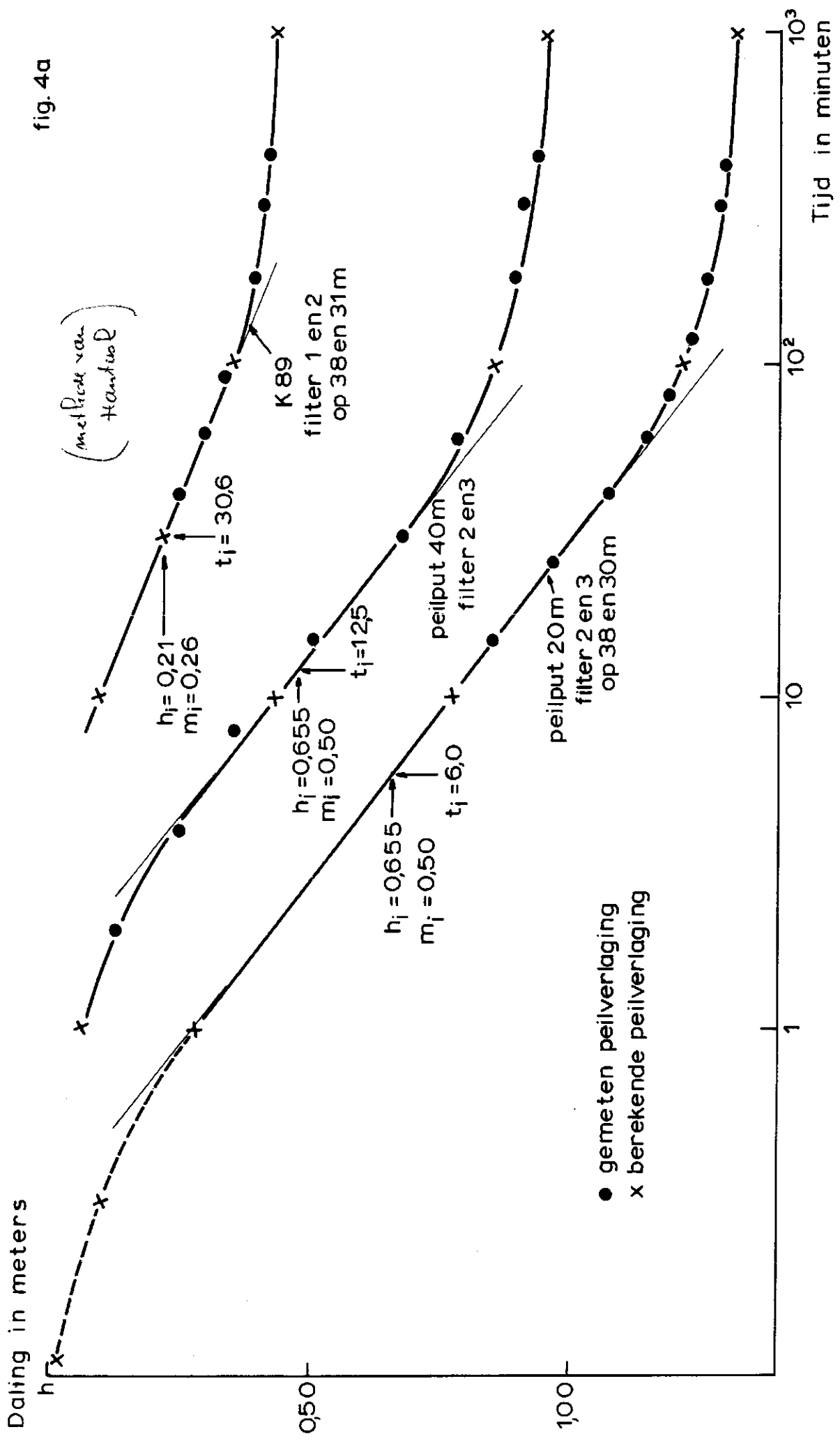
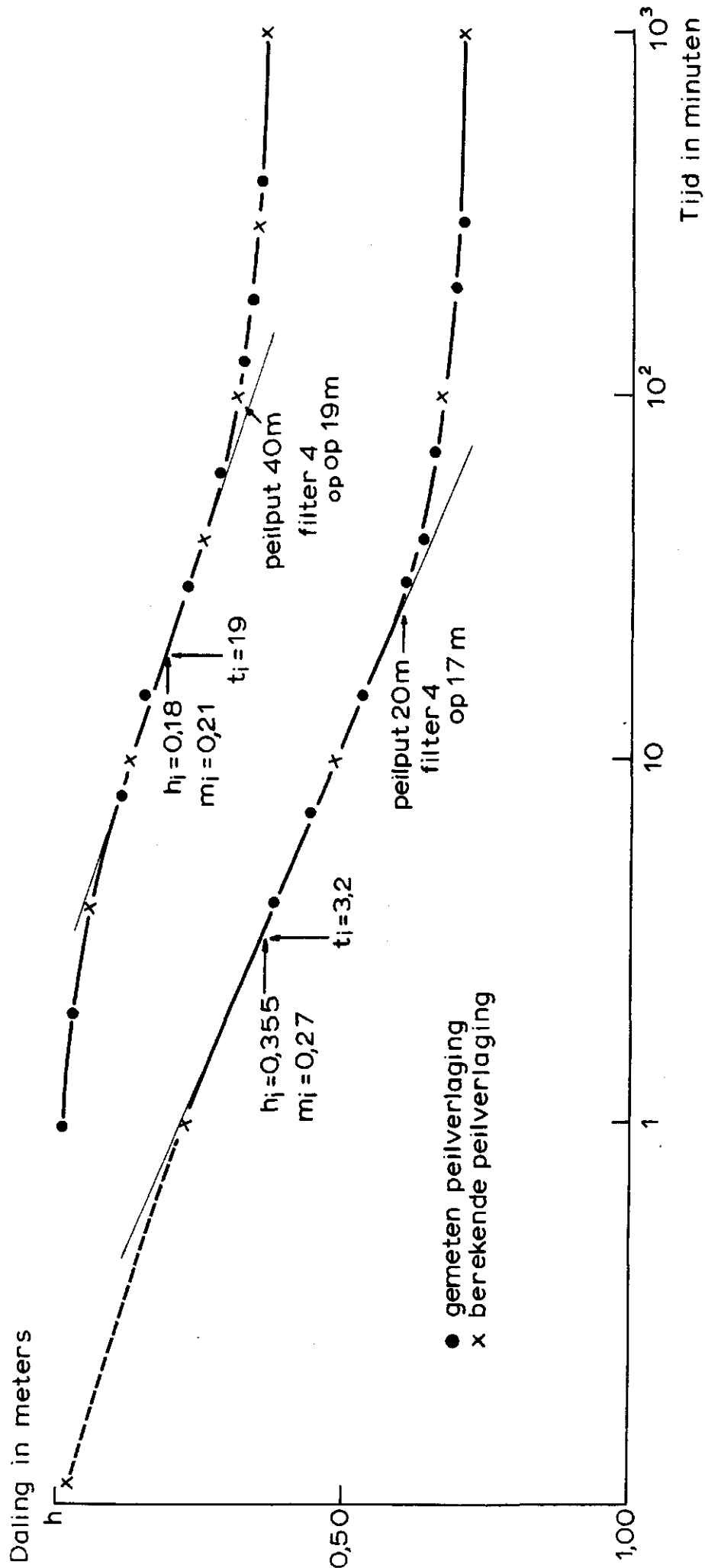


fig. 4 b



Daling in meters

fig.5

