

INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 357, d. d. 4 oktober 1966

Pompproef M 165 ten Z. O. van Silvolde

J. J. de Vries

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.

Aan gebruikers buiten het Instituut wordt verzocht ze niet in publikaties te vermelden.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

Inleiding

Ten behoeve van het geo-hydrologisch onderzoek in de Gelderse Achterhoek, is door het I.C.W. een pompproef gehouden in het gebied tussen Silvolde en Dinxperlo, op 7 en 8 juli 1966.

Hiertoe werden 3 boringen gezet, te weten M204, M205 en M206. Hiervan werd M206 ingericht als pompput, terwijl M204, M205 en de bestaande exploitatie boring M165 afgewerkt werden als waarnemingsput.

Deze waarnemingsputten zijn gelegen op respectievelijk 15 m, 45 m en 135 m van de pompput (voor lokatie en overzicht zie fig. 1).

In de pompput werd een spleetfilter van P.V.C., met een lengte van 23 m en een diameter van 3", omwikkeld met glasvlies, gesteld.

Hydro-geologische situatie en ligging van de filters

Figuur 2 geeft een beeld van de lithologische gesteldheid ter plaatse. Zoals dit profiel aangeeft, strekt zich van maaiveld (dat op ca. 15 m + N.A.P. is gelegen) tot ca. 38 m diepte een pakket uit, bestaande uit matig grove tot middel grove, enigszins grindhoudende zanden, afgewisseld met lenzen middel grof sterk grindhoudend zand.

Slechts in boring M165 is op ca. 18 m diepte een leemlaagje van ongeveer 1 m dikte aangetroffen.

De bovenste 28 m van dit grove, goed doorlatende pakket wordt op grond van haar zware mineraal inhoud gerekend tot de formatie van Kreftenheye, dat een fluviatiel sediment is, van de post-glaciale Rijn.

De onderste 10 m van het watervoerend pakket wordt, gezien haar opmerkelijk hoog gehalte aan vulkanische mineralen (vnl. augiet) beschouwd te behoren tot de formatie van Urk, dat hier in een smal preglaciaal dal tot sedimentatie kwam.

Aan de onderzijde wordt het grove pakket begrensd door fijne tot middel-fijne zanden van het Continentaal-Pliocene, dat na ongeveer 8 m overgaat in fijne slibhoudende zanden, en kleien van het Marien-Mioceen.

Deze Tertiaire afzettingen kunnen als ondoorlatende basis worden beschouwd.

Hydrologisch is het watervoerend pakket als één geheel te beschouwen.

Het ontbreken van zowel slecht doorlatende horizonten, als van een minder goed doorlatend afdekkend pakket, is de oorzaak van het feit dat de stijghoogten van het grondwater in de diepe filters (gesteld op ca. 25 m - m.v.) ongeveer gelijk is aan de stijghoogten van het water in de ondiepe filters (gesteld op ca. 2 m - m.v.).

We hebben dus over het gehele profiel te maken met freatisch water.

Bij de aanvang van de pompproef stond het grondwater op ca. 80 cm - m.v.

Grondwaterstandswaarnemingen

Vanaf 4 juli zijn dagelijks grondwaterstandswaarnemingen gedaan in de peilbuizen M204, M205, M165 en de op ongeveer 3 en 4 km van de pompput gelegen peilbuizen M164 en M201 (fig. 1).

In figuren 3 en 4 zijn de stijghoogten van het grondwater in de diepe en ondiepe filters weergegeven over de periode van 4 juli tot en met 18 juli.

Uit deze figuren blijkt dat tijdens de 24 uur dat gepompt werd, een natuurlijke daling van ca 1 cm in het grondwater plaatshad.

Echter in de periode dat gepompt werd viel ca. 2,5 mm neerslag, waardoor deze daling voor een deel weer gecompenseerd zal zijn. Merkwaardig is dat tijdens de pompproef in de peilputten M164 en M201 een versterkte grondwaterstands daling van ca. 1 cm optrad in de diepe filters. Het lijkt niet waarschijnlijk dat in dit freatische water de invloed van een pompproef op een dergelijke afstand nog merkbaar is.

Analyse van de bij de pompproef verkregen gegevens

Van 7 juli 9.02 uur tot 8 juli 10.02 uur werd met een constant debiet van $864 \text{ m}^3/\text{dag}$ gepompt. De hierbij optredende potentiaal dalingen zijn in figuren 5 en 6 als tijd-potentiaal curven weergegeven.

Aan het einde van de proef was er nog geen evenwicht ingetreden, zoals ook te verwachten is bij freatisch water.

De maximale dalingen aan het einde van de proef zijn als volgt: (fig. 7)

	Maximale daling in m	
	diep	ondiep
M205/ 15 m	$8,5 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^{-2}$
M204/ 45 m	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-2}$
M165/135 m	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$

Op deze uitkomsten moet echter een correctie worden toegepast, daar we met een onvolkomen put hebben te maken. Het pompfilter strekt zich namelijk niet over de gehele watervoerende laag uit, waardoor nabij het pompfilter (binnen een straal gelijk aan 2 x de dikte van het watervoerend pakket), radiale stroming ontstaat. De hierbij optredende radiale weerstanden doen de dalingen in het grondwater groter zijn, dan bij een volkomen put het geval zou zijn geweest.

Voor de correctie geldt de volgende formule:

$$\psi_{\text{onvolk}} - \psi_{\text{volk}} = \frac{Q}{2\pi kD} \cdot \frac{2D}{\pi h} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\sin \frac{n\pi b}{D} - \sin \frac{n\pi a}{D} \right) \cos \frac{n\pi z}{D} \cdot K_0 \left(\frac{n\pi r}{D} \right)$$

waarin

- ψ = potentiaaldaling in m
- Q = debiet van de pomp in m^3/dag = $864 \text{ m}^3/\text{dag}$
- D = dikte van het watervoerend pakket = 38 m
- kD = de doorlatendheid in m^2/dag = $5000 \text{ m}^2/\text{dag}$ (geschat)
- h = de lengte van het pompfilter in m = 23 m
- b = de afstand van de bovenkant van het pompfilter tot de ondoorlatende basislaag = 27 m
- a = de afstand van de onderkant van het pompfilter tot de ondoorlatende basis = 4 m
- z = de afstand van het midden van het pompfilter tot de ondoorlatende basis = 15,5 m
- r = afstand van pompput tot waarnemingsput = 15 m
- K_0 = een gemodificeerde Besselse functie.

- 4 -

De constante:

$$\frac{Q}{2\pi kD} \cdot \frac{2D}{\pi h} = 0,03$$

De eerste 3 termen van de oneindige reeks zijn:

$$\begin{aligned} n_1 &= 0,0426 \\ n_2 &= -0,037 \\ n_3 &= 0,0036 \end{aligned}$$

De volgende termen zijn kleiner en kunnen verwaarloosd worden.

$$\sum_{i=1}^3 R = 0,009$$

dus $\Psi_{\text{onvolk}} - \Psi_{\text{volk}} = 0,009 \cdot 0,03 = 0,03$ cm. Dit bedrag is te verwaarlozen. Dat hier nauwelijks radiale stroming optreedt is te danken aan de grote kD -waarde. Bij een kD -waarde van ongeveer $160 \text{ m}^2/\text{dag}$ zou, bij overigens gelijke omstandigheden een correctie van 1 cm toegepast moeten worden.

Ditzelfde resultaat levert een formule, die de verhouding geeft tussen de putopbrengst in geval van een onvolkomen put Q_p , tot de opbrengst bij een volkomen put Q , wanneer in beide gevallen de potentiaaldalingen gelijk zijn.

$$\frac{Q_p}{Q} = \frac{\ln \frac{r_o}{r_w}}{\frac{D}{h} \ln \frac{\pi h}{2r_w} + 0,101 \ln \frac{r_o}{2\pi}}$$

hierin is:

r_o de invloedsafstand van de pomp

r_w de diameter van het pompfilter

r_o is verkregen door extrapolatie, waarbij het potentiaalveld als logaritmisch is beschouwd. Deze afstand blijkt dan ca. 500 m te zijn (fig. 8).

Uitwerking van bovenstaande formule voor het onderhavige geval geeft:

- 5 -

$$Q_p = Q$$

Methode Theis

Ter berekening van de bodemconstanten is voor dit niet-~~permanente~~ ^{stationaire} stromingsgeval, de formule van Theis te gebruiken:

$$h_o - h = \frac{Q}{4\pi kD} \int_{\frac{r^2 S}{4kDt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

waarin:

- $h_o - h$ is de potentiaaldaling in m
- Q de putopbrengst in m³/dag
- kD de doorlatendheid in m²/dag
- r de afstand van pompput tot peilput in m
- t de tijd in dagen, verlopen sinds het starten van de pomp
- S de storage coëfficiënt
- $u = \frac{r^2 S}{4kDt}$

De grafische oplossing van deze differentiaal vergelijking is als volgt:

De potentiaaldalingen in een waarnemingsput wordt op log-papier uitgezet tegen het quotiënt $\frac{r^2}{t}$. De op deze wijze voor de verschillende waarnemingsputten verkregen curven, worden zoveel mogelijk passend gelegd op de zogenaamde type-curve van de exponentiële integraal

$$\int_{\frac{r^2 S}{4\pi kDt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

De verschuivingen van de assen-stelsels die hierbij optreden, kunnen gelijk worden gesteld met de constanten:

- 6 -

$$\frac{Q}{4\pi kD} \quad \text{en} \quad 4 \frac{kD}{S}$$

waarbij de afstand tussen de horizontale assen gelijk is aan $\frac{Q}{4\pi kD}$, en de afstand tussen de verticale assen gelijk is aan $\frac{4kD}{S}$.

In figuur 9 zijn op deze wijze de gegevens van de diepe waarnemingsfilters verwerkt.

De uitkomsten zijn:

$$M205/15 \text{ m:} \quad \frac{Q}{4\pi kD} = 9,9 \cdot 10^{-3}$$

$$kD \approx 7000 \text{ m}^2/\text{dag}$$

$$\frac{4kD}{S} = 1,3 \cdot 10^7$$

$$S = 0,002$$

$$M204/45 \text{ m:} \quad \frac{Q}{4\pi kD} = 6,2 \cdot 10^{-3}$$

$$kD \approx 11.000 \text{ m}^2/\text{dag}$$

$$\frac{4kD}{S} = 6 \cdot 10^7$$

$$S = 0,07$$

$$M165/135 \text{ m:} \quad \frac{Q}{4\pi kD} = 2,1 \cdot 10^{-2}$$

$$kD = 3300 \text{ m}^2/\text{dag}$$

$$\frac{4kD}{S} = 2 \cdot 10^5$$

$$S = 0,075$$

- 7 -

Methode Jacob

Door Jacob werd uit de methode van Theis een eenvoudiger formule afgeleid, overwegende dat bij kleine afstand r tot de pompput, en grote waarden van t , slechts de eerste 2 termen van Theis' formule van belang zijn.

Dit levert:

$$h_o - h = \frac{2,3 Q}{2\pi kD} \log \frac{2,25 kDt}{r^2 S}$$

zodat de potentiaaldalingen uitgezet tegen de tijd op log-papier, een rechte opleveren. Snijding van deze lijn met de t -as geeft het punt t_o , waarbij de potentiaaldaling gelijk is aan nul.

Dus

$$\frac{2,25 kDt_o}{r^2 S} = 0$$

Is verder Δh de potentiaaldaling per log-cyclus van tijd, dan is:

$$\log \frac{2,25 kDt}{r^2 S} = 1$$

en dus

$$\Delta h = \frac{2,3 Q}{4\pi kD}$$

Figuur 10 toont deze bewerking voor de diepe filters van de waarnemingsputten M205 en M204.

$$M205/15 \text{ m} \quad \Delta h = \frac{2,3 Q}{4\pi kD} = 1,9 \cdot 10^{-2}$$

$$kD = \underline{8200 \text{ m}^2/\text{dag}}$$

$$t_o = 3 \cdot 10^{-4} \rightarrow \underline{S = 0,025}$$

- 8 -

$$M204/45 \text{ m} \quad \Delta h = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi kD} = 1,6 \cdot 10^{-2}$$

$$kD = \underline{11\,000 \text{ m}^2/\text{dag}}$$

$$t_o = 8 \cdot 10^{-5} \rightarrow \underline{s = 0,0013}$$

Methode van Thiem

Uit het voorgaande is al gebleken dat we met een goed horizontaal stromingsgeval te maken hebben. Verder wordt het verschil in potentiaaldaling tussen de diepe filters van de verschillende putten na enkele minuten vrijwel constant (fig. 3). Aan het einde van de proef treden weliswaar nog dalingen op, maar die zijn zeer klein, zodat de formule van Thiem mag worden toegepast.

$$Q = 2\pi kD \frac{h_1 - h_2}{\ln \frac{r_1}{r_2}}$$

Hierin zijn h_1 en h_2 de potentiaaldalingen in de waarnemingsputten op afstand respectievelijk r_1 en r_2 van de pompput.

Tussen M205 en M204:

$$kD = \frac{864}{2\pi \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}} \cdot \ln 3$$

$$kD \approx \underline{6000 \text{ m}^2/\text{dag}}$$

Tussen M205 en M265:

$$kD = \frac{864}{2\pi \cdot 5,7 \cdot 10^{-2}} \cdot \ln 9$$

$$kD \approx \underline{5100 \text{ m}^2/\text{dag}}$$

- 9 -

Tussen M204 en M265:

$$kD = \frac{864}{2\pi \cdot 3,2 \cdot 10^{-2}} \cdot \ln 3$$

$$kD \approx \underline{5100 \text{ m}^2/\text{dag}}$$

Overzicht van de verkregen kD-waarden:

	Theis	Jacob	Thiem	Gemiddeld
M205	7 000	8 200	6000	7600
M204	11 000	11 000	6000	9300
M165	3 300		5100	4200

Voor de gemiddelde kD-waarde van het gehele pakket kan ongeveer 7000 m²/dag aangehouden worden.

Literatuur

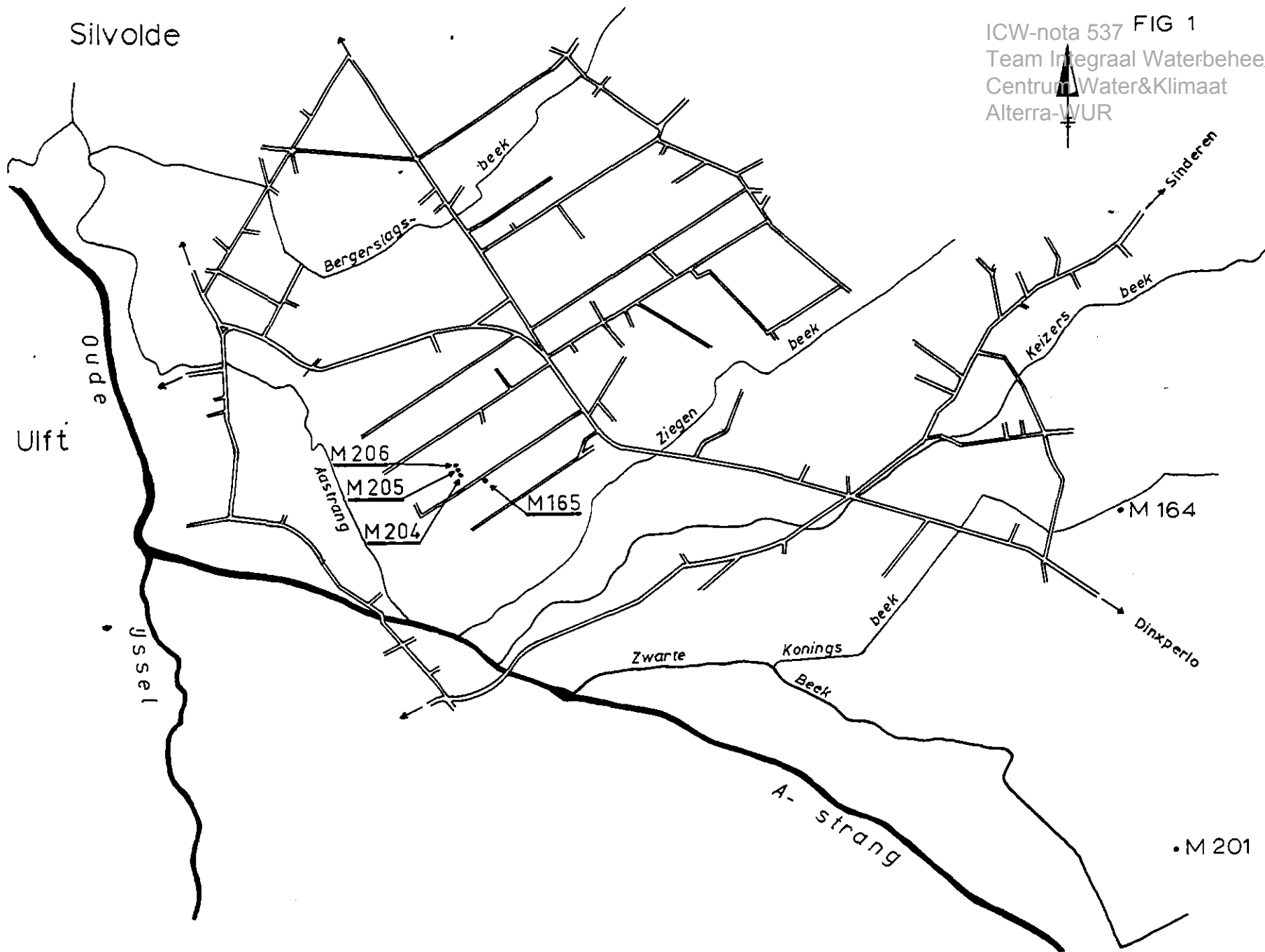
- RIDDER, dr. N.A. DE - 'De geo-hydrologische gesteldheid van de Achterhoek' (interim rapport) 1966 nota 327 I.C.W.
- THEIS, C.V. - The relation between the lowering of the piezometric surface and the duration of discharge of a well using groundwater storage. T.A.G.U. vol. 16 1935
- THIEM, G. - Hydrologische Methoden Gebhardt, Leibzig. 1906
- JACOB, C.E., Flow of groundwater. Engin. Hydraulics (H.Rouse ed.) New York 1950.
- HYDROLOGISCH COLLOGIUM - Permanente grondwaterstroming naar putten.

Pompproef M165

Situatieschets

Silvolde

ICW-nota 537 FIG 1
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR



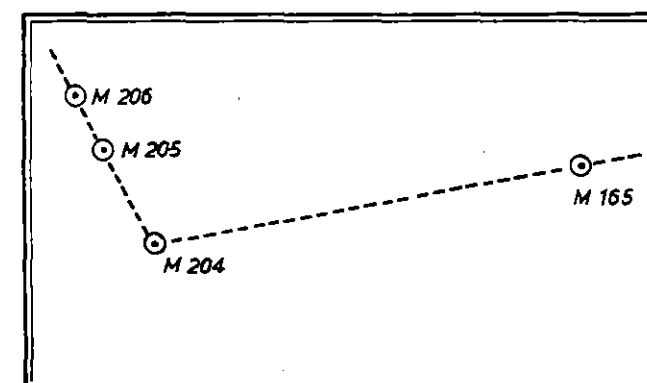
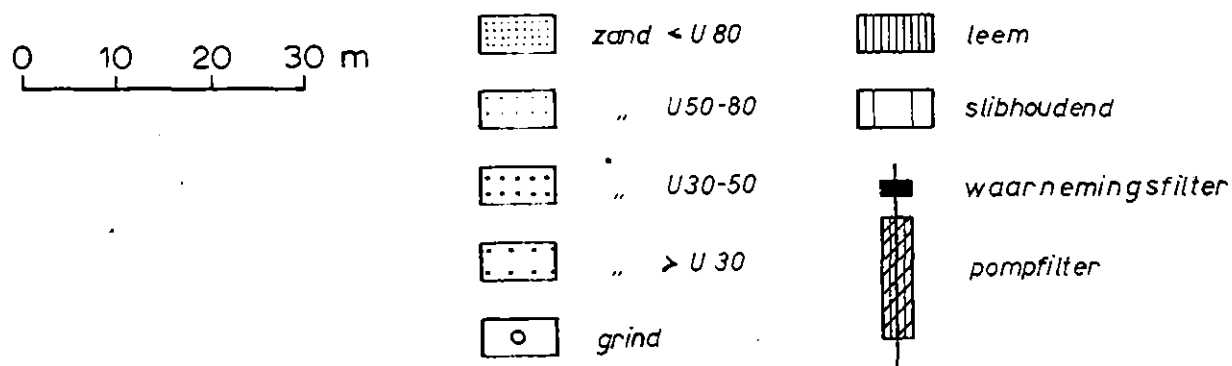
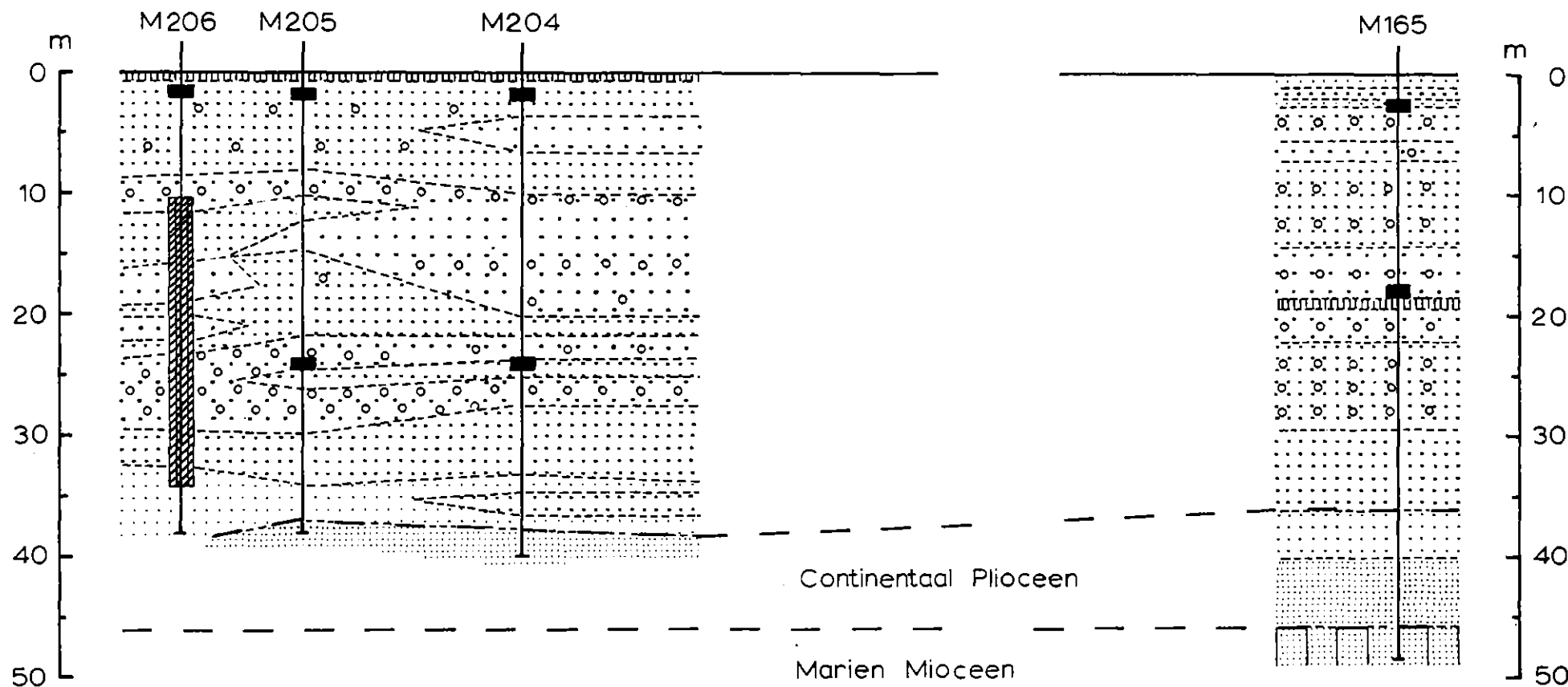
Gendringen

0 500 1000 m

Pompproef M 165
Lithologisch profiel

ICW-nota 537
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

FIG 2



Pomproef M 165

pompproef

M 165 (135 m)

M 164

M 201

M 204 (45 m)

M 205 (15 m)

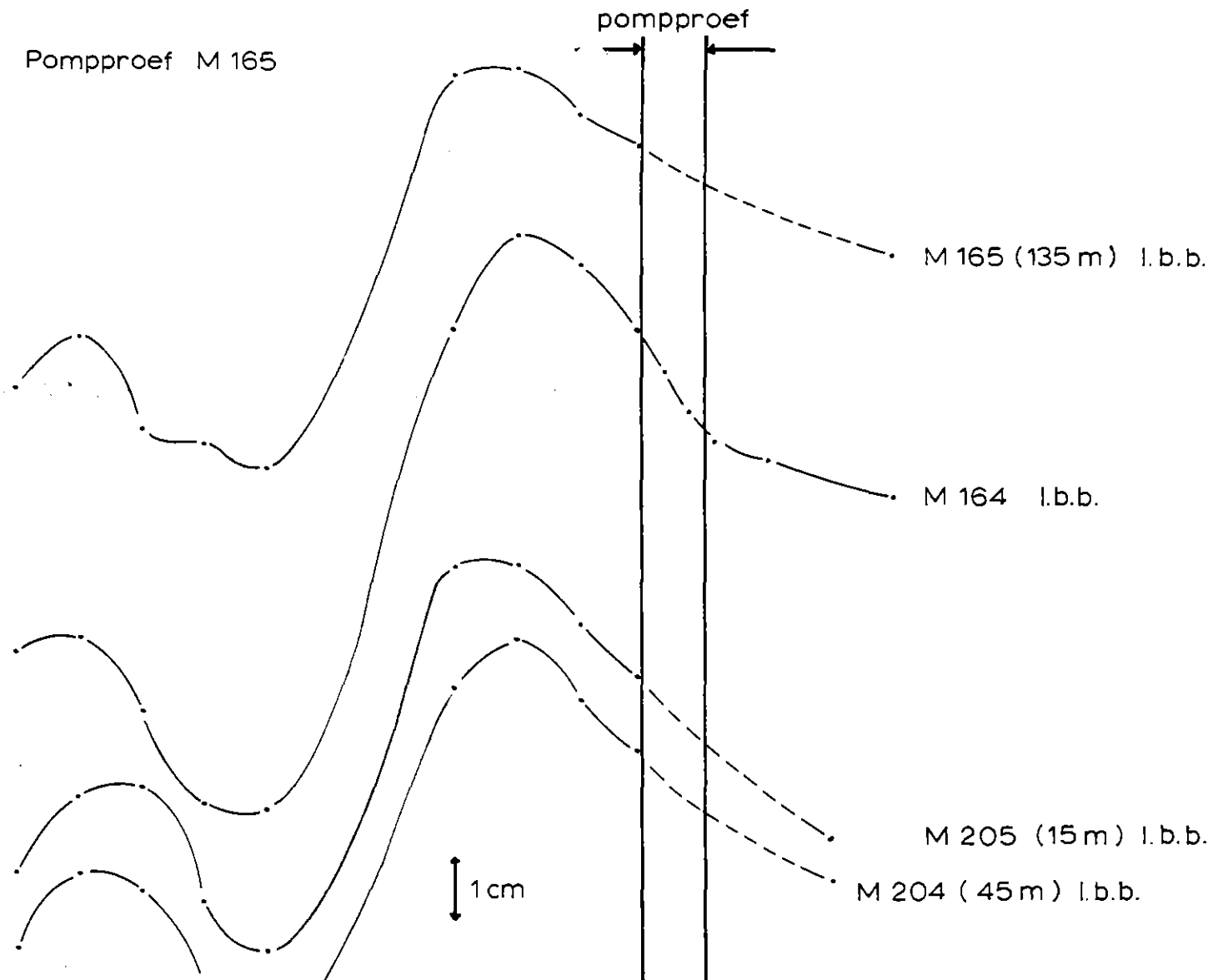
1 cm

Tijdstijghoogtelijnen van de
 diepe waarnemingsfilters

4/7 5/7 6/7 7/7 8/7 9/7 10/7 11/7 12/7 13/7 14/7 15/7 16/7 17/7 18/7

Pompproef M 165

pompproef



Tijdstijghoogtelijnen van de
 ondiepe waarnemingsfilters

4/7 5/7 6/7 7/7 8/7 9/7 10/7 11/7 12/7 13/7 14/7 15/7 16/7 17/7 18/7

Pompproef M 165

FIG 5

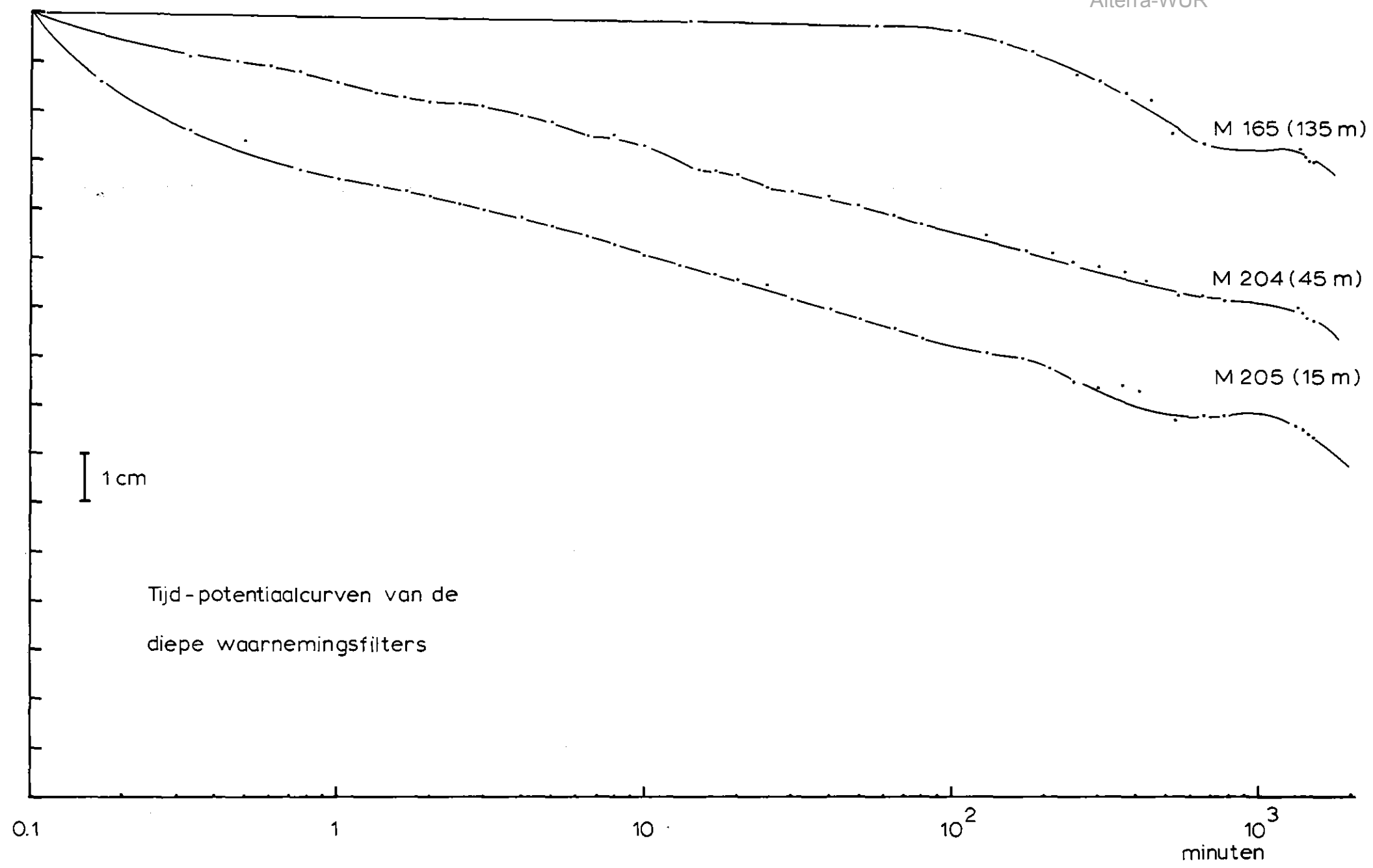
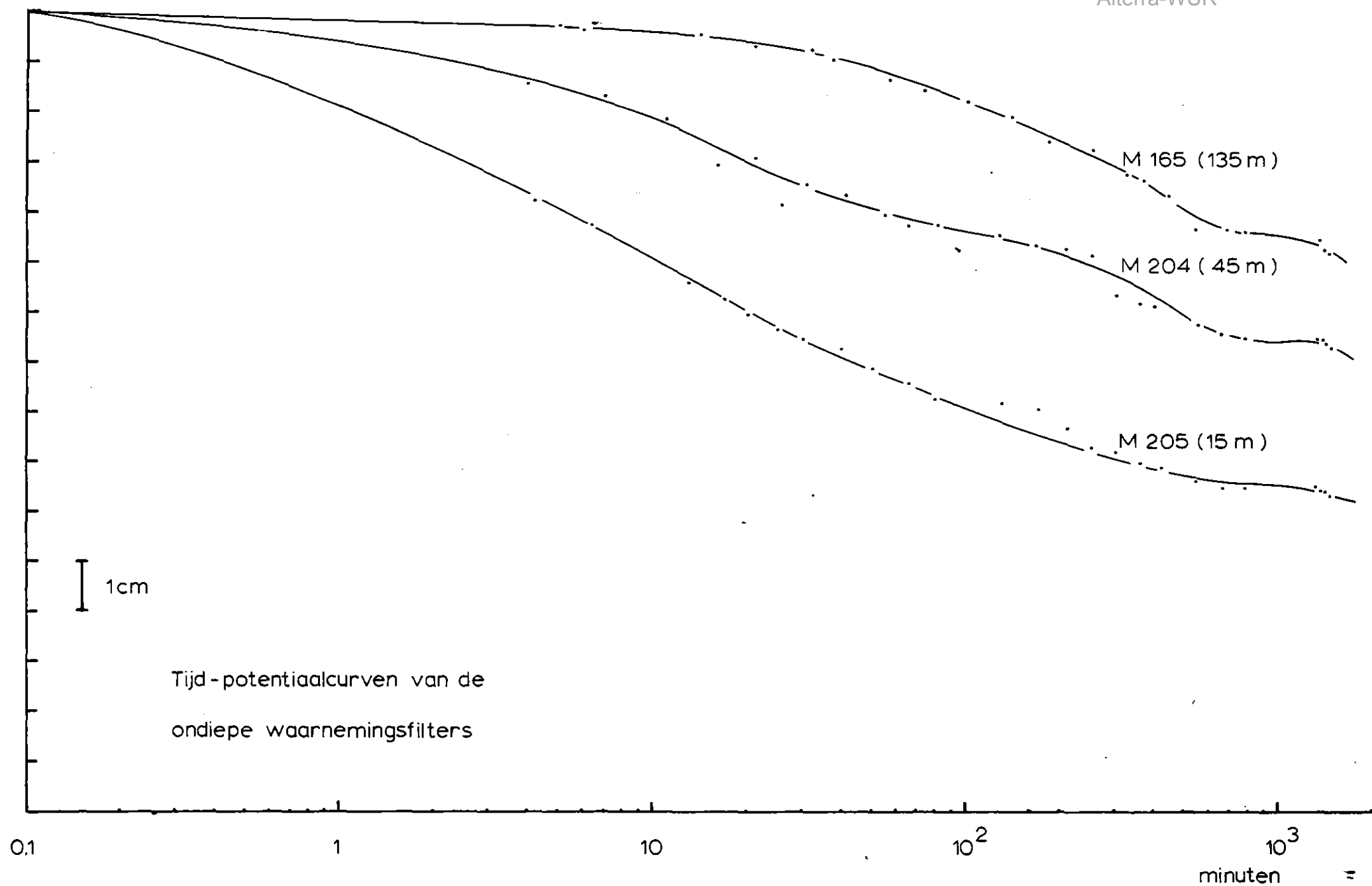
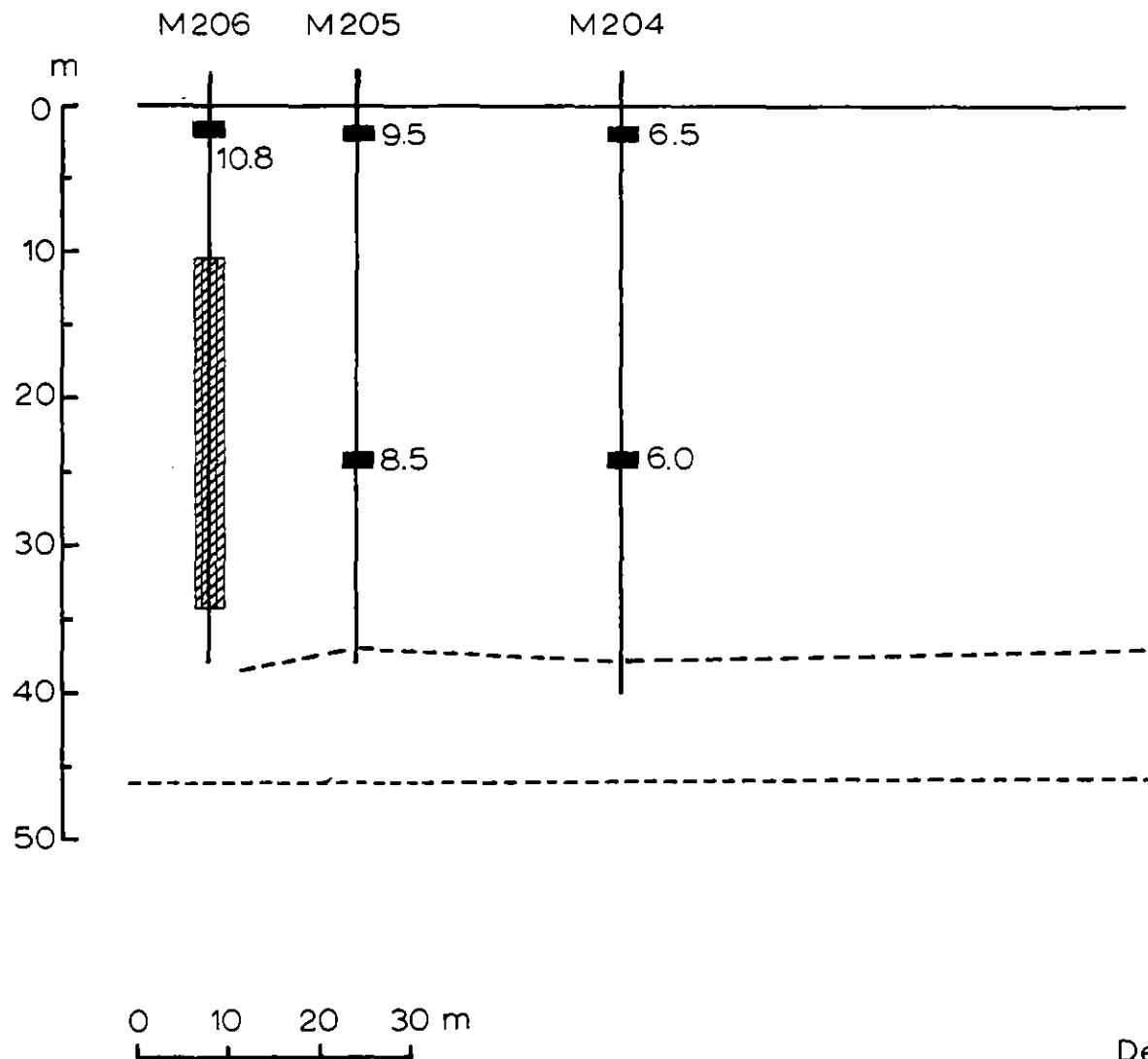


FIG. 6





De maximale potentiaaldalingen in cm

• na 1500 minuten

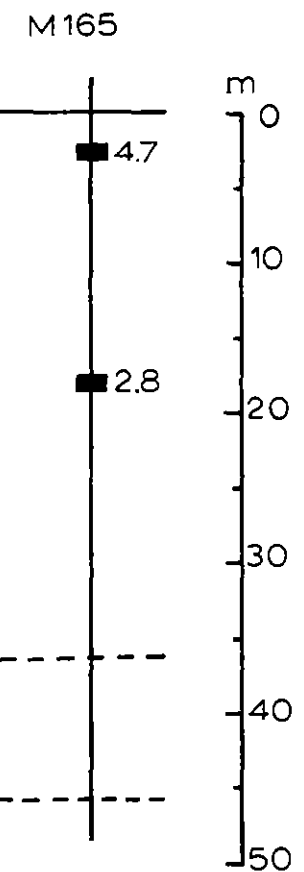
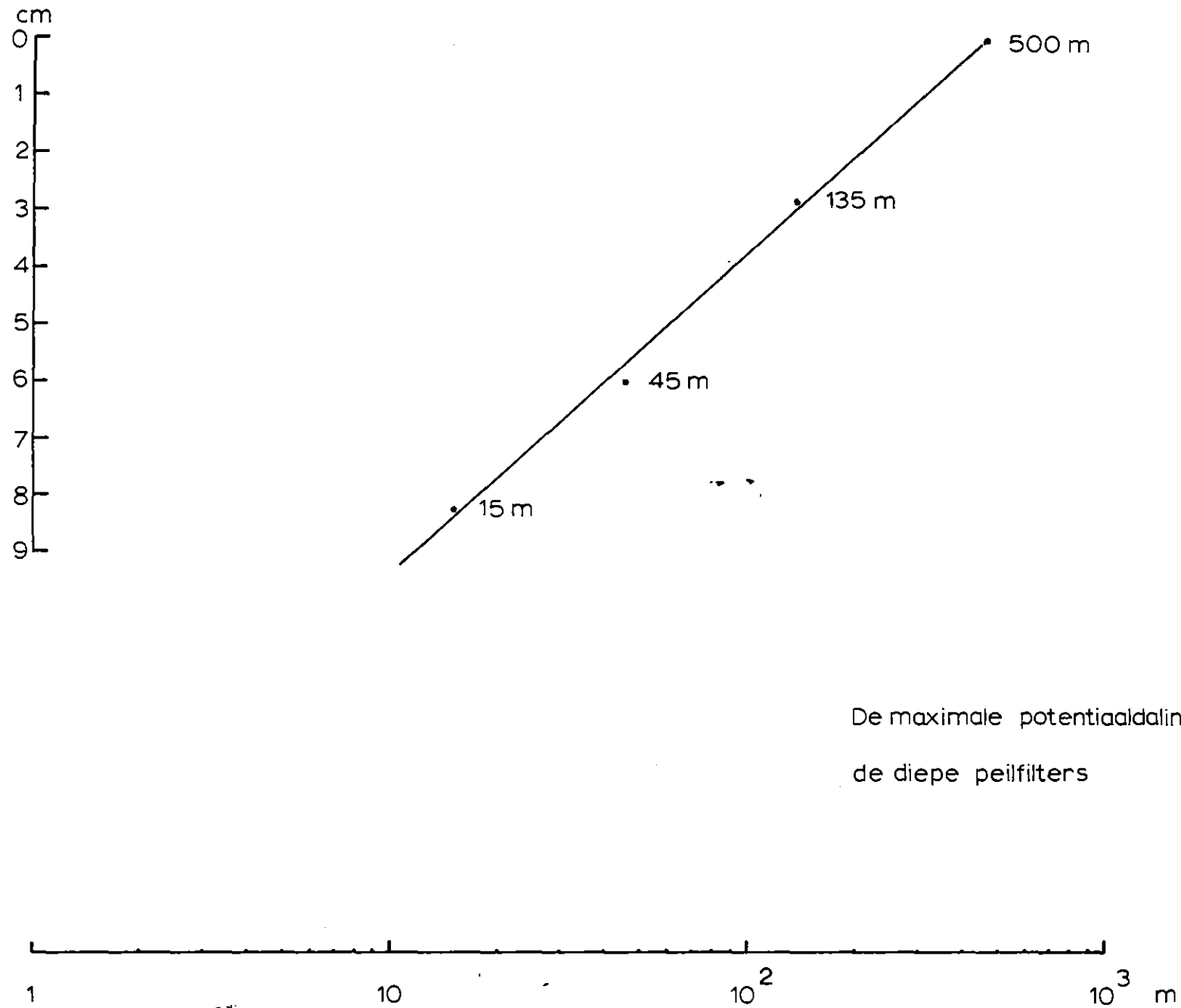
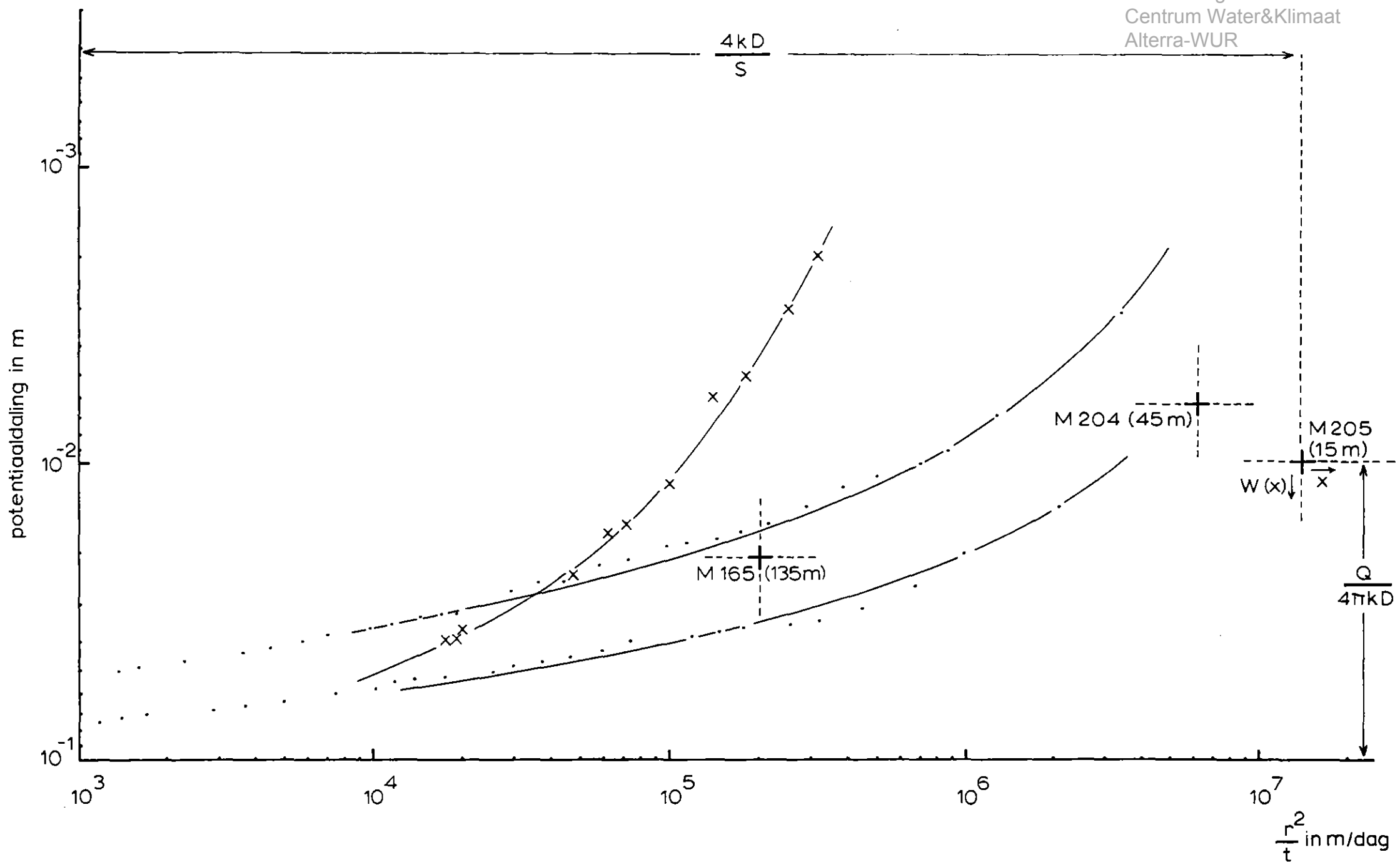


FIG 8

Pompproef M165



De maximale potentiaaldaling in
de diepe peilfilters



Pompproef M165

FIG 10

