ARCHIEFEXEMPLAAR

centrum voor onderzoek waterkeringen

Herwense Inlaagdijk
Bepaling doorlatendheid kleilagen in uiterwaard.

A-72.044 - II

Centrum Onderzoek Waterkeringen

Januari 1977.

Bijlagenlijst nota A-72.044-II

Bijlagenr.	Omschrijving	form/tek.nr.
1	infiltratieproef, boringen, situatie	3Z/76.383
2	infiltratieproef dp 12,50	2Z/76.387
3	infiltratieproef dp 13	B3/76.388
4	infiltratieproef dp 13,50	B3/76.389
5	infiltratieproef dp 12	A4/76.443
6	infiltratieproef dp 12,75	A3/76.444
7	infiltratieproef dp 13,25	A3/76.445
8	infiltratieproef dp 13,75	B3/76.446
9	boringen hmp 13	3Z/76.384

Inhoud

	bladzijde
1. Inleiding	1
2. Principe van de infiltratieproef	2
3. De uitvoering van de proeven	3
4. De proefresultaten	5
5. Conclusies	10

1. Inleiding

Bij het opstellen van plannen voor de verbetering van de bandijken kan het van belang zijn de waterdoorlatendheid van de verschillende grondlagen te kennen.
Als routine wordt de doorlatendheid van de grond bepaald aan monsters die in een labaratorium worden beproefd. Het is echter gebleken dat de doorlatendheid van kleilagen aan het oppervlak zo inhomogeen is dat bepaling daarvan aan kleine grondmonsters niet goed mogelijk is. In dit verband wordt onder meer verwezen naar C.O.W.-nota S-76.033.
In het kader van de voorbereiding van verbeteringen aan de Herwense Inlaagdijk zijn daarom een aantal in situ infiltratieproeven verricht met het doel de doorlatendheid van de oppervlakte kleilagen in de uiterwaard te bepalen. De resultaten van deze proeven worden in deze nota aangegeven.

2. Principe van de infiltratieproef

De toegepaste infiltratieproef bestaat in principe uit het vanaf het maaiveld laten indringen van water in de bodem. De hoeveelheid in de grond wegstromend water per tijdseenheid wordt gemeten.
Voor de bepaling van de doorlatendheid van de oppervlakte-kleilaag is het tevens nodig het potentiaalverschil over deze grondlaag te kennen. Dit kan worden bereikt door de potentiaal in de onderliggende zandondergrond tijdens de proef te meten. De potentiaal aan de bovenzijde van de kleilaag is bepaald door de waterkolom boven maaiveld die tijdens de infiltratieproef aanwezig was.

Uit het gemeten infiltratiedebiet en het potentiaalverschil kan de doorlatendheid bij bekende dikte van de kleilaag worden bepaald uit:

$Q = \frac{F.k.\Delta\phi}{D}$, waarin Q = infiltratiedebiet $[m^3/s]$
F = oppervlak meetring $[m^2]$
k = doorlatendheidscoëfficiënt $[m/s]$
$\Delta\phi$ = potentiaalverschil [mwk]
D = dikte kleilaag [m]

Bij onbekende dikte van de kleilaag kan deze door infiltratie bij twee of meer verschillende potentiaalverschillen over de kleilaag worden bepaald uit:

$\frac{Q_1}{\Delta\phi_1} = \frac{Q_2}{\Delta\phi_2}$, waarbij bedacht moet worden dat in $\Delta\phi_1$ en $\Delta\phi_2$ een term met de dikte D voorkomt, zijnde plaatshoogte verschil.
In die gevallen waarbij de freatische lijn bij het infiltreren beneden het niveau van de overgang klei naar zand ligt is de potentiaal onder de kleilaag gelijk aan nul te veronderstellen. Het potentiaalverschil tussen onder- en bovenkant van de kleilaag is dan te schrijven als $\Delta\phi = H + D$, waarin H de waterhoogte boven maaiveld voorstelt. De dikte van de kleilaag kan dan worden vastgesteld uit:

$$D = \frac{Q_2.H_1 - Q_1 H_2}{Q_1 - Q_2}$$

Door substitutie van D in de eerstgenoemde vergelijking wordt de doorlatendheidscoëfficiënt k bepaald.

Bij geringe waterhoogte H wordt $\frac{\Delta\phi}{D}$ ongeveer gelijk aan 1, en kan de doorlatendheidscoëfficiënt direct worden geschat uit:

$Q = F.k.$

Bij de afleiding van bovenstaande verbanden is uitgegaan van enkele aannamen, Dit zijn onder meer:

- de stroming door de te beproeven kleilaag is zuiver vertikaal. Dit wordt bij de proeven nagestreefd door gebruik van een kleinere meetring in een grotere, waardoor de randeffecten worden verminderd. Bij een bodemopbouw met een in de diepte toenemende k-waarde zal hierdoor een redelijk betrouwbare informatie worden verkregen. In het omgekeerde geval zal horizontale afstroming zonder ingrijpende maatregelen niet zijn te voorkomen.
- de kleilaag is wat de doorlatendheid betreft homogeen.
  Dit zal in het algemeen in werkelijkheid niet het geval zijn.
  Bij de beoordeling van de doorlatendheid van de kleilaag kan dit goeddeels worden ondervangen door gebruik te maken van de weerstandswaarde $C = \frac{D}{k}$ waarin voor D en k de uit de infiltratieproef bepaalde waarden worden gesubstitueerd.

3. De uitvoering van de proeven

De infiltratieproeven in de uiterwaard bij de Herwense Inlaagdijk zijn uitgevoerd in twee perioden.

De eerste serie proeven vond plaats op 12 oktober en 13 oktober 1976 en lagen ter hoogte van dp 12,5, dp 13 en dp 13,5. Voor de juiste situatie wordt verwezen naar bijlage 1.
Bij deze proeven werd gebruik gemaakt van een meetring Ø 0,30 m. Om deze meetring was een ring Ø 1,00 m aangebracht om de invloed van randeffecten te verminderen. De hoeveelheid geinfiltreerd water in zowel de meetring als de grote ring met de tijd is aangegeven op bijlagen 2 tot en met 4. Het resultaat van deze 3 proeven gaf een dermate grote spreiding in de berekende k-waarden dat een aanvulling nodig werd geacht. Een tweede proevenserie vond plaats in het tijdvak van 30 november tot en met 3 december 1976. Deze proeven werden eveneens uitgevoerd in de uiterwaard, nu ter hoogte van dp 12, 12,75, 13,25 en 13,75. In aanvulling op de bij de eerste proevenserie gebruikte ringen werd in een bak met afmetingen 3,10 m bij 3,10 m daaromheen geplaatst, zodat ook de ring Ø 1,00 m als meetring kon worden gebruikt. Bij de grotere afmetingen van de meetring kon worden verwacht dat de spreiding in de gemeten doorlatendheid geringer zou zijn, zodat met deze aanvullende proeven een meer representatieve doorlatendheidscoëfficiënt kon worden bepaald.
De resultaten van deze proeven zijn op eenzelfde wijze als voor de eerste proevenserie op bijlagen 5 tot en met 8 aangegeven.

4. De proefresultaten

Uit de gemeten infiltratiedebieten is op de manier zoals in par. 2 aangegeven de doorlatendheid k en dikte D van de kleilaag in de uiterwaard ter plaatse van de betreffende infiltratieproef bepaald.
Daarnaast is uit de infiltratiedebieten bij de waterhoogte maaiveld + 0,05 m de k-waarde bepaald onder de veronderstelling i = 1. Dit is gedaan voor zowel de meetring als ook voor de daaromheen geplaatste bak, die diende om het randeffect te verminderen.
De berekende k-waarde voor dit laatste geval kan slechts als bovengrens voor de doorlatendheid worden gezien. Het geeft echter vanwege het relatief grote infiltratieoppervlak wel enige indruk van de homogeniteit van de doorlatendheid.

De resultaten van de infiltratieproeven worden hieronder in tabelvorm weergegeven:

1e proevenserie.

meetplaats t.h.v.	meetring Ø 0,30 m		
	k [m/s]	D [m]	C [s]
dp 12,50	$0{,}65.10^{-5}$	0,11	$1{,}7.10^{4}$
dp 13,0	$7{,}54.10^{-5}$	< 0	?
dp 13,50	$2{,}36.10^{-5}$	0,25	$1{,}1.10^{4}$

De berekende doorlatendheidscoëfficiënt onder de aannamen i = 1 voor de infiltratie bij waterniveau van maaiveld + 0,05 m is:

meetplaats t.h.v.	meetring Ø 0,30 en i = 1	ring Ø 1,00 m i = 1
	k [m/s]	k [m/s]
dp 12,50	$0{,}94.10^{-5}$	$5{,}13.10^{-5}$
dp 13,0	$7{,}07.10^{-5}$	$12{,}59.10^{-5}$
dp 13,50	$2{,}83.10^{-5}$	$4{,}67.10^{-5}$

2e proevenserie

Meetplaats t.h.v.	Meetring Ø 0,30			meetring Ø 1,00 m		
	k [m/s]	d [m]	C [s]	k [m/s]	d [m]	C [s]
dp 12,0	-	-	-	-	-	-
dp 12,75	$0{,}47.10^{-5}$	0,20	$4{,}3.10^{4}$	$0{,}34.10^{-5}$	0,09	$2{,}7.10^{4}$
dp 13,25	$0{,}04.10^{-5}$	0,10	25.10^{4}	$0{,}05.10^{-5}$	0,03	$6{,}0.10^{4}$
dp 13,75	$1{,}22.10^{-5}$	0,31	$2{,}5.10^{4}$	$1{,}32.10^{-5}$	0,86	$6{,}5.10^{4}$

Bij de veronderstelling i = 1 wordt de k-waarde bij de waterhoogte maaiveld + 0,05 m:

Meetplaats t.h.v.	Meetring Ø 0,30 m i = 1	Meetring Ø 1,00 m i = 1	bak Ø 3,10 m i = 1
	k [m/s]	k [m/s]	k [m/s]
dp 12	$1{,}18.10^{-5}$	$2{,}43.10^{-5}$	-
dp 12,75	$0{,}59.10^{-5}$	$0{,}51.10^{-5}$	$0{,}25.10^{-5}$
dp 13,25	$0{,}06.10^{-5}$	$0{,}16.10^{-5}$	$0{,}63.10^{-5}$
dp 13,75	$1{,}42.10^{-5}$	$1{,}40.10^{-5}$	$0{,}46.10^{-5}$

Deze proefresultaten bevatten voldoende gegevens voor het vaststellen van een redelijk betrouwbare doorlatendheid k c.q. weerstandswaarde C van de kleilagen in de uiterwaard.
Het overzicht van de gemiddelde k-waarde is:

	meetring Ø 0,30 k [m/s]	meetring Ø 1,00 k [m/s]	meetring Ø 0,30 i = 1 k [m/s]	(meet)ring Ø 1,00 i = 1 k [m/s]
proevenserie 1	$3{,}52.10^{-5}$	-	$3{,}61.10^{-5}$	-
proevenserie 2	$0{,}58.10^{-5}$	$0{,}57.10^{-5}$	$0{,}81.10^{-5}$	$1{,}13.10^{-5}$
serie 1 + 2	$2{,}05.10^{-5}$	-	$2{,}01.10^{-5}$	-

	bak ⌀ 3,10 i = 1
	k [m/s]
proevenserie 1	
proevenserie 2	$0,45.10^{-5}$
totaal	-

Op grond van de in bovenstaand overzicht opgenomen gemiddelde doorlatendheidscoëfficiënten zou kunnen worden vastgesteld dat de te verwachten k-waarde van de kleilaag tussen 1.10^{-5} m/s en 4.10^{-5} m/s zal liggen.

Bij het bepalen van de k-waarde zoals hiervoor is gebeurd wordt echter geen rekening gehouden met de uit de proeven gevonden verschillende kleidikten. Deze komt wel tot uitdrukking als de weerstandswaarde C wordt beschouwd als kenmerkende grootheid voor de waterdoorlatendheid van de kleilaag. Voor het vaststellen van de "gemiddelde" weerstandswaarde kan,in analogie met parallel geschakelde weerstanden in de electriciteitsleer, het harmonisch gemiddelde worden gebruikt.
De aldus berekende gemiddelde c-waarden zijn:

	meetring Ø 0,30 m	meetring Ø 1,00 m
	C [s]	C [s]
proevenserie 1	$1{,}4.10^4$	-
proevenserie 2	$10{,}6.10^4$	$5{,}1.10^4$
serie 1 + 2	$6{,}9.10^4$	-

Uit dit overzicht blijkt dat een gemiddelde weerstandswaarde van C = ca.5.10^4 s kan worden verwacht.

Voor een nadere vaststelling van de dikte van de kleilaag zijn ter plaatse van de proeven uit serie 1 boringen verricht. De aangetroffen kleidikte bedraagt 0,50 à 0,70 m (zie bijlage 9). De maat wijkt soms aanmerkelijk af van de uit de infiltratieproeven berekende.
Dit wordt veroorzaakt door de over de hoogte van de kleilaag variërende k-waarde. In de berekening wordt die variërende k-waarde met één karakteristieke waarde aangegeven met een daarbij behorende karakteristieke dikte. Ter toelichting het volgende voorbeeld:
Stel dat een kleilaag bestaat uit twee lagen, laag 1 (dikte D_1, en doorlatendheid k_1) en laag 2, (dikte D_2, en doorlatendheid k_2). De totale weerstand C van de laag kan dan worden beschouwd als te zijn opgebouwd uit $C = C_1 + C_2$.

Door substitutie $C = \frac{D}{k}$ volgt:

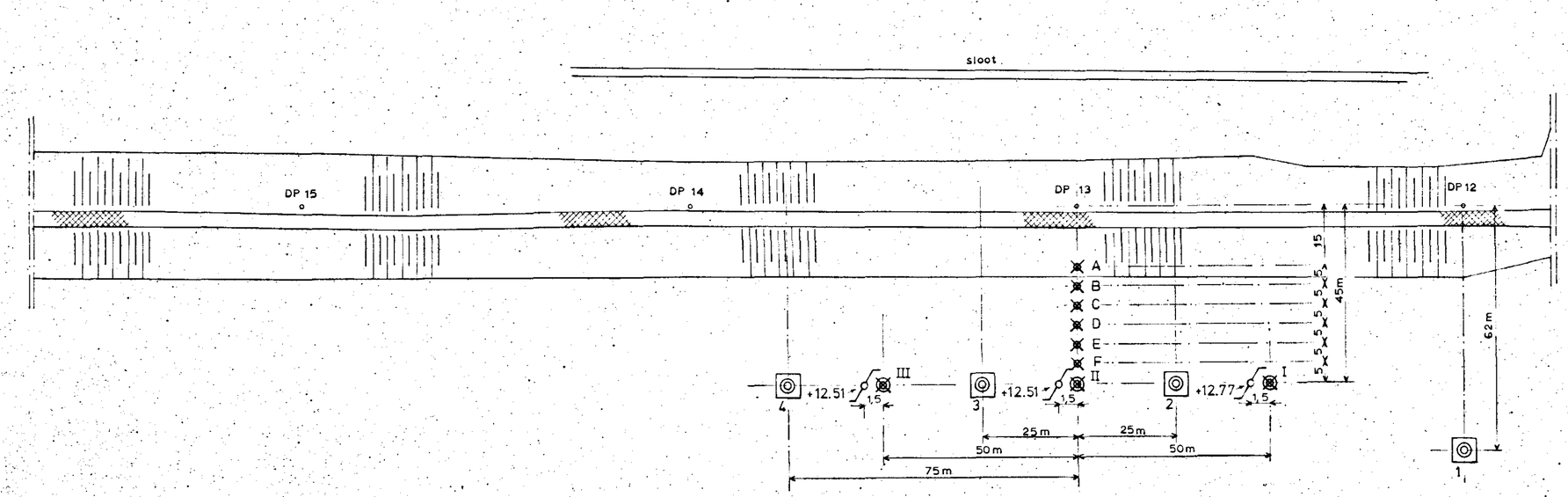
$$\frac{D}{k} = \frac{1}{k_1}\left(D_1 + \frac{k_1}{k_2} D_2\right), \text{ zodat}$$

$$k = k_1 \text{ en } D = D_1 + \frac{k_1}{k_2} D_2$$

Bij het toekennen van een doorlatendheidscoëfficiënt aan de aangetroffen kleilaag, die dan als homogeen doorlatend wordt verondersteld, moet daarom het quotiënt van de berekende weerstandswaarde en de totale dikte worden aangehouden. Bij de berekende gemiddelde weerstandswaarde C = ca. 5.10^4 s is de doorlatendheidscoëfficiënt bij een laagdikte van 0,50 à 0,70 m te stellen op k = 1 à 2.10^{-5} m/s. Het blijkt dat dit resultaat dicht bij de eerder met een rechtstreekse middeling berekende k-waarde ligt.

5. Conclusies

Met behulp van een zevental infiltratieproeven in situ is de doorlatendheid van de kleilagen in de uiterwaard voor de Herwense Inlaagdijk vastgesteld.
Als resultaat van deze proeven kan worden vastgesteld dat de gemiddelde doorlatendheidscoëfficiënt van de klei ongeveer $k = 10^{-5}$ m/s of iets groter is. De gemiddelde weerstandswaarde van de kleilaag kan worden geschat op $C = 5.10^{4}$ s.



N

HOOGTEN IN M. T.O.V. NAP

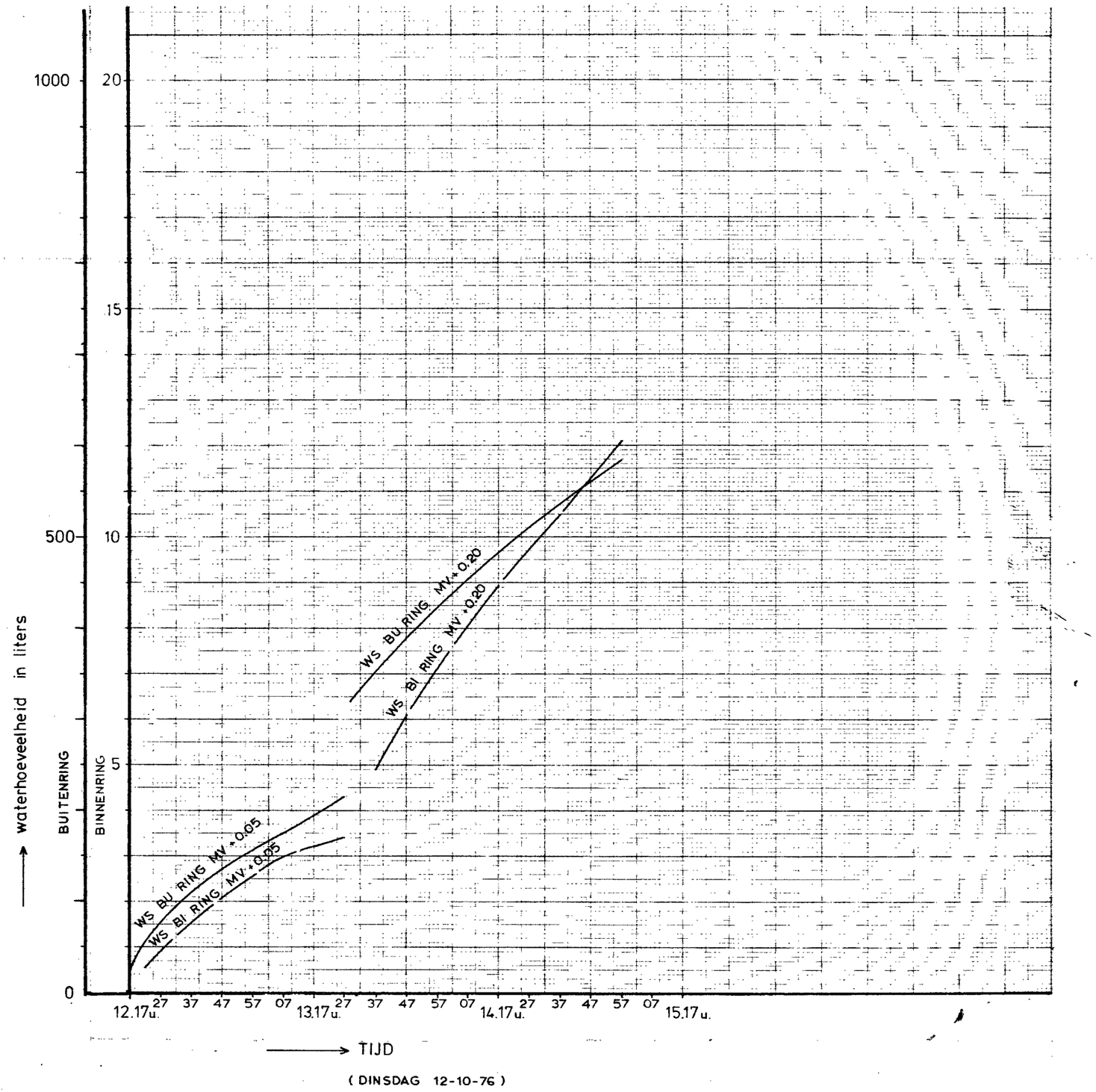
BAK INF. PROEF

BORING

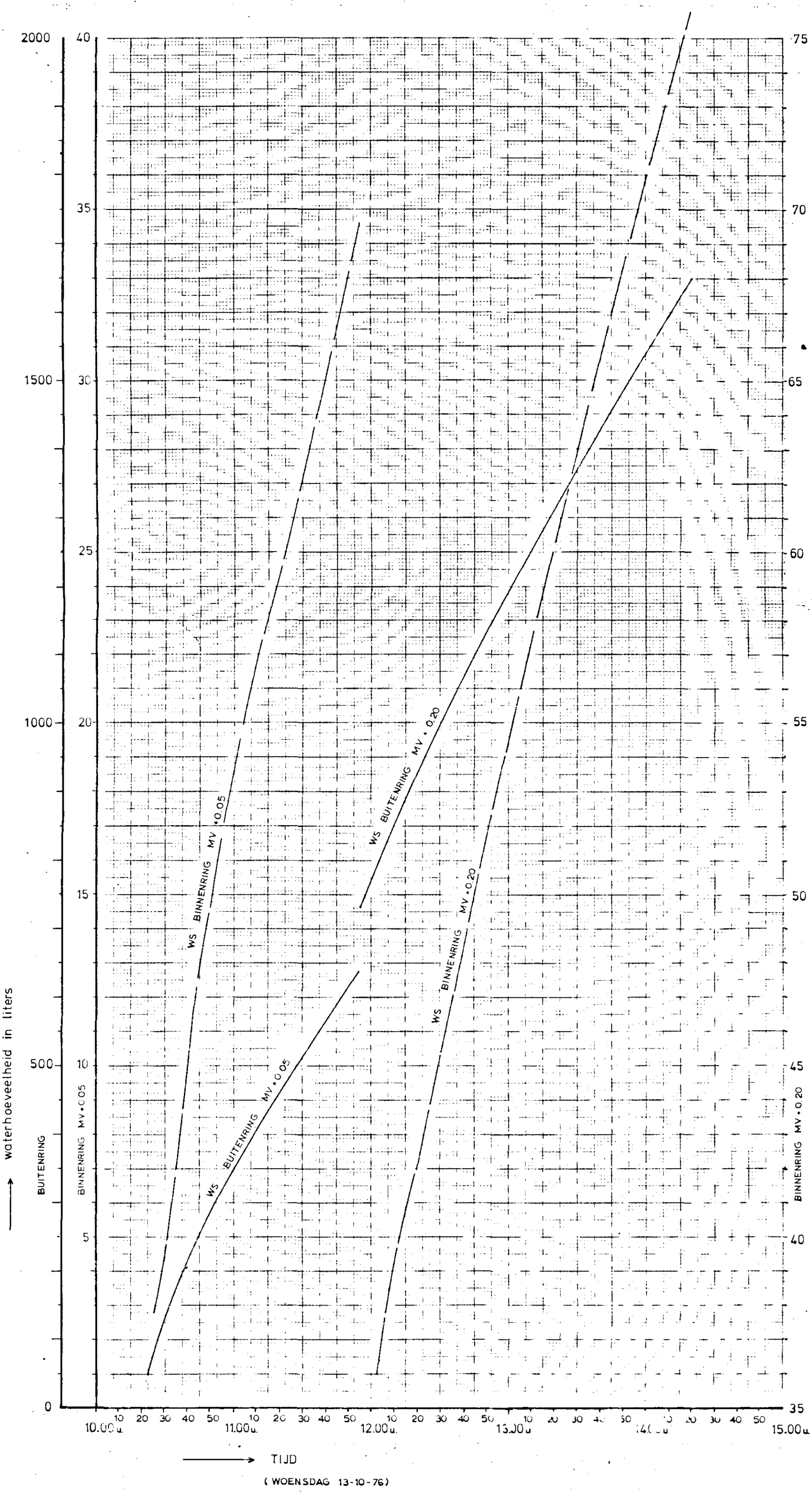
RING INF. PROEF

PEILBUIS

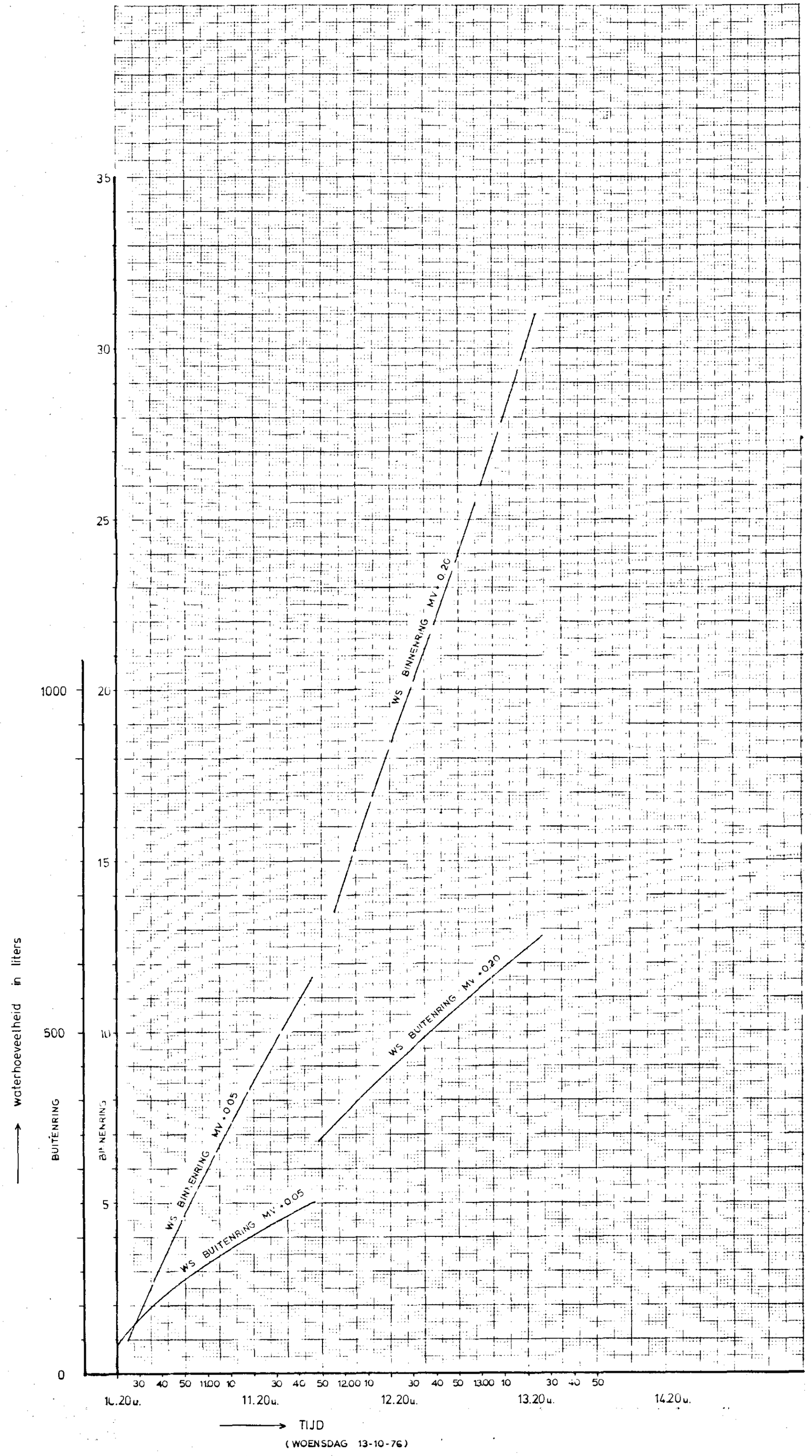
INFILTRATIEPROEF, BORINGEN, SITUATIE HERWENSE INLAAGDIJK DP 13				BIJLAGE	1.
				SCHAAL	1: 1000
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	gem	get	gez	3Z	WERKNR. A-72.044
		v.d.l. 10-76			TEK. NR. 76.383



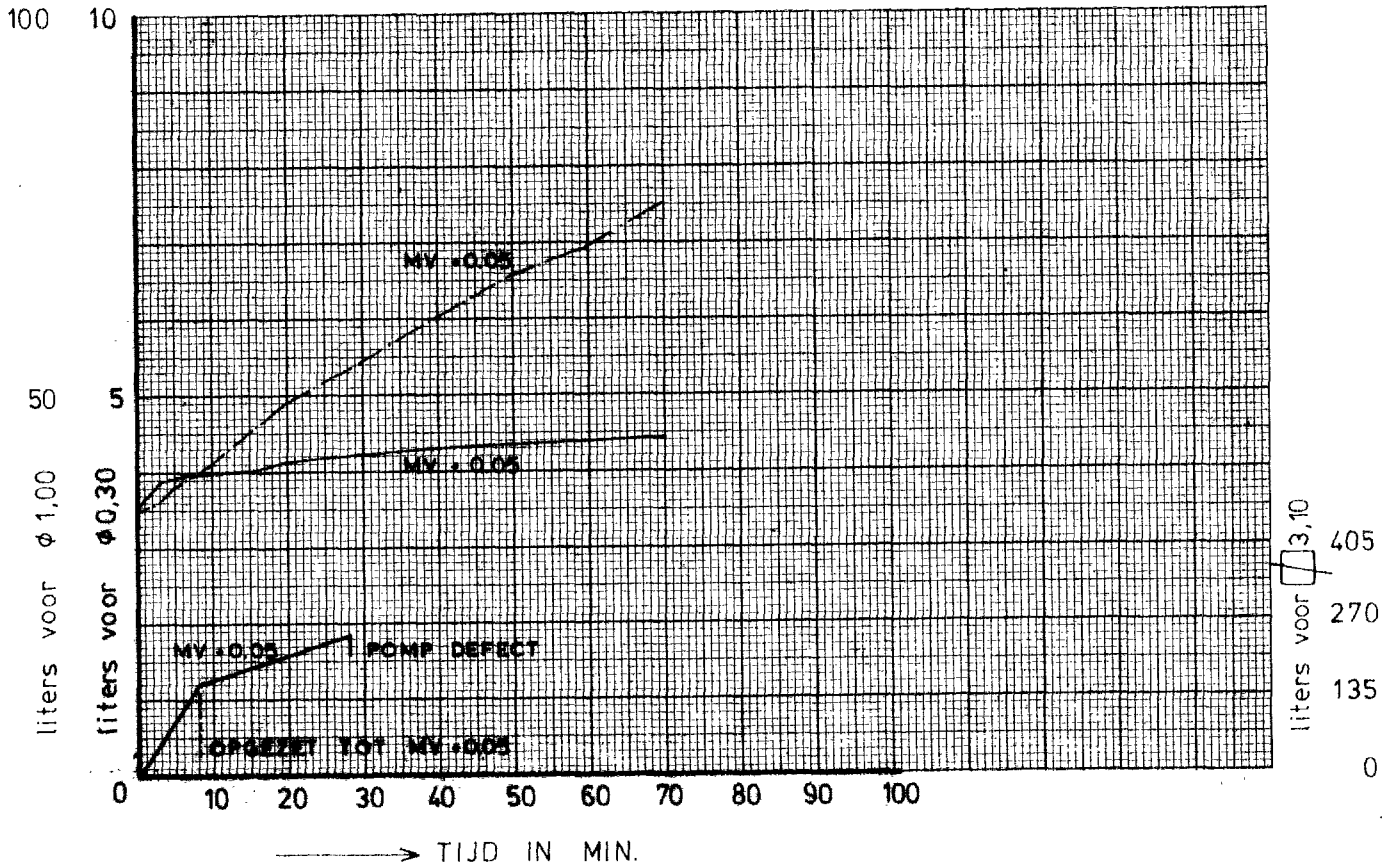
INFILTRATIEPROEF dp 12,50 HERWENSE INLAAGDIJK				BIJLAGE 2	
				SCHAAL -	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	gem	get	gez	2Z	WERKNR. A-72.044
		vdl 10-76	B		TEK. NR. 76.387



INFILTRATIEPROEF dp 13				BIJLAGE	3
HERWENSE INLAAGDIJK				SCHAAL	-
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	gem	get	gez	B3	WERKNR. A-72.044
		vdl 10-76			TEK. NR. 76.388



INFILTRATIEPROEF dp 13,50 HERWENSE INLAAGDIJK				BIJLAGE 4	
				SCHAAL -	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	gem	get	gez	B3	WERKNR. A~ 72 044
		vdl 10-76			TEK. NR. 76 389



DATUM : 30-11-1976

WEER : ZEER ZWARE REGENVAL TIJDENS PROEF

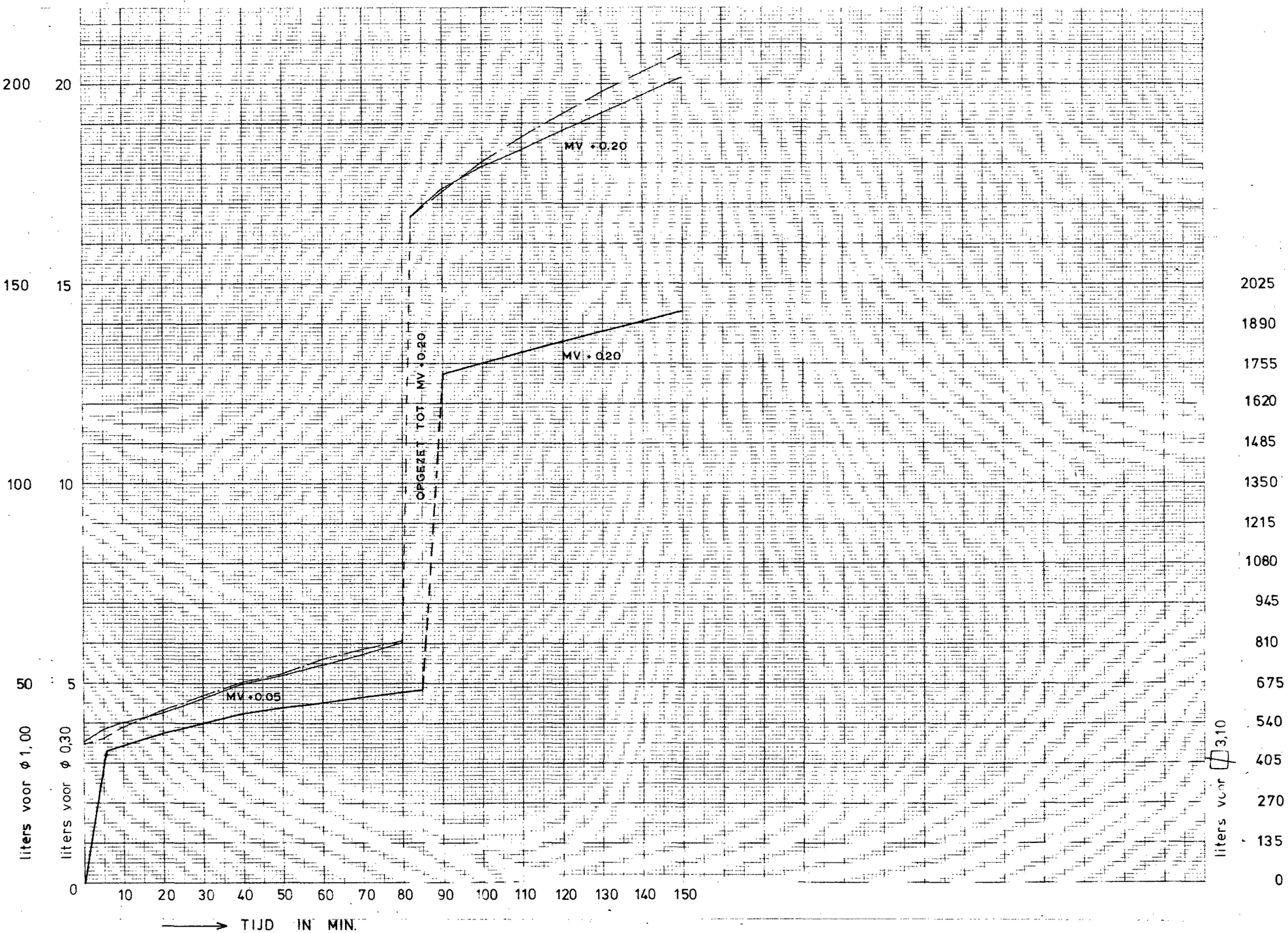
φ 0,30

φ 1,00

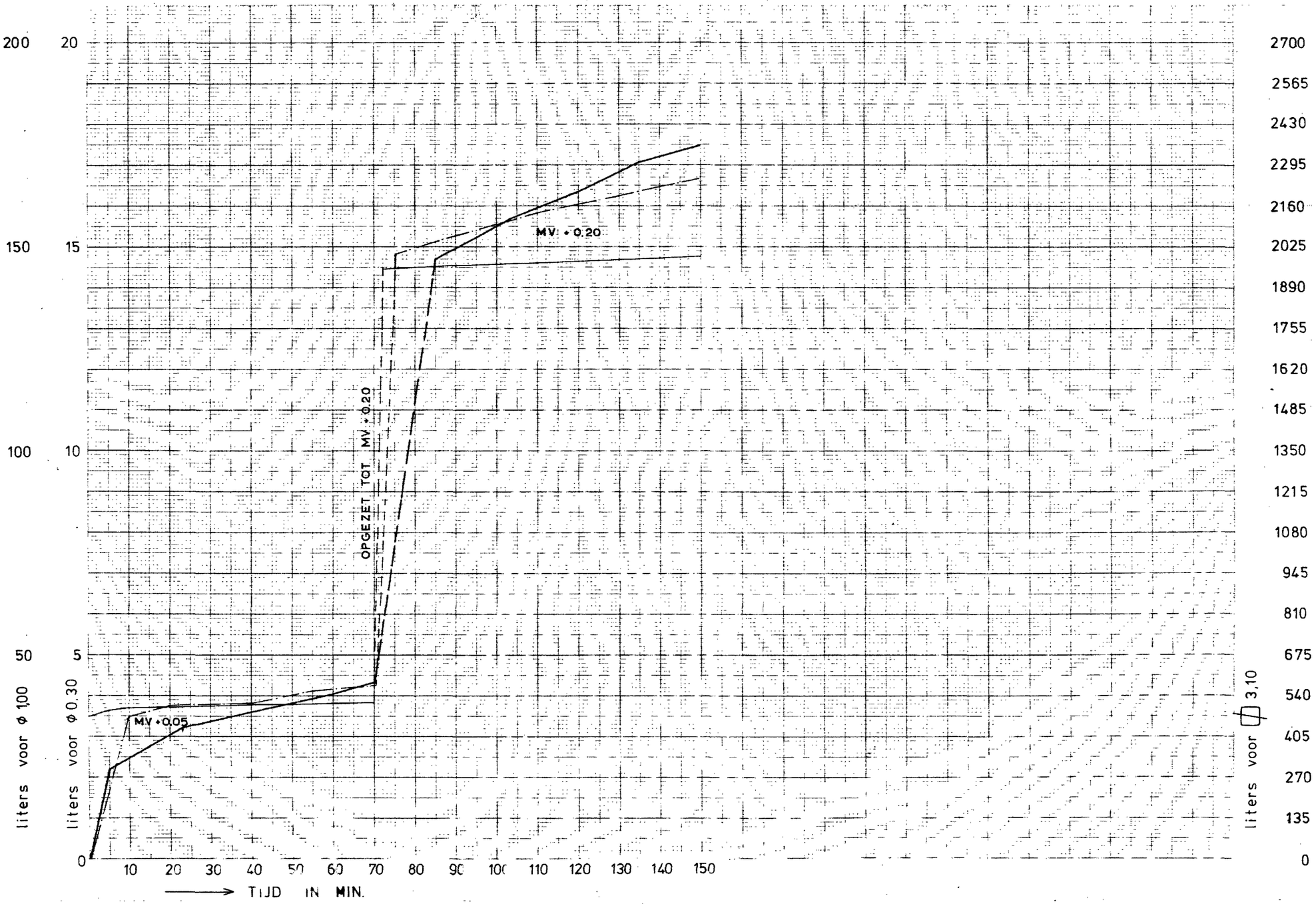
3,10

maten in meters

INFILTRATIEPROEF dp 12 HERWENSE INLAAGDIJK				BIJLAGE 5	
				SCHAAL -	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	gem	get	gez	A4	WERKNR. A-72.044
		vdl 12-76	B		TEK. NR. 76.443



INFILTRATIEPROEF dp 12,75				BIJLAGE	6
HERWENSE INLAAGDIJK				SCHAAL	-
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	gem	get	gez	A3	WERKNR. A-72.044
		vdl 12-76			TEK. NR. 76.444

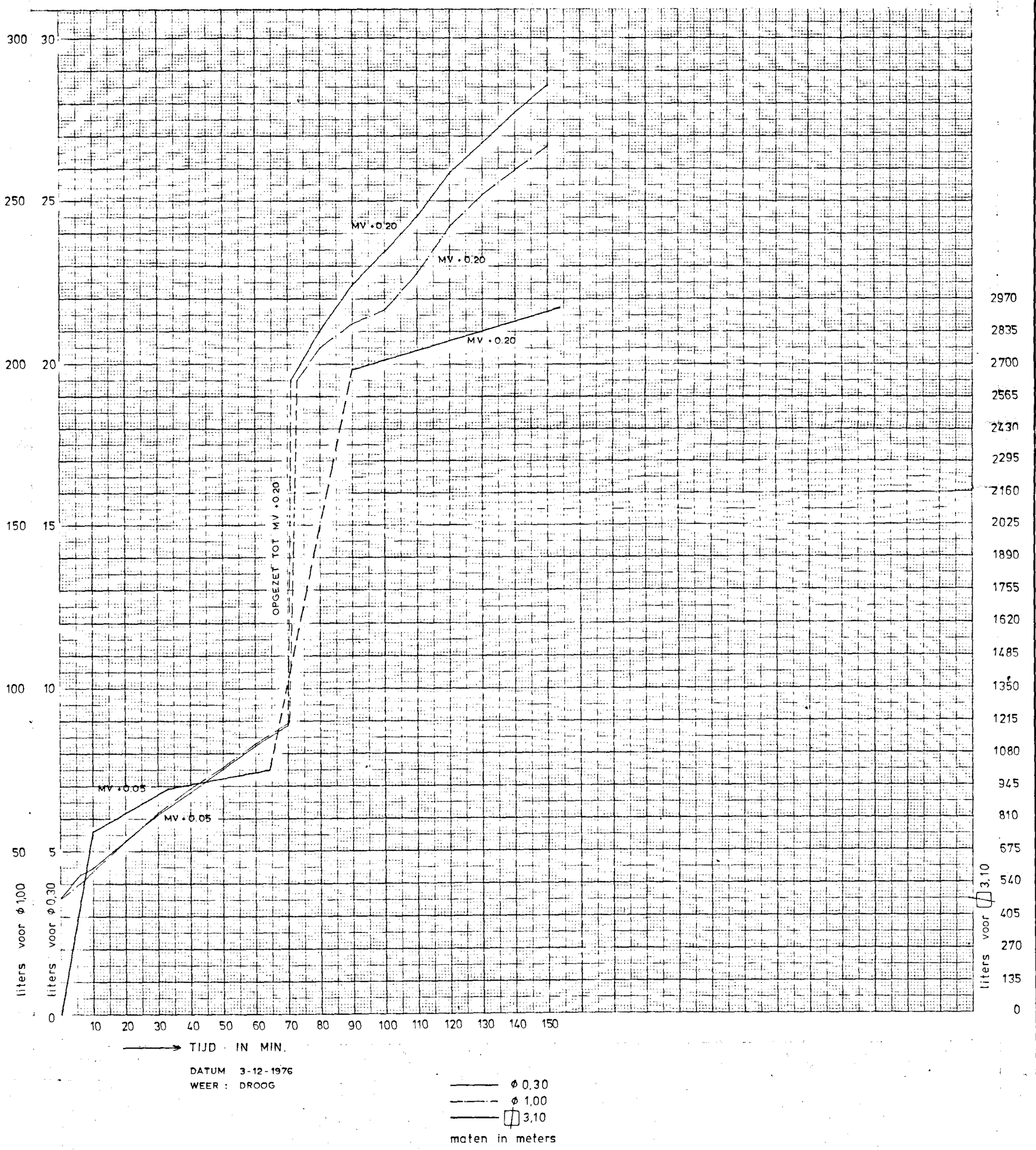


DATUM: 2-12-1976
WEER : DROOG

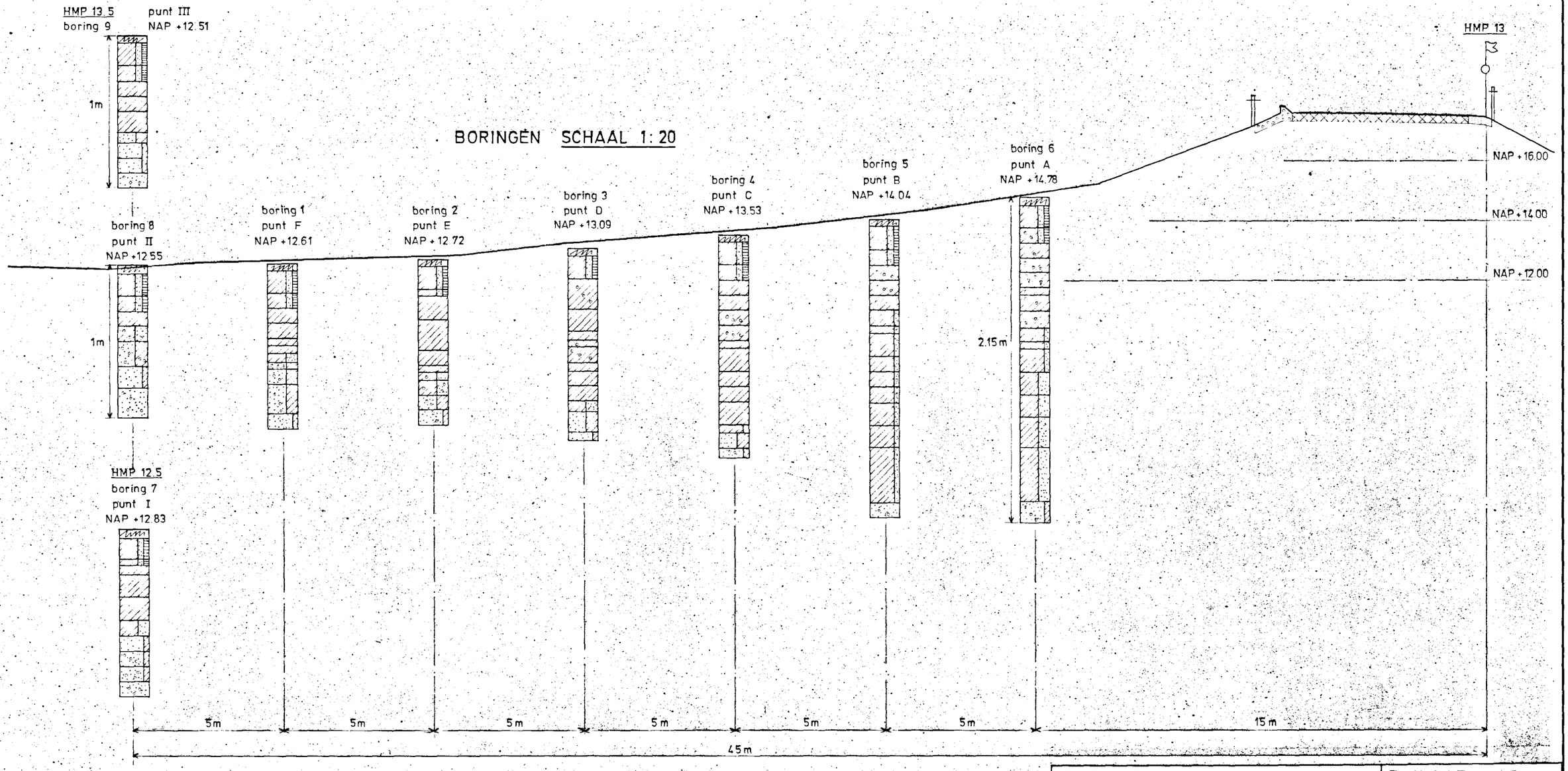
——— φ 0,30
—·—·— φ 1,00
——— ▯ 3,10

maten in meters

INFILTRATIEPROEF dp 13,25				BIJLAGE	7
HERWENSE INLAAGDIJK				SCHAAL	-
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	gem	get	gez	A3	WERKNR. A-72.044
		vdl 12-76			TEK. NR. 76.445



INFILTRATIEPROEF · dp 13,75 HERWENSE INLAAGDIJK				BIJLAGE 8	
				SCHAAL -	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	gem	get vdl 12 - 76	gez	B3	WERKNR. A-72.044 TEK. NR. 76.446



BORINGEN HMP 13			BIJLAGE 9
HERWENSE INLAAGDIJK			SCHAAL DWARSPROF. 1:100 BORINGEN 1:20
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	gem	get vdl 10-76	gez
3Z			WERKNR. A-72.044
			TEK. NR. 76.384

Geo-elektrisch onderzoek in en nabij de landsdijken:
's Gravenwaardsche dam, Herwense Inlaagdijk, Herwense Geërfde Bandijk en Pannerdense Bandijk.
A-72.044 en
A-73.081

Centrum voor Onderzoek Waterkeringen.

Bijlagenlijst

Nr.	Omschrijving	form/ tek. nr.
1	Situatie 's Gravenwaardse dam Situatie Herwense Inlaagdijk Situatie Herwense Geërfde Bandijk Situatie Pannerdense Bandijk	B6/76.329
2	Schema Wenneropstelling	A1 -75.020
3	Verloop rivierstand te Lobith	A4 -76.239
4	Resultaten geo elektrisch onderzoek 's-Gravenwaardse dam	A0 -76.326
5	Resultaten geo elektrisch onderzoek Herwense Inlaagdijk	A0 -76.322
6	Resultaten geo elektrisch onderzoek Herwense Geërfde bandijk	A0 -76.323
7	Resultaten geo elektrisch onderzoek Pannerdense bandijk	A0 -76.324

Inhoud

	Blz.
1. Inleiding	1
2. Methode van onderzoek	2
3. Uitvoering van de metingen	4
3.1. 's Gravenwaardse dam	4
3.1.1. Periode van uitvoering	4
3.1.2. Weersomstandigheden en rivierstand	4
3.1.3. Ligging van de trenches	4
3.2. Herwense Inlaagdijk; Herwense Geërfde Bandijk; Pannerdense Bandijk	5
3.2.1. Periode van uitvoering	5
3.2.2. Weersomstandigheden en rivierstand	5
3.2.3. Ligging van de trenches	6

1. Inleiding

In verband met de plannen tot verbetering van de landsdijken heeft de Rijkswaterstaat, Directie Gelderland het Centrum voor Onderzoek Waterkeringen verzocht een geo-elektrisch onderzoek uit te voeren in de 's Gravenwaardse dam (dp*53,25 t/m dp 75,50), de Herwense Inlaagdijk (dp 12 t/m dp 28), de Herwense Geërfde Bandijk (dp 28 t/m dp 43) en de Pannerdense Bandijk (dp 43 t/m dp 66,50).
Het doel van dit onderzoek is het verkennen van de ondergrond, waardoor een eerste informatie wordt verkregen over de homogeniteit en eventuele discontinuïteiten in de opbouw daarvan.
Het onderzoek is in verschillende perioden uitgevoerd. De totale lengte van de onderzochte dijken bedraagt 7675 m. Voor de situatie van de onderzochte trenches wordt verwezen naar bijlage 1.

* dp = dijkpaal

2. Methode van onderzoek

De geo-elektrische metingen worden uitgevoerd in enige trenches, die meestal zoveel mogelijk evenwijdig aan de as van de dijk zijn gelegen. In de meetpunten, die op constante afstand van elkaar zijn gelegen, wordt de schijnbare soortelijke elektrische weerstand ρs van de grond bepaald bij twee of meer verschillende elektrodenafstanden volgens de Wenneropstelling.

In de Wenneropstelling (bijlage 2) staan de vier elektroden op onderling gelijke afstanden a en symmetrisch ten opzichte van het meetpunt. De vier elektroden staan op een rechte lijn. Bij minimaal twee afstanden a wordt in het meetpunt de elektrische weerstand R gemeten. De schijnbare soortelijke weerstand ρs wordt berekend volgens $\rho s = C.R.$, waarin $C = 2\pi a$. Voor metingen op dijken is $C = 2\pi a$ een benadering.
Per meetpunt worden dus twee of meer, meestal verschillende waarden van ρs voor de respectievelijke elektrodenafstanden gevonden. Als vuistregel mag men aannemen dat de diepte waarover wordt gemeten, gelijk is aan de afstand a tussen de elektroden. De ρs-waarden bij de kleine waarde van a hebben voornamelijk betrekking op de lagen aan het oppervlak en de ρs-waarden bij de grote waarde van a geven informatie over de dieper gelegen lagen. Hierbij moet worden opgemerkt dat in het laatste geval de weerstand van de lagen aan het oppervlak wordt meegemeten. De keuze van de elektrodenafstanden is afhankelijk van de plaats van de trench.
Bij dit onderzoek zijn drie gevallen te onderscheiden:

a) De trench ligt in de uiterwaard: De afstand a hangt af van de te onderscheiden dikte van het kleipakket.
   In de meeste gevallen kan met twee kleine waarden van a worden volstaan.

b) De trench ligt op de dijk: De afstand a hangt af van de kerende hoogte van de dijk. De afstand a zal bij een grotere kerende hoogte groter worden gekozen. De afstand a moet in ieder geval zo groot zijn, dat informatie kan worden verkregen over de weerstand enige meters onder de dijk. Omdat meestal over een grote hoogte wordt gemeten, moeten vaak minimaal drie waarden voor a worden gekozen.

c) De trench ligt achter de dijk: De te onderzoeken diepte hangt af van de kerende hoogte van de dijk. De afstand a zal bij een grotere kerende hoogte groter worden gekozen, tenzij er aanwijzingen zijn dat de kleilaag een zeer geringe dikte heeft.

Als over een traject de waarden van ρs constant blijven, is daarover de grondopbouw hoogstwaarschijnlijk ook constant. Als de waarden van ρs verschillen, dan verschilt in het algemeen ook de grondopbouw. Hoe de grondopbouw is en wat de verandering van ρs precies inhoudt, kan niet uit de metingen alleen worden afgeleid. Aanvullend grondonderzoek, bijvoorbeeld in de vorm van sonderingen en/of boringen, is voor een volledige interpretatie vereist.
Slechts algemeen kan worden gesteld dat $\rho s > 40 \Omega$ m op de aanwezigheid van veel zand duidt en $\rho s < 30 \Omega$ m op de aanwezigheid van veel klei. Deze waarden gelden bij de aanwezigheid van zoet grondwater.

3. Uitvoering van de metingen

3.1. 's Gravenwaardse dam

3.1.1. Periode van uitvoering.

De metingen zijn verricht in de periode van 1 t/m 10 oktober 1973.

3.1.2. Weersomstandigheden en rivierstand.

De metingen zijn uitgevoerd in een tamelijk droge periode. Omdat de rivierstand in dit geval van vrij grote invloed kon zijn op de waarnemingen, is deze gedurende de meetperiode opgenomen. Het blijkt dat de rivierstand een geringe daling ondergaat van N.A.P. + 8,30 m op 1 oktober naar N.A.P. + 8,19 m op 10 oktober. Deze geringe peildaling heeft waarschijnlijk een te verwaarlozen invloed gehad op de meetresultaten.

3.1.3. Ligging van de trenches.

In de uiterwaard zijn twee trenches gemeten.

a) Trench 1 evenwijdig aan de as van de dijk op ongeveer 30 meter afstand van de teen.
   Tussen dp 61,25 en dp 64,50 kon niet worden gemeten, omdat hier vrijwel geen voorland aanwezig is.

b) Trench 2 evenwijdig aan de as van de dijk op ongeveer 5 meter afstand van de teen.

Over de buitenkruinlijn is één trench (trench 3) gemeten.
In het achterland is één trench gemeten (trench 4) waar dit mogelijk was. Van dp 56 t/m dp 69 ligt de trench op 2 m uit de binnenteen. Van dp 69 t/m dp 75,50 ligt de trench op 5 m uit de binnenteen.

In alle trenches zijn de meetpunten op 25 meter afstand van elkaar gekozen.

3.2. Herwense Inlaagdijk; Herwense Geërfde Bandijk; Pannerdense Bandijk.

3.2.1. Periode van uitvoering.

Behoudens ± 300 m van de Herwense Inlaagdijk (dp 12 t/m dp 15) is gemeten in de periode van 24 februari 1976 t/m 30 maart 1976.
Hierbij moet worden opgemerkt dat in deze periode niet op alle werkdagen is gemeten. Van dp 12 t/m dp 15 is het onderzoek in december 1975 uitgevoerd gedurende 2 dagen. De onderzoekperioden staan op bijlage 5,6 en 7 aangegeven. De ligging van de trenches is iets verschillend van het overige gedeelte. Daarom zal deze in hoofdstuk 3.2.3. apart worden vermeld.

3.2.2. Weersomstandigheden en rivierstand.

Gezien de lange periode waarover is gemeten, zal bij het interpreteren van de metingen moeten worden nagegaan of veranderingen in weersomstandigheden en rivierstand van invloed zijn geweest op de meetresultaten. Daarom volgt hieronder een overzicht van de weersomstandigheden. Voor het verloop van de rivierstand wordt verwezen naar bijlage 3.

Datum	Weersomstandigheden
24-2-'76	Lichte regen na droge periode.
25-2-'76	Afnemend buïg
26-2-'76	Droog
27-2-'76	Droog
2-3-'76	Droog, na regenachtige periode
3-3-'76	Droog en zonnig
4-3-'76	Droog en zonnig
9-3-'76	Droog en zonnig; licht vorst
10-3-'76	Droog en zonnig met lichte vorst in de nacht
11-3-'76	Bewolkt en droog met nachtvorst
17-3-'76	Lichte regenbuien
18-3-'76	Mistig
19-3-'76	Droog en heïg
23-3-'76	Zonnig en droog; lichte vorst
24-3-'76	Zonnig en droog
30-3-'76	Droog na periode met regenbuien.
11-8-'76	Droog en zonnig

Gezien het bovenstaande overzicht zullen de weersomstandigheden van geringe invloed zijn geweest op de meetresultaten.

3.2.3. Ligging van de trenches.

In de uiterwaard zijn twee trenches gemeten:

a) Trench I: Van dp 12 t/m dp 15 op ± 5 m uit de teen.
Van dp 15 t/m dp 66,50 op ± 10 m uit de teen.

b) Trench II: Van dp 12 t/m dp 15 op ± 30 m uit de teen.
Van dp 15 t/m dp 66,50 op ± 25 m uit de teen.

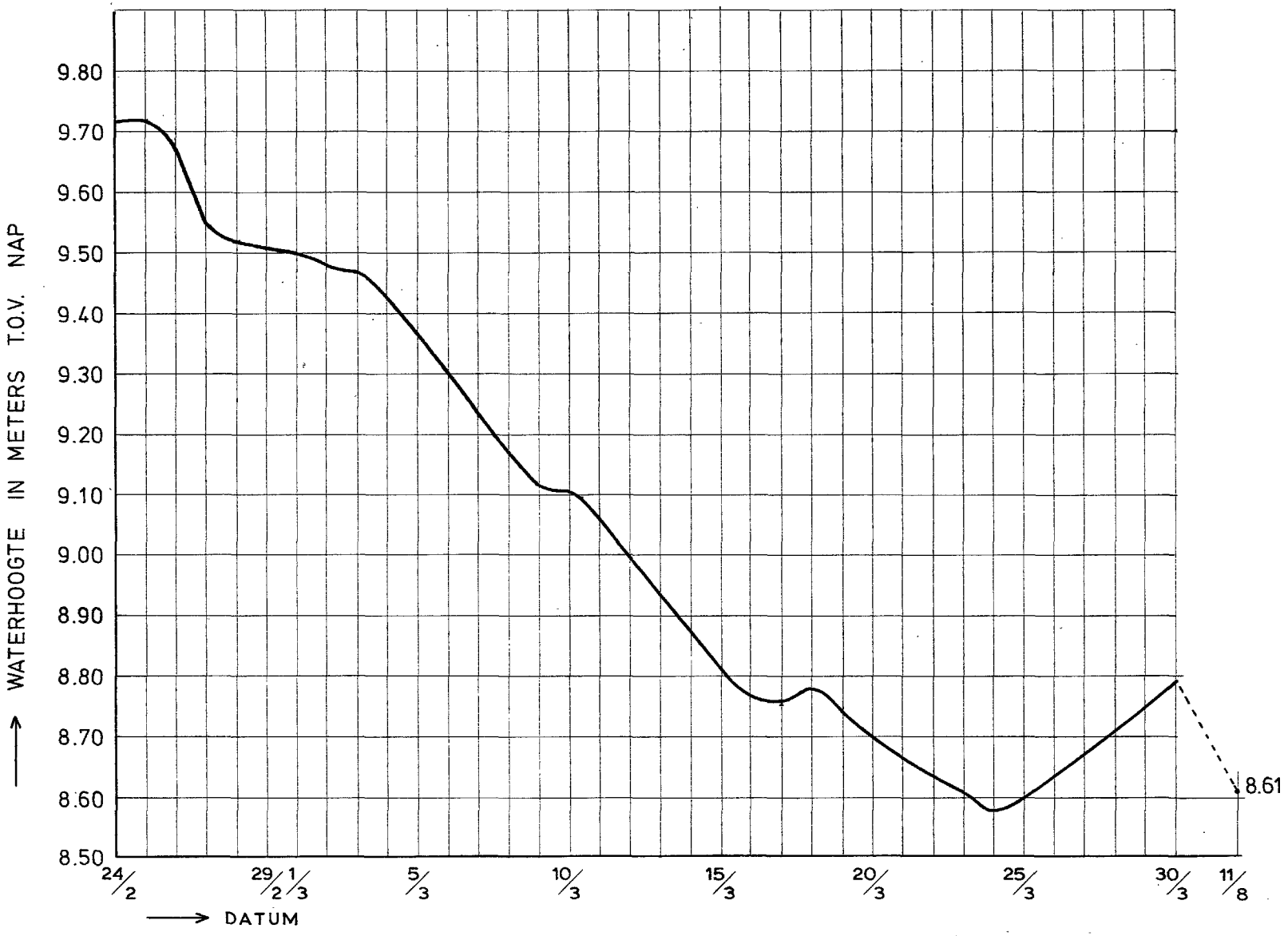
Over de dijk is trench III gemeten. De plaats van deze trench varieert, omdat het niet overal mogelijk was om een meting uit te voeren vanwege de aanwezigheid van leidingen, hekken, bebouwing e.d.
Van dp 12 t/m dp 15 ligt trench III op de binnenkruinlijn.
Van dp 15 t/m dp 38,25 ligt trench III bovenin het binnentalud.
Van dp 38,25 t/m dp 66,50 ligt trench III hoog in het buitentalud.

In het achterland zijn, waar dit mogelijk was, twee trenches gemeten:

a) Trench IV: Van dp 12 t/m dp 15 op ± 5 m uit de teen.
Van dp 15 t/m dp 66,50 op ± 10 m uit de teen.

b) Trench V: Van dp 12 t/m dp 15 is deze trench niet gemeten.
Van dp 15 t/m dp 66,50 op ± 25 m uit de teen.

In alle trenches zijn de meetpunten op 25 meter afstand van elkaar gekozen.



CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN	OPNAME RIVIERSTAND TE LOBITH VAN 24/2/'76 t/m 30/3/'76 (+ 11-8-'76)	BIJLAGE 3		SCHAAL -
		get. vdl 5-76 gez.	A4	WERKNR. A-73.081
				TEK. NR. 76.239

Herwense Inlaagdijk
Bepaling doorlatendheid kleilagen in uiterwaard.

A-72.044 - II

Centrum Onderzoek Waterkeringen

Januari 1977.

Bijlagenlijst nota A-72.044-II

Bijlagenr.	Omschrijving	form/tek.nr.
1	infiltratieproef, boringen, situatie	3Z/76.383
2	infiltratieproef dp 12,50	2Z/76.387
3	infiltratieproef dp 13	B3/76.388
4	infiltratieproef dp 13,50	B3/76.389
5	infiltratieproef dp 12	A4/76.443
6	infiltratieproef dp 12,75	A3/76.444
7	infiltratieproef dp 13,25	A3/76.445
8	infiltratieproef dp 13,75	B3/76.446
9	boringen hmp 13	3Z/76.384

Inhoud bladzijde

1. Inleiding 1

2. Principe van de infiltratieproef 2

3. De uitvoering van de proeven 3

4. De proefresultaten 5

5. Conclusies 10

1. Inleiding

Bij het opstellen van plannen voor de verbetering van de bandijken kan het van belang zijn de waterdoorlatendheid van de verschillende grondlagen te kennen.
Als routine wordt de doorlatendheid van de grond bepaald aan monsters die in een labaratorium worden beproefd. Het is echter gebleken dat de doorlatendheid van kleilagen aan het oppervlak zo inhomogeen is dat bepaling daarvan aan kleine grondmonsters niet goed mogelijk is. In dit verband wordt onder meer verwezen naar C.O.W.-nota S-76.033.
In het kader van de voorbereiding van verbeteringen aan de Herwense Inlaagdijk zijn daarom een aantal in situ infiltratieproeven verricht met het doel de doorlatendheid van de oppervlakte kleilagen in de uiterwaard te bepalen. De resultaten van deze proeven worden in deze nota aangegeven.

2. Principe van de infiltratieproef

De toegepaste infiltratieproef bestaat in principe uit het vanaf het maaiveld laten indringen van water in de bodem. De hoeveelheid in de grond wegstromend water per tijdseenheid wordt gemeten.
Voor de bepaling van de doorlatendheid van de oppervlakte-kleilaag is het tevens nodig het potentiaalverschil over deze grondlaag te kennen. Dit kan worden bereikt door de potentiaal in de onderliggende zandondergrond tijdens de proef te meten. De potentiaal aan de bovenzijde van de kleilaag is bepaald door de waterkolom boven maaiveld die tijdens de infiltratieproef aanwezig was.

Uit het gemeten infiltratiedebiet en het potentiaalverschil kan de doorlatendheid bij bekende dikte van de kleilaag worden bepaald uit:

$Q = \frac{F.k.\Delta\phi}{D}$, waarin Q = infiltratiedebiet $[m^3/s]$
F = oppervlak meetring $[m^2]$
k = doorlatendheidscoëfficiënt $[m/s]$
$\Delta\phi$ = potentiaalverschil [mwk]
D = dikte kleilaag [m]

Bij onbekende dikte van de kleilaag kan deze door infiltratie bij twee of meer verschillende potentiaalverschillen over de kleilaag worden bepaald uit:

$\frac{Q_1}{\Delta\phi_1} = \frac{Q_2}{\Delta\phi_2}$, waarbij bedacht moet worden dat in $\Delta\phi_1$ en $\Delta\phi_2$ een term met de dikte D voorkomt, zijnde plaatshoogte verschil.
In die gevallen waarbij de freatische lijn bij het infiltreren beneden het niveau van de overgang klei naar zand ligt is de potentiaal onder de kleilaag gelijk aan nul te veronderstellen. Het potentiaalverschil tussen onder- en bovenkant van de kleilaag is dan te schrijven als $\Delta\phi = H + D$, waarin H de waterhoogte boven maaiveld voorstelt. De dikte van de kleilaag kan dan worden vastgesteld uit:

$$D = \frac{Q_2.H_1 - Q_1 H_2}{Q_1 - Q_2}$$

Door substitutie van D in de eerstgenoemde vergelijking wordt de doorlatendheidscoëfficiënt k bepaald.

Bij geringe waterhoogte H wordt $\frac{\Delta\phi}{D}$ ongeveer gelijk aan 1, en kan de doorlatendheidscoëfficiënt direct worden geschat uit:

$Q = F.k.$

Bij de afleiding van bovenstaande verbanden is uitgegaan van enkele aannamen. Dit zijn onder meer:

- de stroming door de te beproeven kleilaag is zuiver vertikaal. Dit wordt bij de proeven nagestreefd door gebruik van een kleinere meetring in een grotere, waardoor de randeffecten worden verminderd. Bij een bodemopbouw met een in de diepte toenemende k-waarde zal hierdoor een redelijk betrouwbare informatie worden verkregen. In het omgekeerde geval zal horizontale afstroming zonder ingrijpende maatregelen niet zijn te voorkomen.
- de kleilaag is wat de doorlatendheid betreft homogeen.
  Dit zal in het algemeen in werkelijkheid niet het geval zijn.
  Bij de beoordeling van de doorlatendheid van de kleilaag kan dit goeddeels worden ondervangen door gebruik te maken van de weerstandswaarde $C = \frac{D}{k}$ waarin voor D en k de uit de infiltratieproef bepaalde waarden worden gesubstitueerd.

3. De uitvoering van de proeven

De infiltratieproeven in de uiterwaard bij de Herwense Inlaagdijk zijn uitgevoerd in twee perioden.

De eerste serie proeven vond plaats op 12 oktober en 13 oktober 1976 en lagen ter hoogte van dp 12,5, dp 13 en dp 13,5. Voor de juiste situatie wordt verwezen naar bijlage 1.
Bij deze proeven werd gebruik gemaakt van een meetring Ø 0,30 m. Om deze meetring was een ring Ø 1,00 m aangebracht om de invloed van randeffecten te verminderen. De hoeveelheid geinfiltreerd water in zowel de meetring als de grote ring met de tijd is aangegeven op bijlagen 2 tot en met 4. Het resultaat van deze 3 proeven gaf een dermate grote spreiding in de berekende k-waarden dat een aanvulling nodig werd geacht. Een tweede proevenserie vond plaats in het tijdvak van 30 november tot en met 3 december 1976. Deze proeven werden eveneens uitgevoerd in de uiterwaard, nu ter hoogte van dp 12, 12,75, 13,25 en 13,75. In aanvulling op de bij de eerste proevenserie gebruikte ringen werd in een bak met afmetingen 3,10 m bij 3,10 m daaromheen geplaatst, zodat ook de ring Ø 1,00 m als meetring kon worden gebruikt. Bij de grotere afmetingen van de meetring kon worden verwacht dat de spreiding in de gemeten doorlatendheid geringer zou zijn, zodat met deze aanvullende proeven een meer representatieve doorlatendheidscoëfficiënt kon worden bepaald.
De resultaten van deze proeven zijn op eenzelfde wijze als voor de eerste proevenserie op bijlagen 5 tot en met 8 aangegeven.

4. De proefresultaten

Uit de gemeten infiltratiedebieten is op de manier zoals in par. 2 aangegeven de doorlatendheid k en dikte D van de kleilaag in de uiterwaard ter plaatse van de betreffende infiltratieproef bepaald.
Daarnaast is uit de infiltratiedebieten bij de waterhoogte maaiveld + 0,05 m de k-waarde bepaald onder de veronderstelling i = 1. Dit is gedaan voor zowel de meetring als ook voor de daaromheen geplaatste bak, die diende om het randeffect te verminderen.
De berekende k-waarde voor dit laatste geval kan slechts als bovengrens voor de doorlatendheid worden gezien. Het geeft echter vanwege het relatief grote infiltratieoppervlak wel enige indruk van de homogeniteit van de doorlatendheid.

De resultaten van de infiltratieproeven worden hieronder in tabelvorm weergegeven:

1e proevenserie.

meetplaats t.h.v.	meetring Ø 0,30 m		
	k [m/s]	D [m]	C [s]
dp 12,50	$0{,}65.10^{-5}$	0,11	$1{,}7.10^{4}$
dp 13,0	$7{,}54.10^{-5}$	< 0	?
dp 13,50	$2{,}36.10^{-5}$	0,25	$1{,}1.10^{4}$

De berekende doorlatendheidscoëfficiënt onder de aannamen i = 1 voor de infiltratie bij waterniveau van maaiveld + 0,05 m is:

meetplaats t.h.v.	meetring Ø 0,30 en i = 1	ring Ø 1,00 m i = 1
	k [m/s]	k [m/s]
dp 12,50	$0{,}94.10^{-5}$	$5{,}13.10^{-5}$
dp 13,0	$7{,}07.10^{-5}$	$12{,}59.10^{-5}$
dp 13,50	$2{,}83.10^{-5}$	$4{,}67.10^{-5}$

2e proevenserie

Meetplaats t.h.v.	Meetring Ø 0,30			meetring Ø 1,00 m		
	k [m/s]	d [m]	C [s]	k [m/s]	d [m]	C [s]
dp 12,0	-	-	-	-	-	-
dp 12,75	$0{,}47.10^{-5}$	0,20	$4{,}3.10^{4}$	$0{,}34.10^{-5}$	0,09	$2{,}7.10^{4}$
dp 13,25	$0{,}04.10^{-5}$	0,10	25.10^{4}	$0{,}05.10^{-5}$	0,03	$6{,}0.10^{4}$
dp 13,75	$1{,}22.10^{-5}$	0,31	$2{,}5.10^{4}$	$1{,}32.10^{-5}$	0,86	$6{,}5.10^{4}$

Bij de veronderstelling i = 1 wordt de k-waarde bij de waterhoogte maaiveld + 0,05 m:

Meetplaats t.h.v.	Meetring Ø 0,30 m i = 1	Meetring Ø 1,00 m i = 1	bak Ø 3,10 m i = 1
	k [m/s]	k [m/s]	k [m/s]
dp 12	$1{,}18.10^{-5}$	$2{,}43.10^{-5}$	-
dp 12,75	$0{,}59.10^{-5}$	$0{,}51.10^{-5}$	$0{,}25.10^{-5}$
dp 13,25	$0{,}06.10^{-5}$	$0{,}16.10^{-5}$	$0{,}63.10^{-5}$
dp 13,75	$1{,}42.10^{-5}$	$1{,}40.10^{-5}$	$0{,}46.10^{-5}$

Deze proefresultaten bevatten voldoende gegevens voor het vaststellen van een redelijk betrouwbare doorlatendheid k c.q. weerstandswaarde C van de kleilagen in de uiterwaard.
Het overzicht van de gemiddelde k-waarde is:

	meetring Ø 0,30 k [m/s]	meetring Ø 1,00 k [m/s]	meetring Ø 0,30 i = 1 k [m/s]	(meet)ring Ø 1,00 i = 1 k [m/s]
proevenserie 1	$3{,}52.10^{-5}$	-	$3{,}61.10^{-5}$	-
proevenserie 2	$0{,}58.10^{-5}$	$0{,}57.10^{-5}$	$0{,}81.10^{-5}$	$1{,}13.10^{-5}$
serie 1 + 2	$2{,}05.10^{-5}$	-	$2{,}01.10^{-5}$	-

	bak ⌀ 3,10 i = 1
	k [m/s]
proevenserie 1	
proevenserie 2	$0,45.10^{-5}$
totaal	-

Op grond van de in bovenstaand overzicht opgenomen gemiddelde doorlatendheidscoëfficiënten zou kunnen worden vastgesteld dat de te verwachten k-waarde van de kleilaag tussen 1.10^{-5} m/s en 4.10^{-5} m/s zal liggen.

Bij het bepalen van de k-waarde zoals hiervoor is gebeurd wordt echter geen rekening gehouden met de uit de proeven gevonden verschillende kleidikten. Deze komt wel tot uitdrukking als de weerstandswaarde C wordt beschouwd als kenmerkende grootheid voor de waterdoorlatendheid van de kleilaag. Voor het vaststellen van de "gemiddelde" weerstandswaarde kan,in analogie met parallel geschakelde weerstanden in de electriciteitsleer, het harmonisch gemiddelde worden gebruikt.
De aldus berekende gemiddelde c-waarden zijn:

	meetring Ø 0,30 m	meetring Ø 1,00 m
	C [s]	C [s]
proevenserie 1	$1{,}4.10^4$	-
proevenserie 2	$10{,}6.10^4$	$5{,}1.10^4$
serie 1 + 2	$6{,}9.10^4$	-

Uit dit overzicht blijkt dat een gemiddelde weerstandswaarde van C = ca.5.10^4 s kan worden verwacht.

Voor een nadere vaststelling van de dikte van de kleilaag zijn ter plaatse van de proeven uit serie 1 boringen verricht. De aangetroffen kleidikte bedraagt 0,50 à 0,70 m (zie bijlage 9). De maat wijkt soms aanmerkelijk af van de uit de infiltratieproeven berekende.
Dit wordt veroorzaakt door de over de hoogte van de kleilaag variërende k-waarde. In de berekening wordt die variërende k-waarde met één karakteristieke waarde aangegeven met een daarbij behorende karakteristieke dikte. Ter toelichting het volgende voorbeeld:
Stel dat een kleilaag bestaat uit twee lagen, laag 1 (dikte D_1, en doorlatendheid k_1) en laag 2, (dikte D_2, en doorlatendheid k_2). De totale weerstand C van de laag kan dan worden beschouwd als te zijn opgebouwd uit $C = C_1 + C_2$.

Door substitutie $C = \frac{D}{k}$ volgt:

$$\frac{D}{k} = \frac{1}{k_1}\left(D_1 + \frac{k_1}{k_2} D_2\right), \text{ zodat}$$

$$k = k_1 \text{ en } D = D_1 + \frac{k_1}{k_2} D_2$$

Bij het toekennen van een doorlatendheidscoëfficiënt aan de aangetroffen kleilaag, die dan als homogeen doorlatend wordt verondersteld, moet daarom het quotiënt van de berekende weerstandswaarde en de totale dikte worden aangehouden. Bij de berekende gemiddelde weerstandswaarde C = ca. 5.10^4 s is de doorlatendheidscoëfficiënt bij een laagdikte van 0,50 à 0,70 m te stellen op k = 1 à 2.10^{-5} m/s. Het blijkt dat dit resultaat dicht bij de eerder met een rechtstreekse middeling berekende k-waarde ligt.

5. Conclusies

Met behulp van een zevental infiltratieproeven in situ is de doorlatendheid van de kleilagen in de uiterwaard voor de Herwense Inlaagdijk vastgesteld.
Als resultaat van deze proeven kan worden vastgesteld dat de gemiddelde doorlatendheidscoëfficiënt van de klei ongeveer $k = 10^{-5}$ m/s of iets groter is. De gemiddelde weerstandswaarde van de kleilaag kan worden geschat op $C = 5.10^{4}$ s.