

Voortgezet onderzoek
van
Registrerende Waterstandsmeters
(3^e Serie)

Nota No 4

Hydraulica Laboratorium
Landbouw Hogeschool

Aangezien is gebleken dat dit rapport ook wordt gelezen buiten de beperkte kring waarvoor het uitdrukkelijk was bestemd, wordt hierbij de aandacht gevestigd op het feit dat het hierin beschreven onderzoek en de daaraan verbonden conclusies slechts betrekking hebben op de drie apparaten van verschillende constructie die ter bestudering zijn aangeboden.

Het is dus onjuist om aan dit rapport een conclusie ten aanzien van de eigenschappen van bepaalde typen van instrumenten te willen ontlenen aangezien het hier gaat om één exemplaar van elk type en dit dus geenszins als een vertegenwoordigend monster van een gehele serie is te beschouwen.

Wageningen, 26 augustus 1971

Inhoud.

	Pag.
1 Inleiding	1
2 Beschrijving instrumenten	1
3 Beschrijving proeven	1
4 Ponsbandapparatuur	3
A Foutenbronnen	3
B Standaard vlotter	3
C Grondwater vlotter	8
D Konklusie	11
5 Schrijverapparatuur	12
A Foutenbronnen	12
B Resultaten	12
C Konklusie	13
6 Literatuur opgave	15

Bijlagen.

- I. Berekening niveaufout en betrouwbaarheids interval schrijverapparatuur.
- II. A t/m D Meetcijfers.

1) Inleiding.

In aansluiting op het onderzoek dat in 1963 werd verricht naar de nauwkeurigheid van registrerende waterstandsmeters (1,2) werd op verzoek van de Commissie Waterbehoefte Gelderland een derde serie proeven genomen met een 2 tal van deze instrumenten. Een derde instrument afkomstig van de afdeling Cultuurtechniek van de Landbouw Hogeschool werd tegelijkertijd onderzocht.

In tegenstelling met de voorgaande proeven waarbij slechts de afwijkingen van één peilstand werden onderzocht, werden nu een achttal peilstanden bij het onderzoek betrokken.

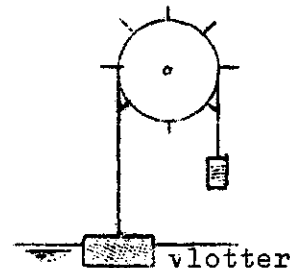
De wiskundige bewerking van de meetcijfers werd verricht met medewerking van dhr. M.Keuls van de afdeling Wiskunde. Het onderzoek stond onder leiding van Ir. R.H.Pitlo.

2) Beschrijving Instrumenten.

De werking van de drie onderzochte meters berust op het meten van niveauverschillen met behulp van een vlotter. Bij de meters No C3731 en No 192h-340380 wordt de waterhoogte door een pen op een trommel met registreerpapier geschreven. De pen is door middel van een overbrengmechanisme aan de vlotter gekoppeld. De overbrengverhouding bedraagt meestal 1:5 of 1:10, maar ook andere verhoudingen zijn mogelijk. Apparaten van deze konstruktie zullen verder als "schrijverapparatuur" worden aangeduid.

Meter No 5911H1210M₁ wijkt af van de boven beschreven meters, door dat de waterstanden in geponste vorm beschikbaar komen. (verder te noemen "ponsbandapparatuur")

De geperforeerde vlotterband loopt over een schijf waarop zich geleide pennetjes bevinden. De omtrek van deze schijf bedraagt 1 ft. Aan de schijf is een schaalverdeling gekoppeld welke in hondersten (van 1 ft.) is verdeeld. (duizendsten kunnen worden geschat) Eén omwenteling van de schijf komt overeen met een stijging van de waterspiegel van 1 ft. = 30,48 cm. Een waterspiegel stijging van 5 cm. komt dus overeen met $\frac{5}{30,48} = \frac{1}{6,096}$ ft = 16,404 schaaldelen.



De schaalverdeling is gekoppeld aan een ponsmechanisme dat met regelmatige tussen pozen de schaalstanden vastlegt op een papierstrook. Het ponsmechanisme kan slechts gehele schaaldelen vastleggen, gedeelten van schaaldelen worden afgerond.

3) Beschrijving proeven.

De peilmeters werden boven een proefgoot geplaatst. De schaalverdeling van de ponsband apparatuur werd op nul gesteld en hierna werd het waterpeil in de goot in 8 stappen van 5 cm. verhoogd en vervolgens op gelijke wijze verlaagd. Hierbij werd voorkomen, dat een golf beweging optrad. Na het bereiken van een peil in de proefgoot (gecontroleerd met een peilnaald) werd bij elk instrument de aanwijzing vastgelegd: bij de schrijverapparatuur door het verdraaien van de trommel met registreerpapier, bij de ponsbandapparatuur door het in werking stellen van het ponsmechanisme. ("ponsstand"). Bovendien werd vóór het ponsen de schaalverdeling afgelezen. ("schrijfstand").

De factoren welke een afwijking in de registratie van de waterniveau's zouden kunnen veroorzaken zijn onder "Foutenbronnen" bij de behandeling van de afzonderlijke instrumenten vermeld. De schrijverapparatuur werd beproefd bij een overbreng verhouding van 1:5. Bij meter No C 3731 werd bovendien een overbreng verhouding van 1:10 onderzocht. Ponsmeter No 5911H121OM₁ werd beproefd met de bijbehorende standaard vlotter $\varnothing 160$ mm. alsmede met een met 50 gram verzwaarde grondwater vlotter $\varnothing 75$ mm.

Meetnauwkeurigheid.

De niveau's in de goot werden op 0,1 mm. nauwkeurig afgelezen met behulp van peilnaalden. De afstanden in de diagrammen van de schrijverapparatuur werden gemeten met behulp van een schuifmaat welke tot op 0,05 mm. nauwkeurig kon worden afgelezen.

4. Ponsbandapparatuur.

A. Foutenbronnen.

De fouten welke optreden bij het meten en registreren van een waterpeil kunnen worden gesplitst in systematische - en toevallige fouten.

Systematische fouten. Hieronder worden verstaan afwijkingen die, hoewel onderling verschillend, overwegend in dezelfde richting werken. Vaak kan een gedeeltelijke korrektie voor deze fouten worden aangebracht.

i) Niveaufout. Tengevolge van wrijvingen en speling in het mechanisme ontstaat tijdens een stijgende beweging een te lage -, tijdens een dalende beweging een te hoge aflezing. Dit verschijnsel werd in nota No 2 beschreven als het richting effect. Bij het huidige onderzoek werd het richting effect onderzocht bij verschillende waterniveau's. De fouten, die worden toegeschreven aan een zelfde richting effect voor de verschillende waterniveau's worden de niveaufout genoemd.

Toevallige fouten. Door hun onvoorspelbare richting kunnen toevallige fouten niet worden gecorrigeerd. Tot de toevallige fouten moeten worden gerekend de:

ii) Afrondingsfout. Na het bereiken van een peil in de proefgoot werd de schaalverdeling van de meter afgelezen (verder te noemen "schrijfstand"). Vervolgens werd het ponsmechanisme in werking gesteld. Het bereikte waterpeil werd hierbij op een ponsband vastgelegd (verder te noemen "ponsstand"). Aangezien het ponsmechanisme slechts gehele schaaldelen kan vastleggen, wordt bij het ponsen een afrondingsfout geïntroduceerd. De grootte van de gemiddelde verwachten afrondingsfout zal verderop worden besproken.

iii) Meetfout. Tenslotte is altijd een meetfout aanwezig welke betrekking heeft op de bereikbare meetnauwkeurigheid. Het ontstaan van een meetfout kan verschillende oorzaken hebben zoals het niet nauwkeurig aflezen van een peil, parallax bij het aflezen van de schrijfstanden, grillig gedrag van het instrument zelf enz. Bij toepassing van een grondwater vlotter bleken de gaatjes in de band waaraan de vlotter is opgehangen niet altijd over de geleide pennetjes op het bandwiel te vallen, zodat de band dan op een pennetje kwam te rusten. Ook dit verschijnsel wordt tot het "grillige gedrag" gerekend en de daardoor ontstane afwijkingen worden bij de meetfout ondergebracht.

B. Standaard vlotter.

Mede met behulp van een variantie analyse werden de genoemde fouten bronnen onderzocht. Alle schrijf - en ponsstanden werden vooraf verminderd met hun bijbehorende theoretische stand en vervolgens met 10 vermenigvuldigd. Onder de theoretische stand wordt verstaan de waarde welke na een ingestelde stijging - of daling over 5 cm. in de proefgoot aan het instrument zou moeten worden afgelezen. Zoals in het hoofdstuk "beschrijving instrumenten" is aangetoond bedraagt de theoretische stand na een stijging van 0 naar 5 cm. in de proefgoot: 16,404 schaaldelen. In de onderstaande tabel zijn de 8 ingestelde waterstanden in de proefgoot in cm. en de overeenkomende theoretische standen van het instrument weergegeven.

1. The first part of the document is a letter from the

2. The second part of the document is a letter from the

3. The third part of the document is a letter from the

4. The fourth part of the document is a letter from the

5. The fifth part of the document is a letter from the

6. The sixth part of the document is a letter from the

7. The seventh part of the document is a letter from the

8. The eighth part of the document is a letter from the

9. The ninth part of the document is a letter from the

10. The tenth part of the document is a letter from the

hoogte No	ingestelde waterstand(cm) (proefgoot)	theoretische stand (schaaldelen)	hoogte No	ingestelde waterstand(cm) (proefgoot)	theoretische stand (schaaldelen)
	0	0			
1	+ 5	16,404	5	+25	82,020
2	+10	32,808	6	+30	98,424
3	+15	49,212	7	+35	114,828
4	+20	65,616	8	+40	131,232

Bij de analyse, welke in de tabellen 1 en 2 is uitgevoerd, werd onderscheid gemaakt tussen de benadering van een peil vanuit een lagere waterstand ("OP standen") en de benadering vanuit een hogere waterstand ("NEER standen"). Beide gevallen werden apart geanalyseerd. In de tabel 1 zijn geanalyseerd de "verschillen" van pons - en schrijfstanden. Deze "verschillen" bevatten uitsluitend afrondings fouten. De verschillen van schrijfen theoretische standen (tabel 2) bevatten fouten, die de som zijn van een meetfout en een niveaufout. Indien de verschillen van ponsstanden en schrijfstanden (tabel 1) niet aan systematische kolom - of herhalings invloeden onderhevig zijn - we noemen dit de nulhypothese - dan zijn de getallen in de kolom variantie alle schattingen van een zelfde σ^2 . Dit zelfde geldt voor de verschillen van de schrijfstanden en de theoretische standen (tabel 2). Indien echter systematisch afwijkingen optreden bijvoorbeeld zodanig, dat de ene waterhoogte systematisch een andere afwijking van de theoretische stand vertoont dan een andere waterhoogte, dan komt dit tot uiting in een onverwacht hoge waarde van de in de regel "Hoogte" verkregen schatting S^2 van σ^2 (kolom IV). We spreken van een significant "hoogte" effect, indien het variantie quotient ($F = S^2_{\text{hoogte}} / S^2_{\text{rest}}$) met in de noemer de onverdachte schatting S^2 van σ^2 verkregen uit de regel "rest" de tabelwaarde uit de Fisher Stochastiek (F-tabel) bij $P = 0,05$ overschrijdt.+) In de F-tabel wordt de gezochte drempel waarde gevonden bij n_1 en n_2 vrijheidsgraden, waarbij n_1 resp. n_2 is het aantal vrijheidsgraden in de regel corresponderend met teller resp. noemer van het variantie quotient (zie tabellen). In dit geval is dus steeds $n_2 = 21$.

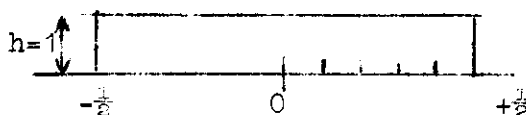
Een beschouwing van de "verschillen" van schrijf en ponsstanden (tabel 1) van de "verschillen" van schrijfstanden en theoretische standen (tabel 2) toont aan, dat in het onderhavige geval de reproduceerbaarheid van de waarnemingen per waterhoogte zó groot is dat (behoudens één meting voor waterhoogte 5) voor de variantie analyse, de regel "rest" waarin het toeval is opgenomen op nul gesteld kan worden en buiten beschouwing kan blijven. Dit komt neer op beschouwing van alleen de gemiddelden over de 4 herhalings. De 8 cijfers die overblijven n.l. voor de 8 gemiddelde waterhoogten vertonen een spreiding die $1/4$ bedraagt van de spreiding gevonden in de variantie analyse onder de regel "Hoogte".

a) Afrondings fout.

Hoewel op het eerste gezicht misschien minder logisch, zal eerst de afrondingsfout worden onderzocht. De ponsstanden zijn ontstaan door afronding van de schrijfstanden. Elke ponsstand bevat dus een afrondings fout. Slechts indien het gemiddelde van de gevonden afrondingsfouten de "gemiddeld" te verwachten afrondingsfout niet belangrijk overschrijdt kan er van een onvermengde afrondingsfout sprake zijn. Tengevolge van het afronden van tienden op gehele schaaldelen kan "gemiddeld" een fout van 0,28 schaaldelen worden verwacht. Deze fout is als volgt te berekenen.

+) $P = 0,05$ wil zeggen de tabelwaarde heeft een overschrijdings kans van 5%, zie voor deze tabel: Snedecor G.W., Statistical Methods. (5)

$$\begin{aligned}\sigma^2 &= \int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} (x - \bar{x})^2 f(x) dx = \\ &= \int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} (x - 0)^2 \cdot 1 dx = \left. \frac{1}{3} x^3 \right|_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} = \frac{1}{12} \quad \left(\text{of } \frac{100}{12} = 8,3 \text{ indien met tiende schaaldeelen wordt gewerkt} \right) \\ \sigma &= \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0,28 \text{ schaaldeelen}\end{aligned}$$



Indien de geponste standen goed overeenstemmen met de geschreven standen m.a.w. indien het mechanisme goed afrondt, mag de variantie gedeeld door 4 in de regels "Hoogte" van tabel 1 het bedrag van $\frac{100}{12} = 8,3$ (overeenkomende met ongeveer 0,28 schaaldeelen) niet belangrijk overschrijden. Blijkens de waarden $S^2 = 5,44$ en $S^2 = 5,10$ zijn de verschillen tussen schrijf- en ponstanden redelijkerwijze terug te voeren tot normale afrondingsfouten. De afrondings verschillen zijn vrijwel indientiek in de 4 herhalingen behoudens enkele afrondingen in de buurt van een half schaaldeel (zie tabel 1 de omraamde getallen). Bij waterhoogte 5 werd 2 maal meer dan 0,5 schaaldeelen naar boven afgerond. Overigens komen de geponste standen dus goed overeen met de geschreven standen.

b) Meetfout.

De tijdens de proef ontstane toevallige afwijkingen van de meetresultaten zijn ondergebracht in de meetfout. Aangezien voor deze toevallige fout niet gecorrigeerd kan worden, is het voor een betrouwbaar instrument van belang dat de meetfout klein is. In tabel 2 vinden we in de regel "Hoogte" een variantie (kolom IV) die betrekking heeft op de meetfout.

De schatting van deze meetfout bedraagt $S = \sqrt{\frac{\text{variantie}}{4}}$

Hieruit volgt: S "OP"standen = $\sqrt{1,78} = 1,33$ tiende schaaldeelen
 S "NEER"standen = $\sqrt{2,26} = 1,50$,, ,, ,,

De gevonden schattingen van de meetfout resp. 0,13 en 0,15 schaaldeelen voor "OP"- resp "NEER" standen zijn duidelijk kleiner dan de gemiddeld te verwachten afrondingsfout van 0,28 schaaldeelen. De meetfout kan daarom verder buiten beschouwing blijven.

c) Niveaufout.

Aangezien de niveaufout een systematische fout is kan hiervoor gecorrigeerd worden indien de fout significant blijkt te zijn. Voor een onderzoek naar de grootte van de niveaufout werden de schrijfstanden vergeleken met de theoretische standen (tabel 2). Het begrip theoretische stand werd reeds eerder uiteen gezet.

De afwijking is per niveau te schatten uit het volgende gemiddelde:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\text{schrijfstand} - \text{theoretische stand})}{n}$$

Hierin is $n(=4)$ het aantal herhalingen. In tabel 2 (bovenste helft) is de berekening uitgevoerd. Door de afwijkingen te middelen over de 8 waterhoogten schatten we de niveaufout. Deze bedraagt:

voor de "OP"standen 0,9 tiende schaaldeelen
 ,, ,, "NEER"standen 4,9 ,, ,, ,,

Alvorens deze schatting te gebruiken moet worden nagegaan of van een significante niveaufout gesproken kan worden. Hiertoe wordt in tabel 2 de "variantie" in de regel "Niveau" gedeeld door de variantie in de regel "Hoogte". Het verkregen variantie quotient (F) moet vervolgens worden vergeleken met de F tabel waarde (Fisher stochastiek) bij 1 en 7 vrijheidsgraden en $P = 0,05$.

De F tabel waarde bedraagt 5,59.

$$\begin{array}{lcl} F & \text{"OP" standen bedraagt} & \frac{7,03}{1,78} = 3,94 \\ F & \text{"NEER" standen} & \frac{195,03}{2,26} = 86,29 \end{array}$$

Voor "OP" standen is de gevonden niveaufout niet significant omdat de F tabelwaarde niet wordt overschreden. Het verdient dus geen aanbeveling om voor "OP" standen te corrigeren. Voor de "NEER" standen is de niveaufout duidelijk significant. Het verdient aanbeveling de ponsstanden die betrekking hebben op een dalende beweging te corrigeren door het aftrekken van 0,5 schaaldelen.

d) Samenvatting.

1. Toevallige fouten.

De gemiddeld te verwachten afrondingsfout bedraagt 0,28 schaaldelen.

De gevonden schattingen voor de meetfout zijn duidelijk kleiner dan de gemiddeld te verwachten afrondingsfout. De meetfout kan daarom buiten beschouwing blijven.

2. Systematische fouten.

Niveaufout. Voor de "OP" standen wordt geen correctie aanbevolen. De correctie voor de "NEER" standen werd geschat op -0,5 schaaldelen.

e) Betrouwbaarheids interval.

Na correctie voor de niveaufout kan nog worden berekend binnen welke nauwkeurigheds grenzen een toekomstige meting zal liggen.

Bij een toekomstige meting krijgt men te maken met een correctie voor het waterniveau. De fout die na deze correctie overblijft is samengesteld uit:

1^e De fout die kleeft aan de correctie zelf ($\sigma^2_{\text{correctie}}$). Dit is de gemiddelde meetfout in de huidige proef ($= \frac{\sigma^2}{n}$).

2^e De meetfout van een toekomstige meting in een nieuwe proef ($\sigma^2_{\text{toekomstige meting}}$)

3^e De afrondingsfout. ($\sigma^2_{\text{afrondingsfout}}$). Deze fout bedraagt (in tiende schaaldelen): $\frac{100}{12} = 8,33$

Bij een zorgvuldige opstelling van het instrument mag $\sigma^2_{\text{toekomstige meting}}$ gelijk gesteld worden aan $\sigma^2_{\text{correctie}} = \frac{\sigma^2}{n}$, waarbij n is het aantal waterniveau's waarop $\sigma^2_{\text{correctie}}$ betrekking heeft (hier 8)

$$\begin{aligned} \text{Dus: } \sigma^2_{\text{gecorrigeerde (toekomstige) meting}} &= \frac{\sigma^2}{n} + \sigma^2_{\text{afrondingsfout}} = \\ &= \sigma^2 \left(\frac{1}{n} + 1 \right) + \sigma^2_{\text{afrondingsfout}} \end{aligned}$$

Bij de bespreking van de meetfout werd een schatting S^2 van σ^2 berekend. Deze schatting bedraagt voor "OP" standen 1,78 en voor "NEER" standen 2,26. Hieruit volgt:

Voor "OP" standen σ^2 gekorrigeerde meting = $1,78(1/8 + 1) + 8,33 = 10,33$

σ gekorrigeerde meting = 3,21

Voor "NEER" standen σ^2 gekorrigeerde meting = $2,26(1/8 + 1) + 8,33 = 10,87$

σ gekorrigeerde meting = 3,29

Het halve betrouwbaarheids interval bedraagt 2σ . Indien een toekomstige - voor de niveaufout- gekorrigeerde meting X bedraagt, dan zal het werkelijke waterniveau liggen tussen de grenzen $X \pm 2\sigma$. De totale overschrijdings kans bedraagt dan niet meer dan 5%.

De grenzen bedragen dus voor "OP" standen $X \pm 0,64$ schaaldelen ($\approx 1,92\text{mm}$)

"NEER" standen $X \pm 0,66$ schaaldelen ($\approx 1,98\text{mm}$)

C. Grondwater vlotter.

Teneinde het instrument te kunnen plaatsen op een buis met een diameter welke kleiner is dan die van de standaard vlotter, moest een beschikbare grondwater vlotter van kleine afmetingen (ϕ 75mm) worden toegepast. Het bleek voor een juiste indompelings diepte van deze vlotter bij toepassing van het standaard contra gewicht noodzakelijk om de vlotter met 50 gram te verzwaren. De meetuitkomsten werden met behulp van een variantie analyse onderzocht. Hierbij werd een werkwijze gevolgd die afwijkt van de onder "Standaard" vlotter beschrevene. Een beschouwing van de gemiddelden over de vier herhalingen, zoals bij de standaard vlotter geschiedde, mag hier niet worden toegepast. Bekijkt men tabel 3 dan valt direkt op, dat de reproduceerbaarheid hier minder groot is dan bij toepassing van een standaard-vlotter. Blijkbaar treden af en toe onverwachte sprongen op. Uit de variantie analyse valt het volgende over de reproduceerbaarheid af te leiden.

Indien voor een bepaalde waterhoogte bij -n- herhaalde metingen telkens exact de zelfde waarde wordt gevonden, dan zal de variantie van de afrondingsfout in de regel "Hoogte" -n- het verwachte afrondingsverschil bedragen. Zoals is aangetoond (zie 4B.a.) bedraagt de variantie (σ^2) van de afrondingsfouten $1/12$. Het verwachte afrondingsverschil bedraagt $100 \times 1/12 = 8,3$. Het aantal herhalingen (n) bedraagt hier 4.

De variantie van de afrondingsfouten in de regel "Hoogte" bedraagt dus bij 4 indentieke herhalingen $4 \times 8,3 = 33,2$. De variantie in de regel "Rest" (het toeval) is dan 0. Zijn echter bij een bepaalde waterhoogte de herhalingen allen verschillend, dan zal in de regel "Hoogte" evenals in de regel "Rest" een variantie van 8,3 verwacht mogen worden. De variantie in de regel "Rest" kan lager verwacht worden dan 8,3 wanneer herhalingen in enkele gevallen gelijk uitvallen. De verwachte variantie in de regel "Hoogte" is dan groter dan 8,3. Hoe groter de reproduceerbaarheid, hoe dichter de variantie in de regel "Hoogte" bij 33,2 en hoe dichter de variantie in de regel "Rest" bij 0- kan liggen.

a) Afrondingsfout.

De variantie van de te verwachten afrondingsfouten (σ^2) bedraagt $1/12$. "Gemiddeld" kan dan een fout van $\sqrt{1/12} \approx 0,28$ schaaldelen worden verwacht.

De cijfers in tabel 3 hebben uitsluitend betrekking op de afrondingsfout. (want het betreft hier verschillen van schrijf - en pons standen). Geen van deze cijfers heeft een waarde groter dan 5 (=0,5 schaaldelen). De afrondingen van de afzonderlijke metingen zijn dus korrekt.

Een schatting -S- van de gemiddeld gevonden afrondingsfouten bedraagt:

$$S = \sqrt{\frac{\text{Som van de kwadraten}}{n}}$$

$$S \text{ "OP" standen} = \sqrt{\frac{234}{32}} = 2,7 = 0,27 \text{ schaaldelen}$$

$$S \text{ "NEER" standen} = \sqrt{\frac{127}{32}} = 2,0 = 0,20 \text{ schaaldelen}$$

De "gemiddeld" te verwachten afrondingsfout van 0,28 schaaldelen wordt dus niet overschreden. Het mechanisme rondt korrekt af en de verschillen tussen schrijf - en pons standen zijn geheel terug te voeren tot normale afrondingsverschillen.

b) Meetfout.

De meetfouten vertonen een grillig verloop met een niet strikt toevallig karakter (zie tabel 4 omraamde gedeelte). Blijkbaar treden sprongs gewijze grotere afwijkingen op.

Tabel 1. (Standaard vlotter)

Variantie analyse van de verschillen van de schrijf - en pons standen*) bij benadering van een niveau vanuit een lagere - resp. hogere waterstand ("OP"- resp. "NEER" standen)

"OP" standen (X)

"NEER" standen (Y)

No		herhalingen (n)				Tot.	herhalingen (n)				Tot.
		1	2	3	4		1	2	3	4	
(m) hoogten	1	+2	+4	+4	+4	+14	-3	-3	-3	-3	-12
	2	-3	-1	-1	-1	- 6	+2	+1	+1	+1	+ 5
	3	0	+1	+1	+1	+ 3	-3	-3	-3	-3	-12
	4	-2	-2	-2	-2	- 8	+1	+1	+1	+1	+ 4
	5	+2	+1	+1	+1	+ 5	+6	-2	+8	-2	+10
	6	-3	-4	-4	-3	-14	0	0	0	0	0
	7	-2	-1	-1	-1	- 5	+2	+2	+2	+2	+ 8
	8	+4	-5	+4	+4	+ 7	-2	-3	-2	-2	- 9
Totaal		-2	-7	+2	+3	- 4	+3	-7	+4	-6	- 6

$$X_{..} = -4$$

$$X_{..}^2 = 16$$

$$Y_{..} = -6$$

$$Y_{..}^2 = 36$$

$$\sum_{m=1}^8 X_{m.}^2 = 600$$

$$\sum_{m=1}^8 Y_{m.}^2 = 574$$

$$\sum_{n=1}^4 X_{.n}^2 = 66$$

$$\sum_{n=1}^4 Y_{.n}^2 = 110$$

$$\sum_m^8 \sum_n^4 X_{mn} = 205$$

$$\sum_m^8 \sum_n^4 Y_{mn} = 228$$

"OP"						
I variantie oorzaak	II vrij heids graden	III sommen van kwadraten	IV variantie S ² (III/II)	V variantie quotient F	VI Ftabel P=0,05	VII (IV/4)
Niveau	1	0,50	0,50	0,22	4,32	0,13
Herhalingen	3	8,25	2,75	1,24	3,07	-
Hoogte	7	149,50	21,36	9,59	2,49	5,44
Rest	21	46,75	2,23	-	-	-
"NEER"						
I	II	III	IV	V	VI	VII
Niveau	1	1,125	1,125	0,328	4,32	0,28
Herhalingen	3	12,625	4,208	1,229	3,07	-
Hoogte	7	142,375	20,399	5,96	2,49	5,10
Rest	21	71,875	3,422	-	-	-

*) Verminderd met theoretische stand (zie tekst)

Tabel 2. (Standaard vlotter)

Variantie analyse van de verschillen van schrijfstanden met hun theoretische standen.

"OP" standen (X)

"NEER" standen (Y)

No	herhalingen-n				tot.	n gem.	herhalingen-n				tot.	n gem.
	1	2	3	4			1	2	3	4		
(m) hoogten												
1	-2	0	0	0	-2	-0,50	+3	+3	+3	+3	+12	+3
2	-1	+1	+1	+1	+2	+0,50	+4	+3	+3	+3	+13	+3,25
3	-2	-1	-1	-1	-5	-1,25	+5	+5	+5	+5	+20	+5
4	+2	+2	+2	+2	+8	+2	+5	+5	+5	+5	+20	+5
5	+2	+1	+1	+1	+5	+1,25	+6	+8	+8	+8	+30	+7,5
6	+3	+2	+2	+3	+10	+2,50	+6	+6	+6	+6	+24	+6
7	0	+1	+1	+1	+3	+0,75	+4	+4	+4	+4	+16	+4
8	+2	+3	+2	+2	+9	+2,25	+6	+5	+6	+6	+23	+5,75
Tot.	+4	+9	+8	+9	+30	+0,94	+39	+39	+40	+40	+158	+4,93

$$X.. = 30$$

$$X^2.. = 900$$

$$Y.. = 158$$

$$Y^2.. = 24964$$

$$\sum_{m=1}^8 X_m^2 = 312$$

$$\sum_{m=1}^8 Y_m^2 = 3374$$

$$\sum_{n=1}^4 X_{..n}^2 = 242$$

$$\sum_{n=1}^4 Y_{..n}^2 = 6242$$

$$\sum_m^8 \sum_n^4 X_{mn} = 88$$

$$\sum_m^8 \sum_n^4 Y_{mn} = 848$$

"OP"						
I variantie oorzaak	II vrij- heids graden	III sommen van kwadraten	IV variantie S^2 (III/II)	V variantie quotient F	VI Ftabel P=0,05	VII (IV/4)
Niveau	1	28,125	28,13	-	4,32	7,03
Herhalingen	3	2,125	0,71	1,87	3,07	-
Hoogte	7	49,875	7,13	18,76	2,49	1,78
Rest	21	7,875	0,38	-	-	-
"NEER"						
I	II	III	IV	V	VI	VII
Niveau	1	780,125	780,13	-	4,32	195,03
Herhalingen	3	0,125	0,04	0,19	3,07	-
Hoogte	7	63,37	9,05	43,09	2,49	2,26
Rest	21	4,38	0,21	-	-	-

Uit tabel 4 valt de variantie voor de meetfout af te leiden. De schatting van de variantie van de meetfout in de regel "Hoogte" bedraagt voor "OP" standen 104,31 en voor "NEER" standen 92,57.

De variantie van de meetfout in de regel "Rest" wordt voor "OP" standen geschat op 8,82 en voor "NEER" standen op 11,19.

Een schatting van de component van de meetfout die uitsluitend betrekking heeft op de verschillende water niveau's bedraagt:

$$\text{voor "OP" standen } S = \sqrt{\frac{104,31 - 8,82}{4}} = \sqrt{23,87} = 4,9 \text{ tiende schaal delen}$$

$$\text{voor "NEER" standen } S = \sqrt{\frac{92,57 - 11,19}{4}} = \sqrt{20,35} = 4,5 \text{ tiende schaal delen}$$

Zowel voor "OP" als voor "NEER" standen wordt de gemiddeld te verwachten afrondingsfout van 2,8 tiende schaaldelen overschreden. Onderzocht moet nu nog worden of van een significant effect t.g.v. meetfouten gesproken kan worden. Hiertoe worden de gevonden variantie's gedeeld door het verwachte afrondings verschil (8,3). De uitkomst dient vergeleken te worden met de F-tabel waarde bij 7 en ∞ vrijheids graden en $P = 0,05$. Het afrondings verschil heeft hier ∞ vrijheids graden omdat de uitkomst nauwkeurig bekend is. De F_7^{∞} toets toont aan, dat de meetfout significant de afrondingsfout overschrijdt zowel voor "OP" als "NEER" standen.

F_7^{∞} bedraagt 2,01 bij $P = 0,05$

F_7^{∞} "OP" standen bedraagt $\frac{23,87}{8,3} = 2,87$

F_7^{∞} "NEER" standen bedraagt $\frac{20,35}{8,3} = 2,44$

De component van de meetfout welke betrekking heeft op de verschillende water niveau's mag dus niet worden verwaarloosd.

c) Niveaufout.

Uit tabel 4 valt een gemiddelde niveaufout af te leiden welke voor "OP" standen -0,34- en voor "NEER" standen +0,72 schaaldelen bedraagt. De test om na te gaan of deze fouten significant zijn verloopt op gelijke wijze als beschreven onder niveaufout standaard vlotter. Bij deling van de variantie "Niveau" door de variantie "Hoogte" en vergelijking van de uitkomst met de F-tabel waarde bij 1 en 7 vrijheids graden en $P = 0,05$ blijkt dat de niveau fout voor "OP" standen

$$(F = \frac{371,28}{104,31}), \text{ niet- echter voor "NEER" standen } (F = \frac{1638,78}{92,57})$$

wel significant is. Voor "NEER" standen is er blijkbaar een fout- we noemen deze de niveaufout - gemeenschappelijk aanwezig in de fouten der afzonderlijke hoogten. De correctie voor "NEER" standen bedraagt -0,7 schaaldelen. De cijfers in het bovenste gedeelte van tabel 4 vertonen een zwak doch systematisch niveau effect, hetgeen wil zeggen, dat voor een bepaalde waterhoogte systematisch andere meet uitkomsten worden gevonden dan voor een andere waterhoogte. Vergelijk b.v. de getallen op hoogte 1 met de getallen op hoogte 4. Voor dit verschijnsel kon (nog) geen verklaring worden gevonden. Een correctie wordt mede om deze reden niet aanbevolen.

d) Samenvatting fouten.

1. Toevallige fouten.

De gemiddeld te verwachten afrondingsfout bedraagt 0,28 schaaldelen. De meetfout met betrekking tot de afzonderlijke waterniveau's

bedraagt voor "OP"standen +0,48 schaaldelen en voor "NEER"standen +0,45 schaaldelen. Voor deze fouten kan niet worden gecorrigeerd.

2. Systematische fouten

Niveaufout. Voor "OP"standen wordt geen correctie aanbevolen. Voor "Neer"standen werd de correctie geschat op -0,7 schaaldelen.

Een correctie voor het niveau effect wordt niet aanbevolen.

e. Betrouwbaarheidsinterval.

Op gelijke wijze als geschiedde voor de standaardvlotter zijn de nauwkeurigheds grenzen voor de grondwatervlotter berekend, dus:

$$\sigma_{\text{gecorrigeerde meting}}^2 = \sigma_{\text{correctie}}^2 + \sigma_{\text{toekomstige meting}}^2 + \sigma_{\text{afroundingsfout}}^2 = \frac{\sigma^2}{n} + \sigma^2 + \sigma_{\text{afroundingsfout}}^2 = \sigma^2(1/n + 1) + \sigma_{\text{afr.}}^2$$

Bij de bespreking van de meetfout werd een schatting S^2 van σ^2 berekend, welke voor "OP"standen bedraagt 17,73 en voor "NEER"standen 17,42.

Hieruit volgt:

$$\begin{aligned} \text{voor "OP"standen } \sigma_{\text{gecorrigeerde meting}}^2 &= 23,87(1/8 + 1) + \frac{100}{12} = 35,18 \\ \sigma &= 35,18 = \underline{5,93} \\ \text{voor "NEER" } \sigma^2 &= 20,35(1/8 + 1) + \frac{100}{12} = 31,22 \\ \sigma &= 31,22 = \underline{5,59}. \end{aligned}$$

Het halve betrouwbaarheids interval bedraagt 2σ . Indien een toekomstige voor de niveaufout gecorrigeerde meting X bedraagt, dan zal het werkelijke waterniveau liggen binnen de grenzen $X \pm 2\sigma$ met een totale overschrijdingskans van niet meer dan 5%.

De grenzen bedragen dus:

$$\begin{aligned} \text{voor "OP"standen } X \pm 1,19 \text{ schaaldelen } &\left(\begin{array}{l} 3,6 \text{ mm} \\ 3,4 \text{ mm} \end{array} \right) \\ \text{voor "NEER" } X \pm 1,12 & \left(\begin{array}{l} 3,6 \text{ mm} \\ 3,4 \text{ mm} \end{array} \right). \end{aligned}$$

D. Conclusie. (Ponsband apparatuur)

Bij toepassing van een standaard vlotter geeft meter No 5911H1210M₁ goede resultaten. De reproduceerbaarheid van de afzonderlijke metingen is op elk van de onderzochte 8 niveau's goed. De afrondingsverschillen zijn reproduceerbaar over de 4 herhalingen, met uitzondering van niveau 5 "NEER" standen (tabel 1 "NEER" standen) waar 2x een afronding van meer dan 0,5 schaaldelen heeft plaats gevonden. Door het aanbrengen van een correctie voor de niveaufout (z.a.) blijft de fout in de metingen beperkt tot afrondingsverschillen. De meetfout kan buiten beschouwing blijven.

Toepassing van een grondwater vlotter geeft minder goede resultaten. De reproduceerbaarheid van de metingen is matig. Er blijkt een meetfout op te treden die significant de afrondingsfout overschrijdt. Er kan voor deze meetfout, die moet worden toegeschreven aan een grillig gedrag van het instrument, niet worden gecorrigeerd. Na correctie voor de niveaufout blijft in de meting een fout over van ruim 1 schaaldeel (3,5mm) plus of min. Bovendien treedt een zwak doch systematisch niveau effect op waarvoor geen verklaring kon worden gevonden.

In het algemeen kan worden opgemerkt, dat een vlotter van voldoende grootte van belang is voor de nauwkeurigheid van de meting. Hierbij dient te worden bedacht, dat vlotter vergroting geen zin meer heeft als de meetfout kleiner is geworden dan de afrondingsfout. De nauwkeurigheid van de meting wordt dan alleen door de afrondingsfout bepaald.

Tabel 3

(Grondwater vlotter) Variantie analyse van de verschillen van schrijf- en pons standen*) bij benadering van een niveau vanuit een lagere- resp. hogere waterstand ("OP" resp. "NEER" standen)

"OP" standen (X)

"NEER" standen (Y)

No	herhalingen (n)					Tot.	herhalingen (n)					Tot.
	1	2	3	4			1	2	3	4		
(m) hoogten	1	- 1	+ 1	- 4	- 5	- 9	+ 1	- 4	- 3	0	- 6	- 6
	2	- 4	0	+ 2	- 4	- 6	+ 2	+ 1	+ 2	- 4	+ 1	+ 1
	3	0	- 2	- 4	- 4	-10	+ 1	0	- 1	0	0	0
	4	- 3	- 1	- 2	0	- 6	0	0	0	0	0	0
	5	+ 4	+ 2	+ 3	+ 4	+13	0	0	- 2	0	- 2	- 2
	6	0	- 1	- 3	- 2	- 6	+ 4	+ 4	+ 5	- 1	+12	+12
	7	- 2	- 4	+ 2	- 1	- 5	0	0	+ 1	0	+ 1	+ 1
	8	- 3	- 3	+ 2	0	- 4	0	+ 1	+ 1	- 3	- 1	- 1
Totaal	- 9	- 8	- 4	-12	-33		+ 8	+ 2	+ 3	- 8	+ 5	+ 5

$$X_{..} = -33$$

$$X_{..}^2 = 1089$$

$$Y_{..} = +5$$

$$Y_{..}^2 = 25$$

$$\sum_{m=1}^8 X_{m.}^2 = 499$$

$$\sum_{m=1}^8 Y_{m.}^2 = 187$$

$$\sum_{n=1}^4 X_{.n}^2 = 305$$

$$\sum_{n=1}^4 Y_{.n}^2 = 141$$

$$\sum_m \sum_n X_{mn} = 235$$

$$\sum_m \sum_n Y_{mn} = 127$$

"OP"

I variantie oorzaak	II vrij- heids graden	III Sommen van kwadraten	IV variantie S^2 (III/II)	V variantie quotient F	VI F-tabel P= 0,05
Niveau	1	34,021	34,02	6,73	4,32
Herhalingen	3	4,104	1,37	0,27	3,07
Hoogte	7	90,729	12,96	2,56	2,49
Rest	21	106,146	5,05	-	-

"NEER"

I	II	III	IV	V	VI
Niveau	1	0,781	0,78	0,26	4,32
Herhalingen	3	16,844	5,61	1,86	3,07
Hoogte	7	45,969	6,57	2,18	2,49
Rest	21	63,406	3,02	-	-

*) Verminderd met theoretische stand (zie tekst)

Tabel 4 (Grondwater vlotter) Variantie analyse van de verschillen van de schrijfstanden met hun theoretische standen.

"OP" standen (X)

"NEER" standen (Y)

No	herhalingen (n)				Tot.	n gem.	herhalingen (n)				Tot.	n gem.
	1	2	3	4			1	2	3	4		
(m) hoogten	1	- 15	- 13	- 8	- 9	- 45	- 11,25	- 3	+ 2	+ 3	+ 6	+ 8
	2	- 12	- 8	- 6	- 2	- 28	- 7,00	+ 4	+ 3	+ 4	+ 8	+ 19
	3	- 12	- 4	- 6	- 6	- 28	- 7,00	+ 9	+ 8	+ 7	+ 8	+ 32
	4	+ 1	+ 3	+ 2	+ 4	+ 10	+ 2,50	+ 14	+ 14	+ 14	+ 14	+ 56
	5	+ 4	+ 2	+ 3	+ 4	+ 13	+ 3,25	+ 10	+ 10	+ 18	+ 20	+ 58
	6	- 4	- 5	- 7	- 6	- 22	- 5,50	0	0	+ 11	+ 15	+ 26
	7	0	- 2	- 6	+ 1	- 7	- 1,75	+ 2	+ 2	+ 3	+ 2	+ 9
	8	- 5	- 5	0	+ 8	- 2	- 0,50	- 2	- 1	+ 9	+ 15	+ 21
Tot.	- 43	- 32	- 28	- 6	- 109	- 3,41	+ 34	+ 38	+ 69	+ 88	+ 229	+ 7,16

$$X.. = - 109$$

$$X^2.. = 11881$$

$$Y.. = 229$$

$$Y^2.. = 52441$$

$$\sum_{m=1}^8 X_m^2 = 4398$$

$$\sum_{m=1}^8 Y_m^2 = 9147$$

$$\sum_{n=1}^4 X_{..n}^2 = 3693$$

$$\sum_{n=1}^4 Y_{..n}^2 = 15105$$

$$\sum_m^8 \sum_n^4 X_{mn} = 1375$$

$$\sum_m^8 \sum_n^4 Y_{mn} = 2771$$

"OP"

I variantie oorzaak	II vrij- heids graden	III Sommen van kwadraten	IV variantie s ² (III/II)	V variantie quotient F	VI F tabel P = 0,05
Niveau	1	371,28	371,28	-	4,32
Herhalingen	3	90,35	30,12	3,41	3,07
Hoogte	7	728,22	104,31	11,82	2,49
Rest	21	185,15	8,82	-	-
"NEER"					
I	II	III	IV	V	VI
Niveau	1	1638,78	1638,78	-	4,32
Herhalingen	3	249,35	83,12	7,43	3,07
Hoogte	7	647,97	92,57	8,27	2,49
Rest	21	234,90	11,19	-	-

5. Schrijver apparatuur.

A. Foutenbronnen.

Op grond van de resultaten van het oriënterend onderzoek (zie Nota No1) werd als belangrijkste foutenbron in het huidige onderzoek de niveaufout berekend. Deze fout ontstaat door wrijving en speling in het mechanisme. Tijdens een stijgende beweging wordt een te lage- tijdens een dalende beweging een te hoge waterstand afgelezen.

Een tweede foutenbron kan ontstaan indien de overbreng verhouding niet geheel juist is. Bedraagt deze verhouding b.v. 1:5, dan moet bij een stijging of daling van de waterspiegel over 5,00cm, op de trommel van het instrument een hoogteverschil van 1,00cm worden afgelezen.

De fout welke kan ontstaan door onregelmatige liniëring van het grafiekenpapier is zoals uit het voorgaande onderzoek blijkt in het algemeen zeer klein. Deze foutenbron is hier verder buiten beschouwing gelaten.

B. Resultaten.

In de proefgoot werden een aantal niveau's afwisselend be-
naderd vanuit een lagere en een hogere waterstand. In de geschreven grafieken werden de afstanden gemeten tussen de geschreven niveau's en een horizontale nullijn. Deze afstanden resp. W na stijging en V na daling zijn in tabellen verzameld en in bijlage 2 weergegeven.

a) Niveaufout.

Uit de waarnemingsreeksen is in bijlage 1 berekend welke correctie δ mm bij de waarnemingen moet worden opgeteld tijdens stijging van het waterniveau. Deze correctie moet dan bij dalend niveau van de geschreven hoogten worden afgetrokken. Hierbij is aangenomen dat de niveaufout geen preferentie vertoont voor dalende of stijgende beweging. Voorts werd een op de correctie δ betrekking hebbend betrouwbaarheids interval bepaald. De grootte a van het halve betrouwbaarheids interval geeft aan die grootte van afwijking welke gemiddeld in slechts 5% van alle gevallen zal worden overschreden. De waarden van δ en $\frac{1}{2}a$ zijn in tabel 5 opgenomen.

Tabel 5.

Meter No	overbreng verhouding	aantal niveau's	aant.waarn. per niveau (herhalingen)	correctie niveau fout δ mm	$\frac{1}{2}a$ (mm)
C 3731 vlotter ϕ 80mm	1:5	6	9	1,39	0,14
idem	1:10	2	5	(0,55)	0,60
grote vlotter ϕ 280mm	1:5	8	3	0,05	0,0032
192h-340380 normale vlotter ϕ 120mm	1:5	8	10	0,16	0,08

b) Fout t.g.v. overbrengverhouding.

De fout welke kan ontstaan uit een afwijkende overbrengverhouding kan worden bepaald, door in de grafiek telkens de afstand tussen

2 opeenvolgende niveau's te meten en de gevonden uitkomsten te vergelijken met de verwachte waarden. (tabel 6)

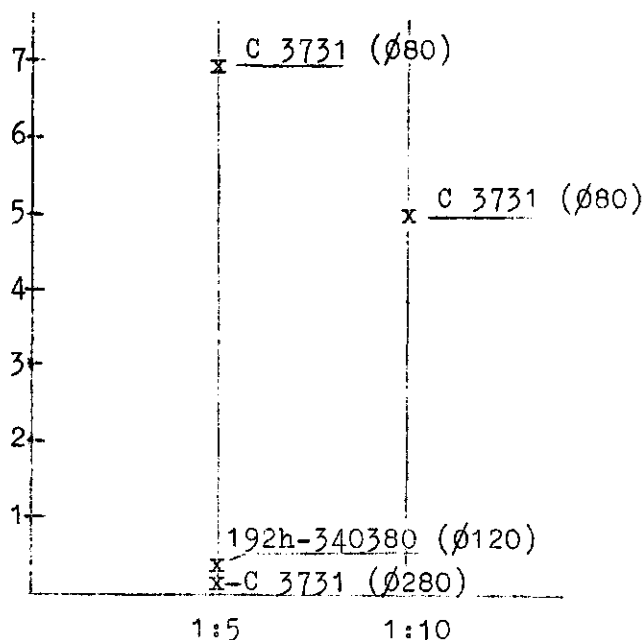
Tabel 6

Meter No	overbreng verhouding	verwachte niveau verandering mm. bij variatie van 50,0mm	gem.variatie "OP" standen (mm)	gem.variatie "NEER"standen (mm)
C 3731 vlotter $\varnothing 80$ mm	1:5	10,00	9,96	9,80
idem	1:10	5,00	5,03	4,88
grote vlotter $\varnothing 280$ mm	1:5	10,00	10,00	9,96
192h-340380 normale vlotter $\varnothing 120$ mm	1:5	10,00	10,10	10,08

C. Konklusie Schrijverapparaat.

1.a) Niveaufout

Voor elk instrument blijkt een niveaufout aanwezig te zijn (zie tabel 7)



In bijgaande figuur zijn de gevonden korrekties voor de niveaufout gedeeld door de vertragsingsverhouding, uitgezet tegen de vertragsingsverhouding. In verticale richting zijn dus de korrekties op het geregistreerde waterpeil afgezet tegen horizontaal de bijbehorende overbreng verhouding.

b) Bij een bepaalde indompeling van de vlotter wordt de kracht welke beschikbaar is om de wrijving in het mechanisme te overwinnen bepaald door de vlotterdoorsnede. Dit betekent, dat een kleine vlotter verder in het water wordt gedrukt of er verder uit wordt getrokken dan een grote-. Inderdaad blijkt dat bij toepassing van een grote vlotter ($\varnothing 28$ cm) de niveaufout vrijwel tot nul wordt teruggebracht.

c) Een verschijnsel dat reeds bij het voorgaande onderzoek (zie Nota 2) werd opgemerkt en ook hier optrad is, dat de waterpeil correctie kleiner wordt naarmate de vertraging sterker wordt. Dit schijnt er op te wijzen dat de weerstand in hoofdzaak door de wrijving van het pennetje wordt veroorzaakt en niet door het overbreng mechanisme. De vlotterdiameter moet dan

echter onveranderd blijven. Een vergelijking tussen verschillende typen instrumenten is alleen dan aanvaardbaar als ook de vlotterdiameter gelijk is.

2. Nauwkeurigheid van een aflezing.

Uit de formule voor het betrouwbaarheids interval (zie bijlage I) blijkt, dat de betrouwbaarheids grenzen voor de gemiddelde niveaufout δ bij elke aflezing als volgt worden bepaald met behulp van de uit de waarnemingen verkregen schatting van de spreiding σ_d :

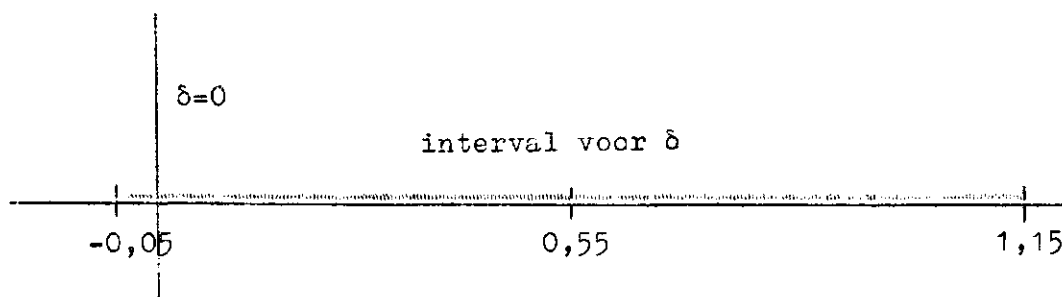
$$\frac{1}{2}\bar{d} - \frac{1}{2}a < \delta < \frac{1}{2}\bar{d} + \frac{1}{2}a$$

waarbij $a = t_{n-1;0,05} \cdot S(\sigma_d)$

Een betrouwbaarheids interval dat met 95% kans het juiste waterniveau zal bevatten heeft de grenzen

$$(W + \frac{1}{2}d) \pm \frac{1}{2}a \quad \text{of} \quad (V - \frac{1}{2}d) \pm \frac{1}{2}a$$

Een korrektie ter grootte $\frac{1}{2}d$ heeft twijfelachtige waarde als $\delta=0$ één van de waarden in het interval is. Er is dan geen significante niveaufout. Bijvoorbeeld bij meter No C 3731 (verhouding 1:10), hier is $\frac{1}{2}d = 0,55$ en $a = 0,60$



3. Fout t.g.v. overbreng verhouding.

De grootte van de fout blijkt hoewel in veel geringere mate dan de niveaufout ook door de vlotterdiameter te worden beïnvloed. (zie tabel 8). De fouten zijn hier echter gering

6. Literatuur opgave.

1. Nota betreffende inleidend onderzoek peilapparatuur
Nota No 1, Hydraulica laboratorium, Landbouw Hogeschool, 1963
2. Voortgezet onderzoek van registrerende waterstandsmeters
Nota No 2, Hydraulica laboratorium, Landbouw Hogeschool, 1963
3. Corsten prof. dr. Ir.L.O.A., Wiskundige verwerking van waarnemings uitkomsten. Landbouw Hogeschool afd. Wiskunde
College dictaat 1965 - 1966.
4. Pearson E.S. and Hardley H.O., Biometrika Tables for Statisticians
Volume 1 Cambridge University Press 1954.
5. Snedecor G.W., Statistical Methods.
Collegiate Press Inc. Ames, Iowa 1938

Bijlage I.

Berekening niveaufout en betrouwbaarheids interval voor
schrijverapparatuur.

De in de grafieken gemeten afstanden t.o.v. de nullijn zijn in het onderstaande als volgt aangeduid:

"OP" standen W ; "NEER" standen V ; Verschillen $V_n - W_n = d$

Een zuivere schatter $\bar{d}$ van $E(V - W)$ is:

$$\bar{d} = \frac{\sum V - \sum W}{n}$$

Indien een gebruiker van het instrument een waarneming doet van V of W , wenst hij de korrektie d te kennen om een zuivere schatting van het water-niveau te verkrijgen.

Veronderstelling. Het werkelijke waterniveau ligt halverwege tussen V en W . Bij deze veronderstelling is aangenomen dat de wrijvingsweerstand en de speling in het mechanisme in beide richtingen dezelfde niveaufout tengevolge zullen hebben. Dit houdt dus in, dat aan de waarneming W resp. V een korrektie $\delta = d/2$ moet worden bijgevoegd resp. afgetrokken (de niveaufout)

Aan de hand van een voorbeeld zal de berekening van een betrouwbaarheids interval worden uiteengezet.

Voorbeeld: Meter No C 3731: overbreng verhouding 1:5.
Aantal herhalingen (n) = 9

No	water niveau	$\sum W$	$\sum V$	$\sum W - \sum V$	d
1	+10,00	49,85	22,50	26,35	2,93
2	+15,00	140,25	112,95	27,30	3,03
3	+20,00	229,55	203,00	26,55	2,95
4	+25,00	317,65	292,15	25,50	2,83
5	+30,00	403,45	382,05	21,40	2,38
6	+35,00	493,35	470,65	22,70	2,52

$\bar{d} = 2,77$;
niveaufout $\delta = \frac{1}{2}\bar{d} = 1,39$
range $W_6 = 0,65$

Uit de waarnemingen is voor elk niveau een d berekend. De range of breedte W van de getallen d is het verschil tussen de hoogste en de laagste waarde van d . In het voorbeeld is $W_6 = 3,03 - 2,38 = 0,65$.

De verwachte waarde van de stochastiek W_6 is blijkens een tabel*) voor breedtes bij de normale verdeling 2,534 σ .

$$S(\sigma) = \frac{0,65}{2,534} = 0,2565 \quad (S(\delta) = \frac{\text{gevonden range}}{\text{verwachte range}/\sigma})$$

$S(\sigma)$ geldt voor de verschillen van d voor elk niveau afzonderlijk. Voor een gemiddelde $\bar{d}$ in zes hoogten is $S(\sigma_{\bar{d}}) = \frac{1}{\sqrt{6}} S(\sigma_d) = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot 0,2565 = 0,1047$

De halve lengte van een betrouwbaarheids interval voor het verwachte verschil $E(\bar{d})$ is nu :

$$a = t_{n-1;0,05} \cdot S(\sigma_{\bar{d}})$$

*) zie tabel 20, pag.164 Biometrika Tables.

$$n=6; \quad t_{n-1} = t_5 = 2,571 \quad (\text{zie Biometrika Tables})$$

$$a = 2,571 \cdot 0,1047 = 0,2692.$$

Een betrouwbaarheids interval dat met 95% kans het juiste water-niveau zal bevatten ligt dus tussen de grenzen

$$(W + \frac{1}{2}d) \pm \frac{1}{2}a \quad \text{of} \quad (V - \frac{1}{2}d) \pm \frac{1}{2}a$$

$$\text{dus } (W + 1,39) \pm 0,135 \quad \text{of} \quad (V - 1,39) \pm 0,135$$

Meetcijfers

Bijlage II-A ponsband apparatuur (standaard vlotter)

De getallen geven afgelezen en geponste schaaldelen aan

"OP"standen Serie 1

Serie 2

Serie 3

Serie 4

water niveau (cm)	schrijf standen	pons standen	schrijf standen	pons standen	schrijf standen	pons standen	schrijf standen	pons standen
+ 5,00	16,2	16	16,4	16	16,4	16	16,4	16
+10,00	32,7	33	32,9	33	32,9	33	32,9	33
+15,00	49,0	49	49,1	49	49,1	49	49,1	49
+20,00	65,8	66	65,8	66	65,8	66	65,8	66
+25,00	82,2	82	82,1	82	82,1	82	82,1	82
+30,00	98,7	99	98,6	99	98,6	99	98,7	99
+35,00	114,8	115	114,9	115	114,9	115	114,9	115
+40,00	131,4	131	131,5	132	131,4	131	131,4	131

"NEER"standen

+ 5,00	16,7	17	16,7	17	16,7	17	16,7	17
+10,00	33,2	33	33,1	33	33,1	33	33,1	33
+15,00	49,7	50	49,7	50	49,7	50	49,7	50
+20,00	66,1	66	66,1	66	66,1	66	66,1	66
+25,00	82,6	82	82,8	83	82,8	82	82,8	83
+30,00	99,0	99	99,0	99	99,0	99	99,0	99
+35,00	115,2	115	115,2	115	115,2	115	115,2	115
+40,00	131,8	132	131,7	132	131,8	132	131,8	132

Bijlage II-B ponsband apparatuur (grondwater vlotter)

"OP"standen

+ 5,00	14,9	15	15,1	15	15,6	16	15,5	16
+10,00	31,6	32	32,0	32	32,2	32	32,6	33
+15,00	48,0	48	48,8	49	48,6	49	48,6	49
+20,00	65,7	66	65,9	66	65,8	66	66,0	66
+25,00	82,4	82	82,2	82	82,3	82	82,4	82
+30,00	98,0	98	97,9	98	97,7 ^x	98 ^x	97,8	98
+35,00	114,8	115	114,6	115	114,2 ^x	114 ^x	114,9	115
+40,00	130,7	131	130,7	131	131,2	131	132,0	132

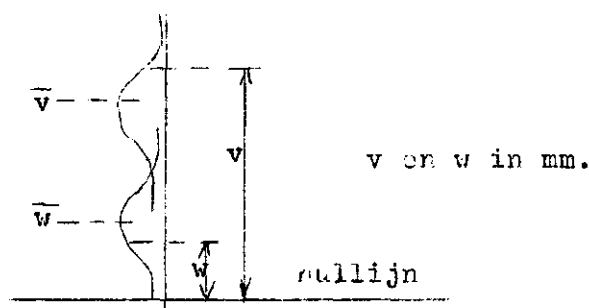
"NEER"standen

+ 5,00	16,1	16	16,6	17	16,7	17	17,0	17
+10,00	33,2	33	33,1	33	33,2	33	33,6	34
+15,00	50,1	50	50,0	50	49,9 ^x	50 ^x	50,0	50
+20,00	67,0	67	67,0	67	67,0	67	67,0	67
+25,00	83,0	83	83,0	83	83,8	84	84,0	84
+30,00	98,4	98	98,4	98	99,5	99	99,9	100
+35,00	115,0	115	115,0	115	115,1	115	115,0	115
+40,00	131,0	131	131,1	131	132,1	132	132,7	133

^x Pen valt niet in gaatje van vlotterband doch ernaast, hierdoor kan een te lage aflezing ontstaan.

Schrijver apparatuur no 03731 (1:5; vlotter $\varnothing$ 8cm. serie 1 t/m 9)

water niveau (cm)	Serie 1		Serie 2		Serie 3	
	v	w	v	w	v	w
+10,00	6,55	2,15	4,95	2,50	6,15	2,15
+15,00	15,60	12,00	15,10	12,15	14,80	12,25
+20,00	25,50	22,25	25,35	22,25	24,80	22,25
+25,00	34,65	31,05	35,35	32,35	34,55	31,95
+30,00	45,00	42,10	45,00	42,15	44,40	41,65
+35,00	54,95	51,95	54,45	52,05	54,40	52,00
Serie 4		Serie 5		Serie 6		
+10,00	5,10	3,00	7,15	2,75	5,05	2,35
+15,00	15,50	12,90	17,00	13,10	15,50	12,70
+20,00	25,45	22,90	27,10	22,90	25,45	22,75
+25,00	35,50	33,05	36,70	32,70	35,50	32,55
+30,00	45,00	42,55	44,95	42,60	44,80	42,40
+35,00	55,25	52,50	55,30	52,70	54,80	52,30
Serie 7		Serie 8		Serie 9		
+10,00	4,55	2,65	5,55	2,70	4,80	2,25
+15,00	15,70	12,65	15,25	12,70	14,80	12,50
+20,00	25,60	22,75	25,30	22,70	25,05	22,25
+25,00	35,60	32,65	35,00	32,75	34,80	32,30
+30,00	44,50	42,35	45,20	42,60	44,60	42,45
+35,00	54,60	52,60	55,05	52,55	54,35	52,00
1:10 vlotter $\varnothing$ 8cm. (serie 10 t/m 14)						
Serie 10		Serie 11		Serie 12		
+20,00	13,00	11,85	13,00	11,90	13,05	11,55
+25,00	18,00	17,00	17,95	16,95	17,95	16,85
Serie 13		Serie 14				
+20,00	13,05	11,85	13,05	11,75		
+25,00	17,95	16,85	17,70	16,80		
1:5 grote vlotter $\varnothing$ 28cm. (serie 15 t/m 17)						
Serie 15		Serie 16		Serie 17		
+ 5,00	10,40	10,10	10,20	10,10	10,30	10,10
+10,00	20,30	20,20	20,15	20,20	20,20	20,10
+15,00	30,10	30,10	30,10	30,15	30,10	30,10
+20,00	40,20	40,05	40,25	40,00	40,10	40,05
+25,00	50,10	50,00	50,05	50,00	50,00	50,00
+30,00	60,20	60,05	60,05	60,00	60,10	60,00
+35,00	70,35	70,00	70,05	70,05	70,05	70,00
+40,00	80,05	80,00	80,05	80,00	80,05	80,00



1. The first part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

2. The second part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

3. The third part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

4. The fourth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

5. The fifth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

6. The sixth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

7. The seventh part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

8. The eighth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

9. The ninth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

10. The tenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

11. The eleventh part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

12. The twelfth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

13. The thirteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

14. The fourteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

15. The fifteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

16. The sixteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

17. The seventeenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

18. The eighteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

19. The nineteenth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

20. The twentieth part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

Bijlage II-D

Meetcijfers

Schrijver apparatuur No 192h-340380 (1: vletter # 12cm.)

water niveau (cm)	Serie 1		Serie 2		Serie 3	
	v	w	v	w	v	w
+ 5,00	10,65	10,10	10,40	10,00	10,35	10,00
+10,00	20,90	20,50	20,90	20,20	20,80	20,10
+15,00	30,75	30,95	30,75	30,70	30,70	30,00
+20,00	41,20	41,80	40,60	40,40	40,55	40,35
+25,00	51,20	50,75	50,75	50,60	50,95	50,25
+30,00	60,90	60,75	60,90	60,65	60,90	60,80
+35,00	71,35	71,10	71,15	70,80	71,05	70,55
+40,00	81,00	80,75	80,80	80,70	80,90	80,75
	Serie 4		Serie 5		Serie 6	
+ 5,00	10,45	10,00	10,60	10,10	10,55	10,00
+10,00	20,40	20,10	21,00	20,40	21,00	20,35
+15,00	30,75	29,95	30,75	30,85	30,90	30,30
+20,00	41,10	40,40	40,65	40,60	40,65	40,60
+25,00	50,05	50,25	51,00	50,40	51,05	50,60
+30,00	60,90	60,90	61,00	60,80	61,10	60,95
+35,00	71,15	70,70	71,20	70,65	71,20	70,85
+40,00	80,95	80,85	80,95	80,90	80,90	80,85
	Serie 7		Serie 8		Serie 9	
+ 5,00	10,35	10,10	10,50	10,25	10,60	10,15
+10,00	20,85	20,30	20,85	20,25	20,95	20,25
+15,00	30,80	30,10	30,70	30,75	30,85	30,15
+20,00	40,60	40,70	40,70	40,60	40,50	40,65
+25,00	51,10	50,80	51,10	50,50	50,85	50,60
+30,00	60,90	61,00	60,90	60,95	60,95	60,90
+35,00	70,90	70,75	71,10	70,90	71,10	70,70
+40,00	81,00	80,95	81,05	80,90	81,00	80,40
Serie 10						
+ 5,00	9,95	9,85				
+10,00	20,60	19,95				
+15,00	30,40	30,45				
+20,00	40,30	40,20				
+25,00	50,70	50,15				
+30,00	60,80	60,75				
+35,00	70,75	70,60				
+40,00	80,70	80,60				

