

ENKELE TOEPASSINGEN VAN HET ELEKTRISCH ANALOGON MODEL "WAGENINGEN"

(een bewerking van een studie door J.H.L. Franssen)

nota 31

Prof.ir. D.A. Kraijenhoff van de Leur



LABORATORIUM VOOR HYDRAULICA EN AFVOERHYDROLOGIE
LANDBOUWHOGESCHOOL

I. INLEIDING

In nota No. 25 van het Laboratorium voor Hydraulica en Afvoerhydrologie werd een beschrijving gegeven van het elektrisch analogon dat wordt ontwikkeld in aansluiting op het mathematisch neerslag-afvoer model "Wageningen". Wat betreft de opvattingen over het afvoerproces en de daaruit afgeleide structuur van dit model wordt hier kortheidshalve naar deze nota No. 25 verwezen.

Een subsidie welke door de bemiddeling van de Studiegroep Hupselse Beek werd verkregen heeft er toe bijgedragen dat het analogon onlangs weer verder kon worden uitgebouwd en verbeterd zodat het aantal geheugenplaatsen voor de beide kanalen van de programmagenerator van 200 tot 750 is uitgebreid en het invoeren van de gegevens in deze generator thans met behulp van een toetsenbord kan worden verricht. Dit betekent voor een stroomgebied zoals dat van de Hupselse Beek dat de daarvoor te verwerken reeksen van 3-uur-gegevens van neerslag en afvoer over een aaneengesloten periode van 3 maanden snel en nauwkeurig in het geheugen kunnen worden opgeslagen. Door deze belangrijke verbeteringen biedt het analogon nu de mogelijkheid om voor praktisch iedere winterperiode waarin wel neerslag maar geen verdamping is opgetreden op snelle wijze uit de best mogelijke overeenstemming tussen de gemeten reeks van afvoeren en het uit de opgetreden neerslag berekende afvoerverloop, de optimale waarden van de modelparameters te vinden. Hierbij moet echter worden aangetekend dat in een aantal gevallen het optimum niet geheel kon worden bereikt doordat de bovengrens van 100 intervallen voor de reservoircoëfficiënt van de langzame tak nog te laag bleek te liggen.

De student J.H.L. Franssen verrichtte een optimaliseringsonderzoek met behulp van gegevens betreffende enige neerslagrijke winterperioden in 1965 en 1966 voor de meetstuwen 10A, 12 en 13 in het gebied van de Leerinckbeek. Uit vroeger onderzoek (scriptie De Raad 1967) was bekend dat voor deze perioden, althans wat de gegevens betreffende de stuwen 10A en 12 betreft, een zeer goede reconstructie van het afvoerverloop met toepassing van het model "Wageningen" kon worden verkregen.

Het onderzoek van Franssen richtte zich in de eerste plaats op de structuur van het model zoals die in de onderlinge relatie van de parameterwaarden tot uitdrukking kon worden gebracht. Hij betrok hierbij ook de beschikbare gegevens van meetstuw 13. Vervolgens onderzocht hij de reproduceerbaarheid van de geoptimaliseerde parameterwaarden en de invloed daarop van de inmiddels in het analogon aangebrachte verbeteringen.

Het onderzoek werd later nog uitgebreid over een aantal winterperiodes na de ruilverkavelingswerkzaamheden in het stroomgebied van de Hupselse Beek.

II. AFHANKELIJKHEIDSONDERZOEK VAN DE PARAMETERS

Vóór de uitvoering van de ruilverkavelingswerken in het stroomgebied van de Hupselse Beek was het "Wageningse model" reeds een uitstekend werktuig gebleken om de relatie tussen het verloop van de gebiedsneerslag en dat van de afvoer door het meetpunt 10A althans voor een vorstvrije winterperiode, zonder verdamping, nauwkeurig te beschrijven. Figuur 1 toont het verloop van de gebiedsneerslag en het gemeten- en het berekende afvoerverloop voor de periode dec. 1965/jan. 1966. Van deze omstandigheid is gebruik gemaakt door de invloed die afwijkingen tussen het gemeten en het berekende afvoerverloop op het afhankelijkheids onderzoek van de parameters zou kunnen hebben geen significante betekenis toe te kennen.

Het onderzoek verloopt nu als volgt: Nadat de gemeten reeksen van de gebiedsneerslag en de -afvoer, beide uitgedrukt in millimeters per 3 uur op een oppervlak van 650 ha., in de programmagenerator zijn opgeslagen voert men de neerslag door het model en vergelijkt de aldus berekende waarden van het afvoerverloop met de opgeslagen gemeten afvoerwaarden. De mate van afwijking wordt bepaald met behulp van een ingebouwde criteriumfunctie die voor elk interval de absolute waarde van het verschil tussen gemeten en berekende afvoer bepaalt en vervolgens over de gehele beschouwde periode deze verschillen sommeert. Hoe kleiner deze som, of *criteriumwaarde*, uitvalt hoe nauwkeuriger het model -in dit geval het model "Wageningen"- de transformatie van neerslag- naar afvoerreeks beschrijft. Uiteraard is de criteriumwaarde niet alleen afhankelijk van de structuur van het model, zoals dit in nota No. 25 is weergegeven, maar ook van de gekozen waarden voor de parameters in dit model.

Er zijn in eerste instantie de vier parameters α , j_1 , j_2 en τ . De waarden van deze parameters kunnen in het analogon door middel van draaiknoppen worden veranderd. Bij een bepaalde combinatie van knopstanden behoort een zekere criteriumwaarde (C.W.) en men zou zich kunnen voorstellen dat men deze C.W. bij variatie van twee parameters uitzet loodrecht op een vlak waarin deze twee parameters als coördinaten in een loodrecht assenstelsel fungeren. Men kan het aldus te vormen criteriumwaardenvlak uitbeelden door "hoogtelijnen" elk met een constante C.W. Figuur 2 toont zo'n "hoogtekaart".

Hierin geeft het diepste punt van het dal de combinatie van de parameterwaarden $\alpha = 0,7$ en $\tau = 0,9$ aan, waarbij de waarden voor de parameters j_1 en j_2 op respectievelijk 3 en 35 intervallen werden vastgehouden. Vervolgens is figuur 3 vervaardigd waarbij de parameters $\alpha = 0,7$ en $\tau = 0,9$ intervallen constant zijn gehouden maar j_1 en j_2 de variabelen zijn. In deze figuur vindt men twee dalen en het laagste minimum ligt bij de combinatie $j_1 = 4$ en $j_2 = 35$ intervallen. Het tweede minimum ligt bij een lage waarde van j_2 en een hoge waarde van j_1 : De "langzame" tak is dan snel en de "snelle" tak is langzaam geworden. Bij een constant blijvende $\alpha = 0,7$ levert dit tweede minimum echter een minder goede benadering op zodat het dal minder diep zal zijn dan het eerder genoemde voor $j_1 = 4$ en $j_2 = 35$ intervallen.

Figuur 4 laat zien dat bij constante parameterwaarden $j_2 = 35$ intervallen en $\tau = 0,9$ intervallen de optimale combinatie van de beide andere parameters inderdaad weer bij $\alpha = 0,7$ en $j_1 = 4$ intervallen ligt.

Voordat er tot het trekken van conclusies wordt overgegaan moet eerst nog de aandacht worden gevestigd op het feit dat de vorm van de "hoogtekaarten" niet alleen afhankelijk is van de structuur van het gebruikte model maar ook -zoals reeds is opgemerkt- van de bereikbare mate van overeenstemming tussen waargenomen en berekend afvoerverloop. Bovendien speelt ook de vorm van het afvoerverloop, dat als uitgangspunt voor dit afhankelijkheidsonderzoek wordt gekozen, vermoedelijk een betekende rol. Om deze invloed uit te schakelen zou men van een voor het model karakteristieke responsie, zoals de S-curve (unit-step response) moeten uitgaan. In hoeverre de daaruit te verkrijgen resultaten op in de praktijk voorkomende afvoerverlopen kunnen worden overgedragen zou dan ook nog moeten worden onderzocht. Uit een en ander volgt wel dat de aanwijzingen die uit de figuren 2, 3 en 4 kunnen worden ontleend in principe slechts betrekking hebben op de combinatie van het toegepaste model en het onderzochte afvoerverloop dus in dit geval op het model "Wageningen" en de neerslag-afvoer relatie uit het stroomgebied van de Hupselse Beek voor de periode december 1965 - januari 1966.

Beschouwt men thans figuur 2 nader dan volgt uit de stand van de ellipsvormige "hoogtelijnen" nabij de minima, dat althans in de omgeving van deze minima de abcis van het partiële minimum $\frac{\partial(CW)}{\partial\tau} = 0$ onafhankelijk is van α en omgekeerd de ordinaat van $\frac{\partial(CW)}{\partial\alpha} = 0$ onafhankelijk is van τ . Dit wijst erop dat de parameters τ en α karakteristieken van het afvoerverloop vertegenwoordigen welke niet in betekende mate met elkaar samenhangen. Verder blijkt het model hier gevoeliger te zijn voor een procentuele verandering van α dan voor een procentuele verandering van τ . Wanneer men in figuur 2 de schalen

van τ en α zo zou veranderen dat de optimum combinatie op een lijn onder 1:1 door de oorsprong zou komen te liggen zou de assen verhouding van de ellipsen om de minimum C.W. deze verhouding tussen de gevoeligheden in omgekeerd evenredige zin weergeven.

Soortgelijke gevolgtrekkingen kan men uit figuur 3 trekken; ook hier liggen de assen van de ellipsen horizontaal en verticaal. Bovendien blijkt de C.W. waarde, althans nabij het minimum, betrekkelijk ongevoelig te zijn voor veranderingen van j_2 . Een goede aansluiting tussen het berekende- en het waargenomen afvoerverloop is betrekkelijk ongevoelig voor een variatie van j_2 om de optimumwaarde van 35 interval en in het bijzonder voor een procentuele verhoging van j_2 . Kiest men j_1 ook maar even mis, dan blijkt de C.W. niet te veranderen zolang $j_2 > 35$ intervallen.

Vergelijkt men de figuren 2 en 3 dan blijkt in laatstgenoemde figuur het minimum iets lager te liggen dan in figuur 2. Franssen, aan wiens werk alle figuren betreffende de onderlinge afhankelijkheid van parameters zijn ontleend, wees reeds op de nulpuntsdrift die vooral vóór de verbetering van het analogon optrad. Na de verbetering bleek het effect nogal mee te vallen want bij de daarop volgende controle behoefde hij de vorm van de reeds verkregen relatiefiguren niet wezenlijk te veranderen. De bereikte minimum C.W.'s bleken echter onbetrouwbaar te zijn.

Figuur 4 toont een nieuw element; de ellipsassen liggen nu niet meer horizontaal en verticaal. Het partiële minimum van de ene variabele blijkt nu afhankelijk te zijn van de waarde welke men voor de andere variabele aanhoudt, m.a.w. wanneer men voor α niet de optimale waarde kiest zal men j_1 moeten aanpassen teneinde alsnog het verschil tussen het berekende en het waargenomen afvoerverloop zo klein mogelijk te houden. De conclusie luidt dat men de optimale waarden voor α en j_1 niet onafhankelijk van elkaar d.m.v. partiële minima bij $\frac{\partial(CW)}{\partial\alpha} = 0$ en $\frac{\partial(CW)}{\partial j_1} = 0$ kan kiezen. Beschouwt men tenslotte nog de gevoeligheid voor variaties van α en j_1 rond het optimum dan blijkt een bepaalde procentuele variatie in α iets meer invloed te hebben dan dezelfde variatie in j_1 .

Tracht men nu uit het voorgaande de meest efficiënte optimaliseringsmethode (volgorde van knoppendraaien) af te leiden dan komt men tot de volgende sequentie:

1. Zoek met enig knoppendraaien een globale overeenstemming tussen de beelden van het geprogrammeerde afvoerverloop en van het berekende verloop (op het scherm van de oscillograaf).

2. Draai de j_2 -knop van hoog naar laag tot de stand waar de C.W. nog net niet uit het lange minimum gaat oplopen (zie fig. 3).
3. Zoek nu het partiëel minimum voor j_1 . Aangezien j_1 en j_2 elkaar nabij het optimum niet beïnvloeden vindt men daarmee de optimum j_1 -waarde bij de als nog benaderende waarden voor α en τ .
4. Draai de α -knop naar een minimum C.W. Als j_1 reeds optimaal is, moet daarmee, zoals blijkt uit figuur 4, ook α zijn optimum hebben bereikt.
5. Corrigeer tenslotte de τ -knop zodat ook daarmee een laagste C.W. wordt bereikt. Aangezien α en τ onafhankelijk zijn zou men daarmee ook de τ parameter hebben geoptimaliseerd.
6. Herhaal de handelingen 2 t/m 5. Wanneer men op de beschreven wijze de figuren 3, 4 en 2 doorloopt krijgt men de indruk dat de convergentie naar de optimale parameterwaarden snel verloopt.

N.B. Franssen illustreerde aan de hand van de figuren 5, 6, (2), 7 en 8 hoe het afhankelijkheidspatroon van twee vrije variabelen (hier α en τ) door de aanname van de constante parameters wordt bepaald. Hoewel de gesignaleerde nulpuntsvariatie geen definitieve conclusies toelaat is toch de tendens van een verdieping van het minimum zichtbaar bij toenemende waarden van j_1 tot $j = 3 \text{ à } 4$ intervallen. In figuur 8 ziet men zelfs dat, voor het hier onderzochte afvoerverloop in december 1965, de benadering van het waargenomen door het berekende verloop er niet eens zo erg onder zou lijden wanneer men $\tau = 0$ intervallen, $\alpha = 1$ en $j_1 = 6$ intervallen zou stellen, d.w.z. wanneer men de neerslag zonder verdere bewerking door één j -model met de aangegeven karakteristieke tijd zou leiden (zie figuur 9).

III OPTIMALISERING VAN PARAMETERS VOOR VERSCHILLENDE STROOMGEBIEDEN EN VERSCHILLENDE PERIODEN

Het volgende onderzoek van Franssen betrof het afvoerverloop door meetstuw 13 over een periode omstreeks de jaarwisseling 1965/'66. Uitgaande van de gegevens van hetzelfde regenstation in het gebied van de Hupselse Beek bleek ook nu een goede reconstructie van het afvoerverloop te kunnen worden verkregen (figuur 10). De relatiediagrammen van de parameters worden hier niet gereproduceerd; zij hadden vrijwel dezelfde vormen als die welke voor meetstuw 10A (stroomgebied Hupselse Beek) voor dezelfde periode waren verkregen.

De daarop onderzochte periode in november 1966 leverde zowel voor meetstuw 10A als voor meetstuw 13 slechts een matige overeenstemming tussen bere-

kend en waargenomen afvoerverloop op (figuren 11 en 12). De beide figuren tonen gelijkvormige afwijkingen zodat men geneigd is te concluderen dat voor deze periode het uit de regenwaarnemingen op station Assink afgeleide verloop van de gebiedsneerslag niet nauwkeurig het werkelijke verloop van de afvoerbare gebiedsneerslag weergaf. Deze conclusie vindt verdere steun in de resultaten van de vervolgens in beschouwing genomen periode in december 1966. Dan is er namelijk weer sprake van een goede overeenstemming tussen berekend en waargenomen afvoerverloop (figuren 13 en 14). Een tweetal afwijkingen konden later uit sneeuwval worden verklaard. Op grond van deze overwegingen zullen de voor november 1966 gevonden optimale waarden voor de parameters niet verder in deze beschouwing worden betrokken.

Tenslotte optimaliseerde Franssen de parameters over de winter 1965/'66 en december 1966 voor de afvoeren door meetstuw 12. De resultaten van alle genoemde optimalisaties zijn in tabel 1 verenigd.

	meetstuw 10A		meetstuw 13		meetstuw 12		
	1965	1966	1965	1966	1965	1966	
α	0.70	0.60	0.49	0.37	0.25	0.21	
j_1	10.2	9.0	10.8	8.4	3.9	3.0	uren
j_2	132	300	114	300	300	300	uren
τ	1.8	3.6	2.7	3.9	1.5	1.5	uren

TABEL 1.

De weergegeven waarden zijn het gemiddelde van telkens 3 metingen. De spreiding in de gevonden combinaties van parameterwaarden werd door Franssen gedemonstreerd met een tot tienmaal herhaalde optimalisatie op grond van de waarnemingsreeksen over december 1966 voor het Hupselse Beekgebied (meetstuw 10A).

α	0.65	0.66	0.56	0.52	0.57	0.58	0.58	0.66	0.60	0.60	
j_1	3.2	3.6	2.7	2.4	2.8	2.6	2.8	3.5	3.0	3.1	intervallen
j_2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	"
τ	1.0	1.0	1.2	1.4	1.0	1.2	1.4	1.2	1.4	1.4	"

TABEL 2.

IV. ENIGE SLOTOPMERKING EN CONCLUSIES BETREFFENDE DE TOESTAND VÓÓR DE RUILVERKAVELING

Uit figuur 3 is al de gevolgtrekking gemaakt dat afwijking van j_2 boven het optimum van weinig invloed is op een goede aansluiting tussen waargenomen en berekend afvoerverloop. Toch is de variatie tussen 1965 en 1966 groot, vooral wanneer men bedenkt dat de grootst mogelijke waarde van j in het analogon is. De met figuur 4 geïllustreerde onderlinge afhankelijkheid tussen α en j_1 lijkt ook uit tabel 1 naar voren te komen: bij een kleiner wordende α ziet men ook j_1 kleiner worden.

Aan het einde van deel II werd aan de hand van de figuren 5, 6, 2, 7 en 8 geïllustreerd hoe een toenemende j_1 gepaard gaat met een afname van τ en een toename van α . Het lijkt erop dat ook deze tendens in de cijfers betreffende 10A en 13 aanwezig is.

Teneinde na te gaan in hoeverre de modellen voor 1965 en 1966 van elkaar verschillen is in figuur 15 voor beide het berekende afvoerverloop getekend dat behoort bij de neerslagreeks van de winter 1965/'66. Het verschil is inderdaad gering. Een algemene conclusie, welke trouwens ook al uit tabel 2 kon worden getrokken, luidt dat in dit 4-parameter-model een scherpe optimalisatie van de parameterwaarden nog niet mogelijk is. De mogelijkheid van een fysische duiding van de parameters is daarom nog beperkt.

Toch geven de cijfers van tabel 1 reeds een algemene indruk: de snelle en de langzame systemen achter 10A en 13 lijken gelijksoortig te zijn, alleen ging er bij 10A relatief meer door het snelle en minder door het langzame systeem. Het gebied achter meetstuw 12 toont naast elkaar een uitgesproken langzaam systeem, dat een betrekkelijk hoog percentage van de afvoer voor zijn rekening neemt, en daarnaast een klein, uitermate fel reagerend systeem.

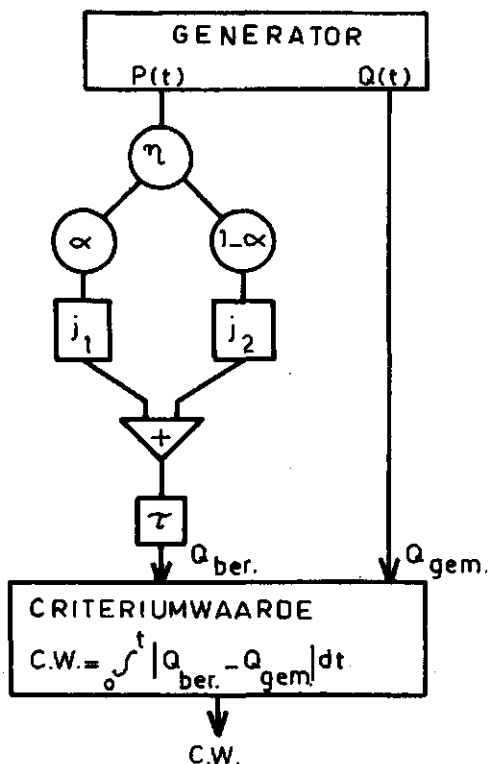
V. PERIODEN NA DE RUILVERKAVELING

Uit het recente archief van de Studiegroep Hupselse Beek werden neerslag- en afvoergegevens gekozen waarvan men, op grond van de ervaringen met de jaren 1965-1966 meende te mogen aannemen dat er geen verdampingsverliezen waren opgetreden zodat over een langere periode de totale afvoer gelijk zou zijn aan de totale neerslag. De winters na 1967 bleken overwegend lage afvoeren te hebben opgeleverd zodat slechts enkele perioden met dan nog betrekkelijk lage afvoergolven voor analyse beschikbaar waren:

- a. 20 december 1968 t/m 20 januari 1969
- b. 19 februari 1970 t/m 15 maart 1970
- c. 11 november 1972 t/m 12 december 1972
- d. 30 januari 1973 t/m 20 februari 1973

Een met behulp van knoppen en C.W.-meter uitgevoerde optimalisatie leverde zonder uitzondering combinaties van parameterwaarden die aangaven dat alle of bijna alle afvoer via de langzame tak zou plaatsvinden. Deze langzame tak werd steeds door zijn maximum waarde van 100 intervallen (300 uren) getypeerd. Deze uitkomst was echter in strijd met de ervaringen in het gebied volgens welke de afvoer na een top niet minder snel dan vroeger terugliep. Toen er daarom toe over werd gegaan om de berekende en gemeten afvoerverlooptijnen met elkaar te vergelijken bleek dat het berekende verloop vrijwel overal boven het gemeten verloop lag. Dit hield dus in dat de totale afvoer over elk van de vier beschouwde perioden aanzienlijk lager was dan de totale gebiedsneerslag wanneer beiden werden betrokken op het oorspronkelijke gebiedsoppervlak van 650 ha. Een redelijke aansluiting tussen waargenomen en berekend afvoerverloop kon alleen worden verkregen door slechts een gedeelte van de neerslag door het model te leiden. Hiertoe werd een potentiometer tussen de programmagenerator en het model ingebouwd waarmee dus een vijfde parameter in het model werd geïntroduceerd.

Het schema van het model ziet er nu als volgt uit:



De figuren 16, 17, 18 en 19 tonen het afvoerverloop en de "beste" aansluiting.

In verschillende perioden schommelden de temperaturen om het vriespunt en men krijgt de indruk dat het misschien herhaaldelijk gesneeuwd heeft waardoor er minder neerslag is gemeten dan er in de pieken tot afvoer kwam. Verder traden in de beschouwde perioden relatief langdurende zeer lage afvoeren op. De geoptimaliseerde parameterwaarden worden hierdoor sterk beïnvloed. In tabel 3 zijn deze parameterwaarden verzameld.

Er valt hieruit weinig meer te concluderen dan dat eerst de reden moet worden opgespoord waarom de gebiedsafvoer steeds zoveel lager was dan de gebiedsneerslag.

Periode	η	α	j_1	j_2	τ
12/68 - 1/69	0.77	0.42	11	100	1,1
2/70 - 3/70	0.43	0.74	0.53	100	0,1
11/72 - 12/72	0.52	0.34	6	65	1,1
1/73 - 2/73	0.64	0.48	0.79	100	1,1

TABEL 3.

Gezien de overwegend gunstige resultaten welke met betrekking tot de periode 1965-1966 zijn verkregen lijkt het zinvol om het analogon ook voor andere stroomgebieden voor een bewerking van alle beschikbare (nauwkeurige) neerslag - afvoer gegevens voor natte wintermaanden te gebruiken.

Tegelijkertijd kan worden gewerkt aan een modificatie van het analogon met het oog op de toepassing van een hybried systeem. Onder andere zal hiermee de gevoeligheid bij de optimalisatie aanzienlijk worden opgevoerd zodat een scherpere bepaling van de combinaties van optimale parameterwaarden mogelijk zal worden.

December 1973.

mm/3 hrs
q ↑

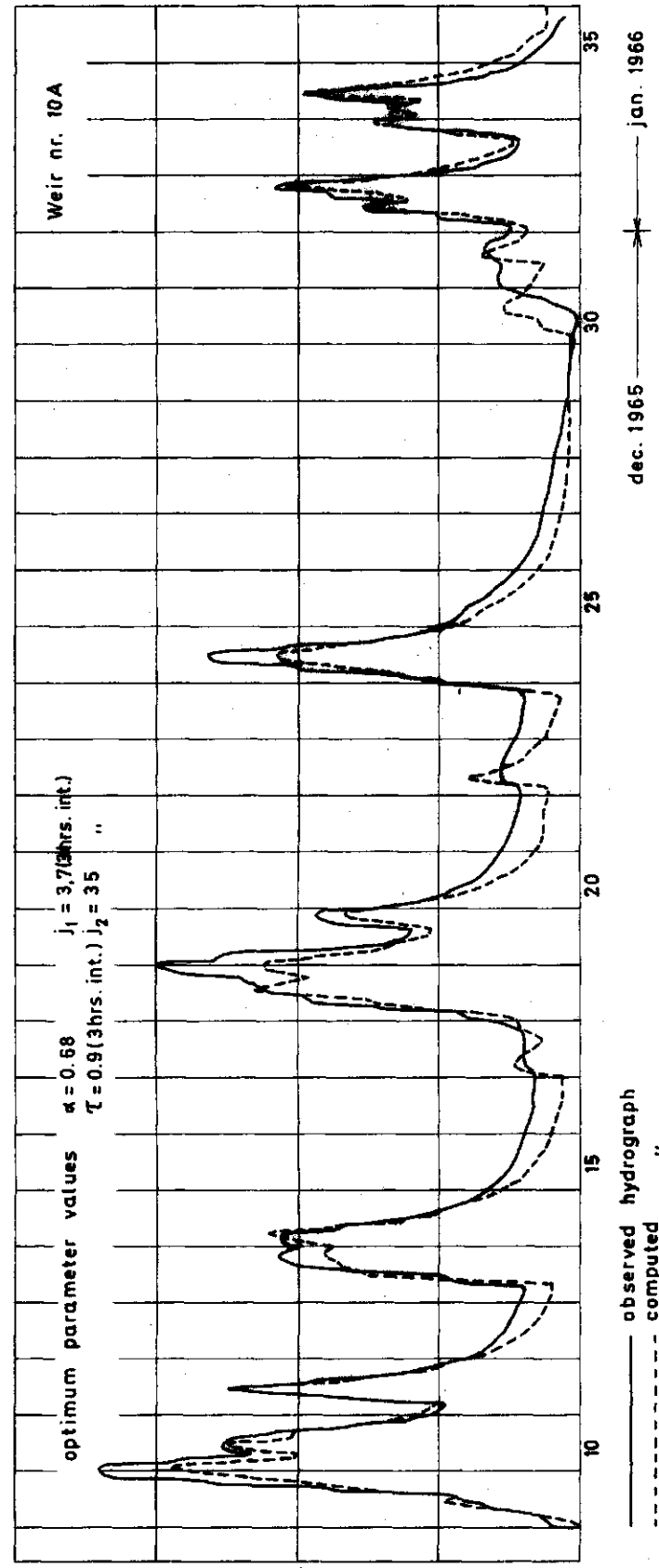


Fig. 1

mm/3hrs. 4
q ↑

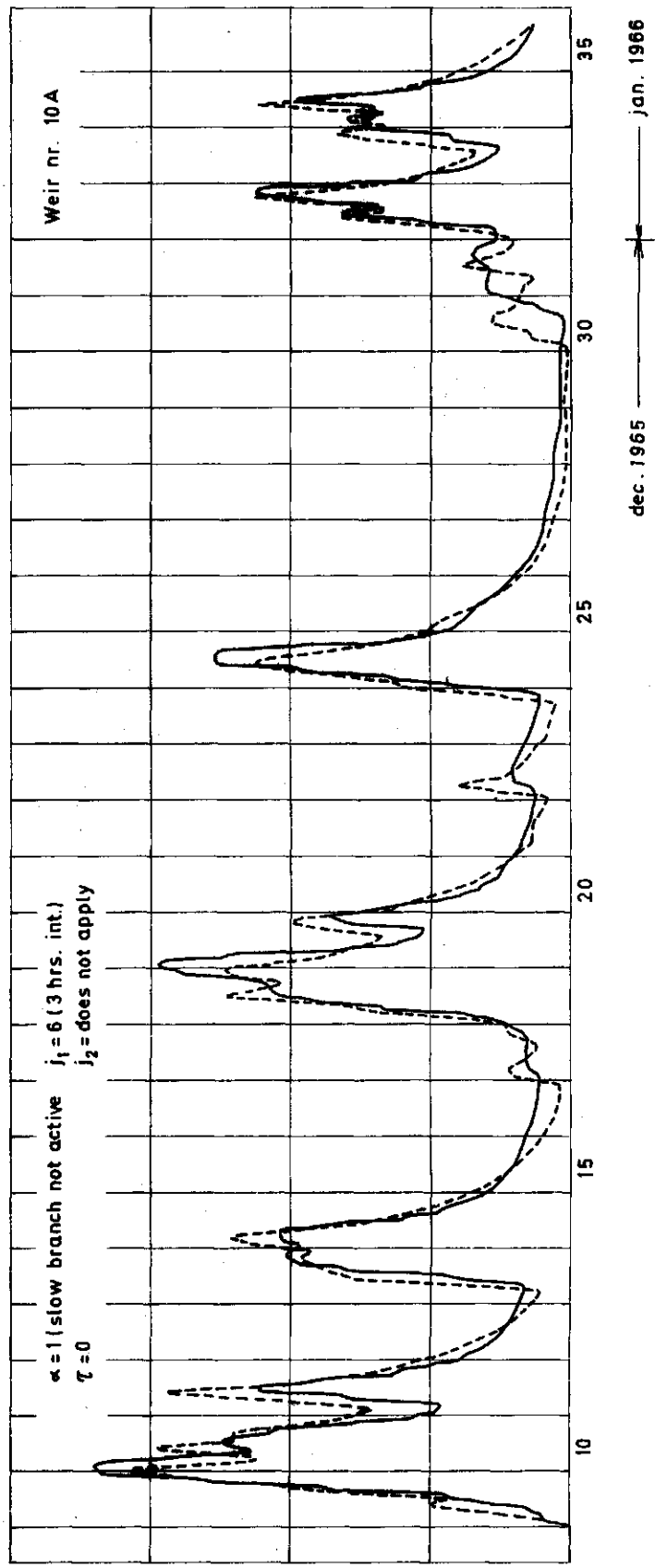
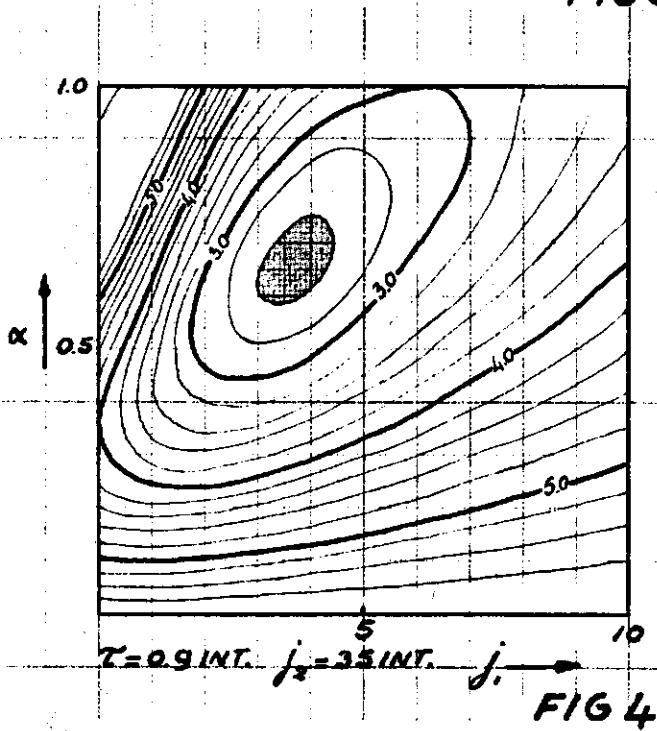
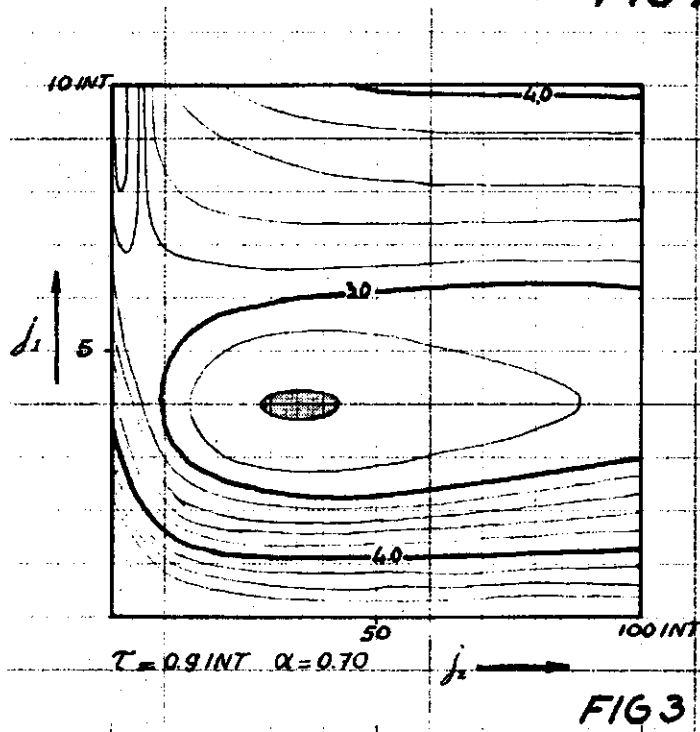
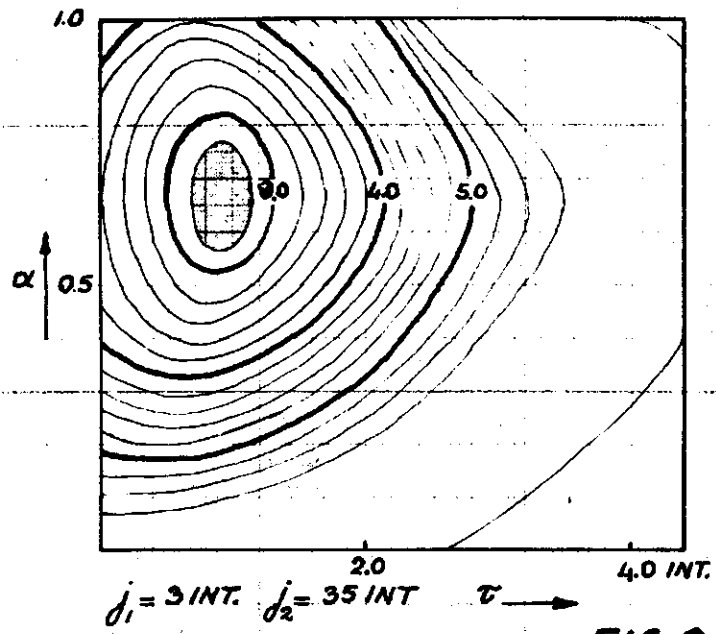


Fig. 9

dec. 1965 jan. 1966



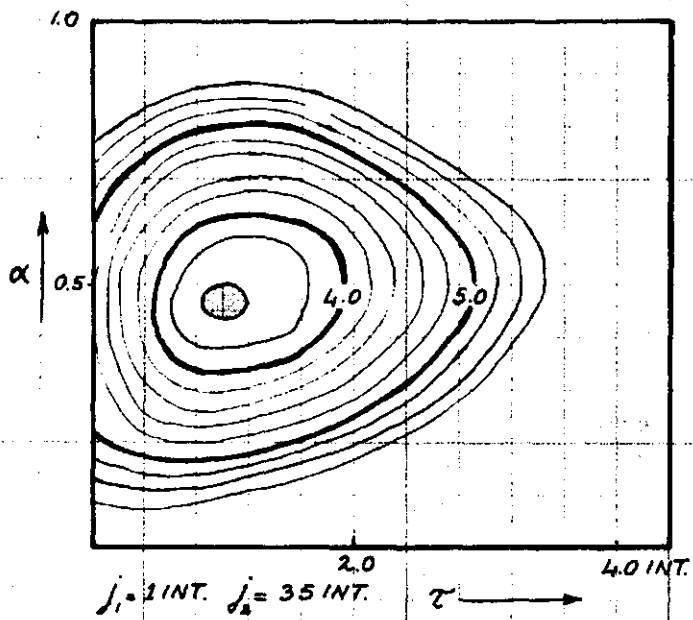


FIG 5

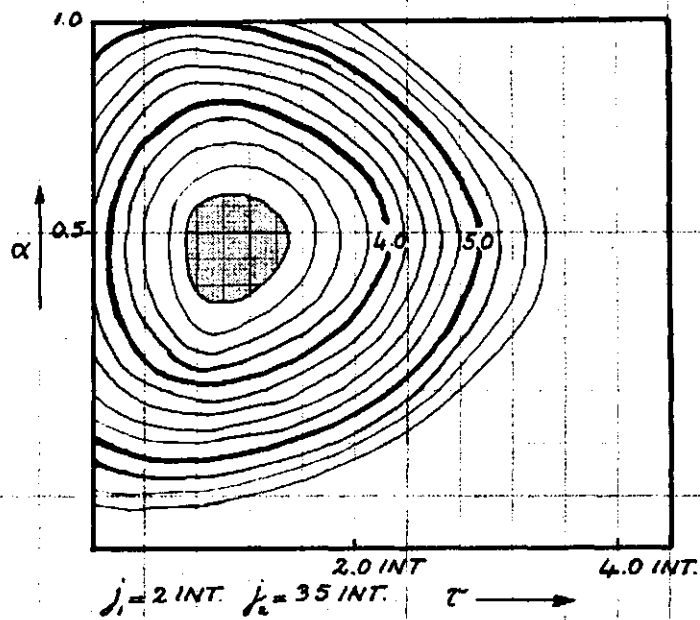


FIG 6

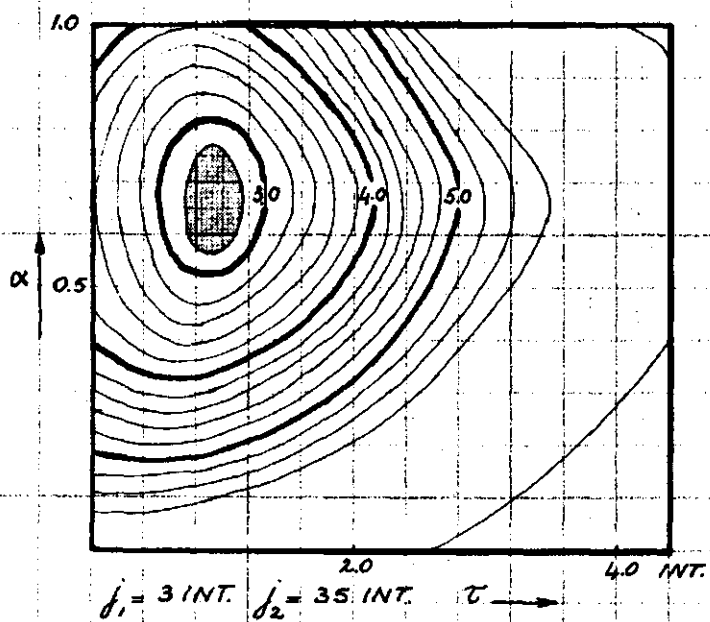


FIG 2

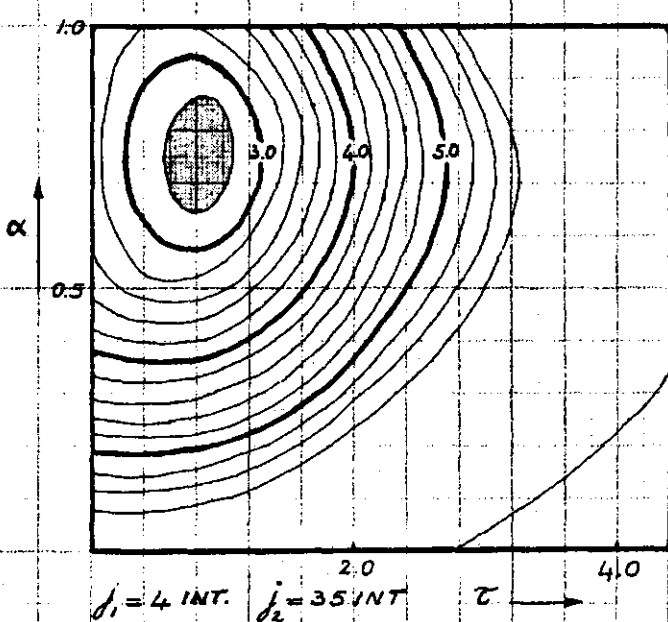


FIG 7

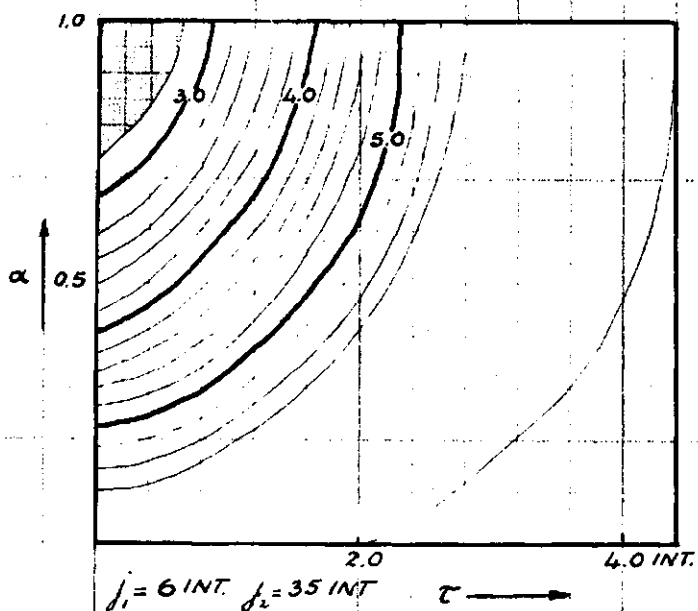


FIG 8

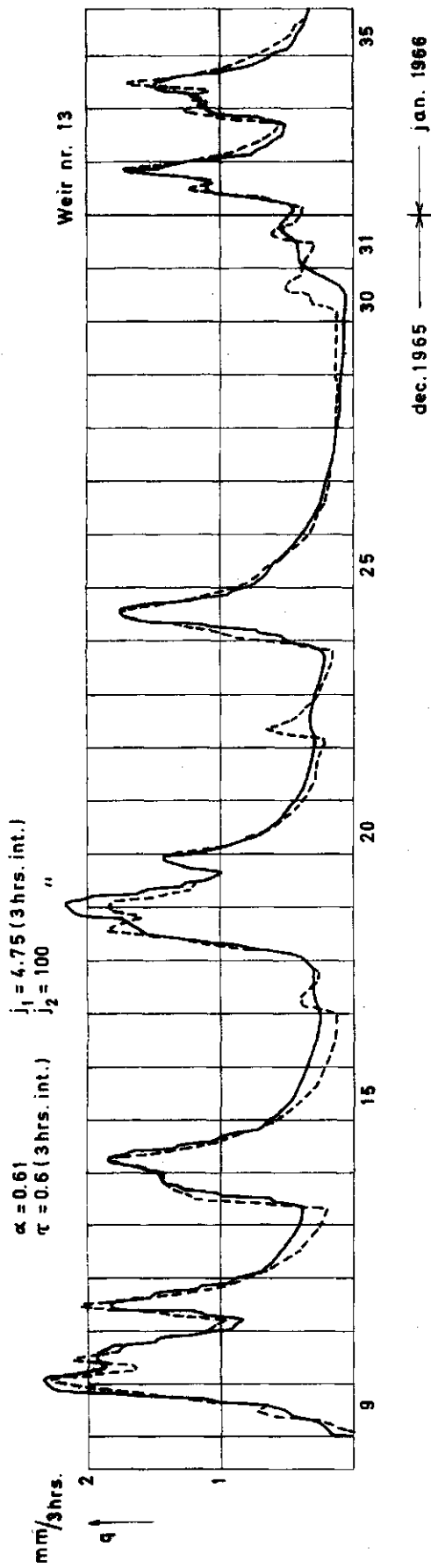


Fig. 10

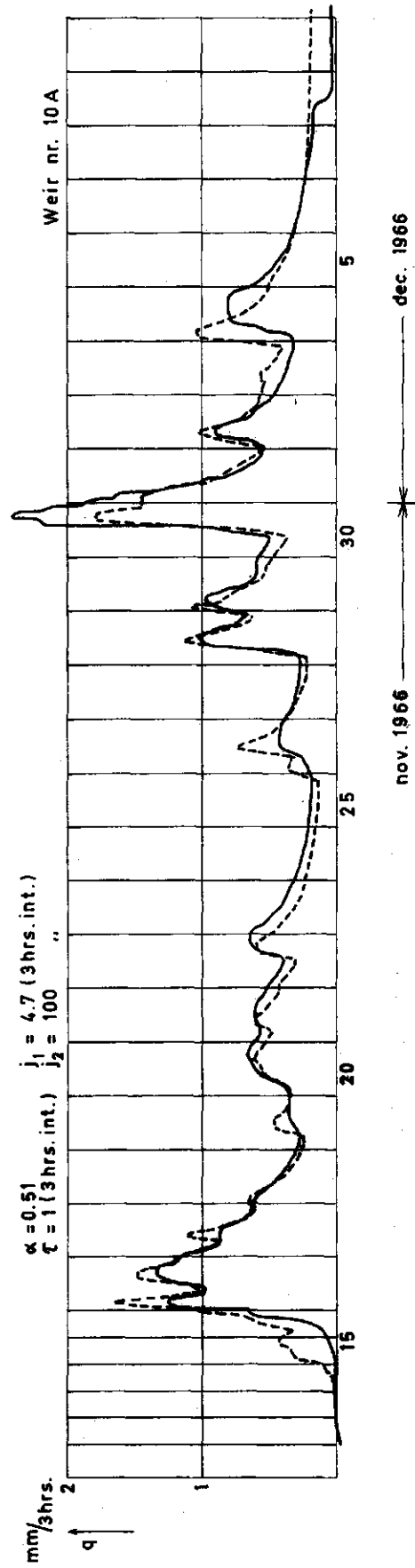


Fig. 11

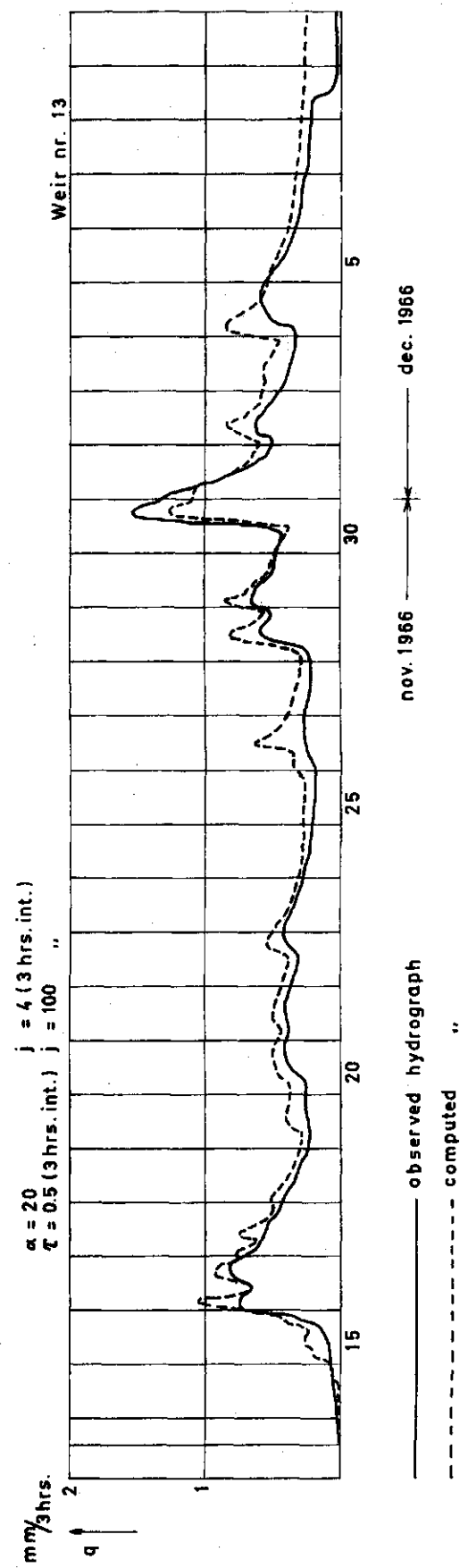


Fig. 12

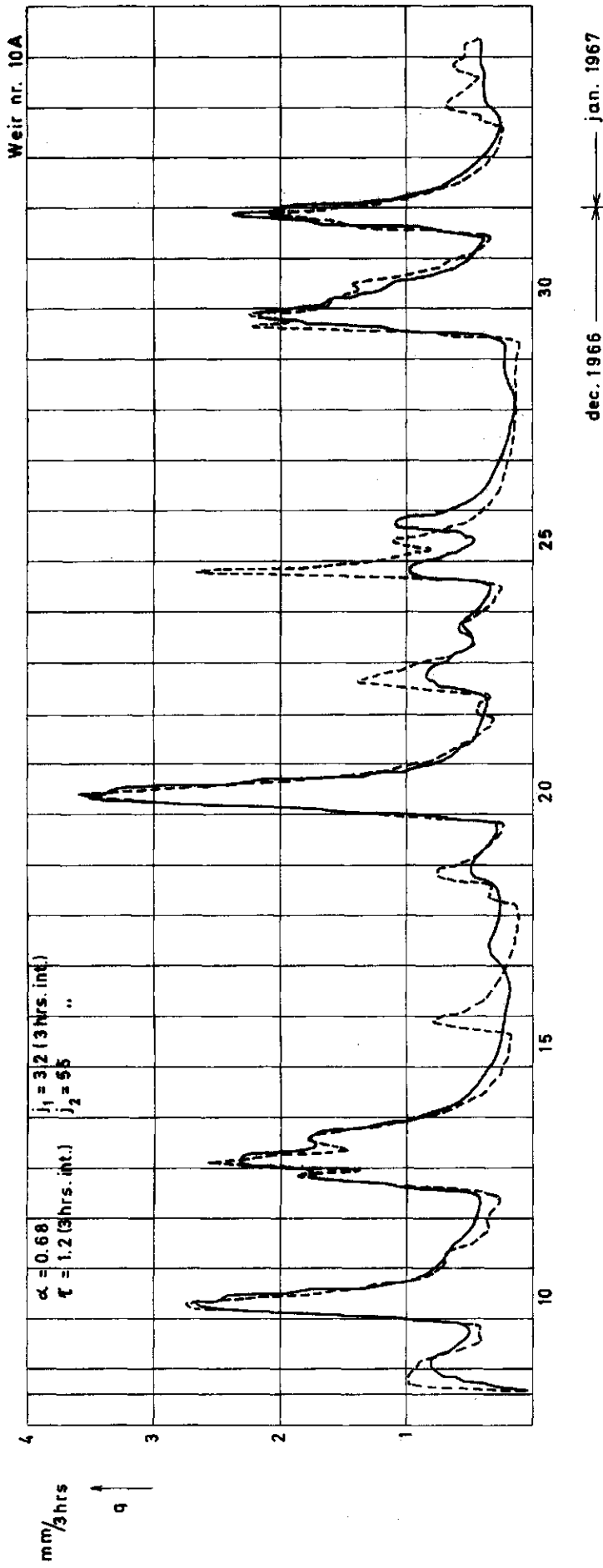


Fig. 13

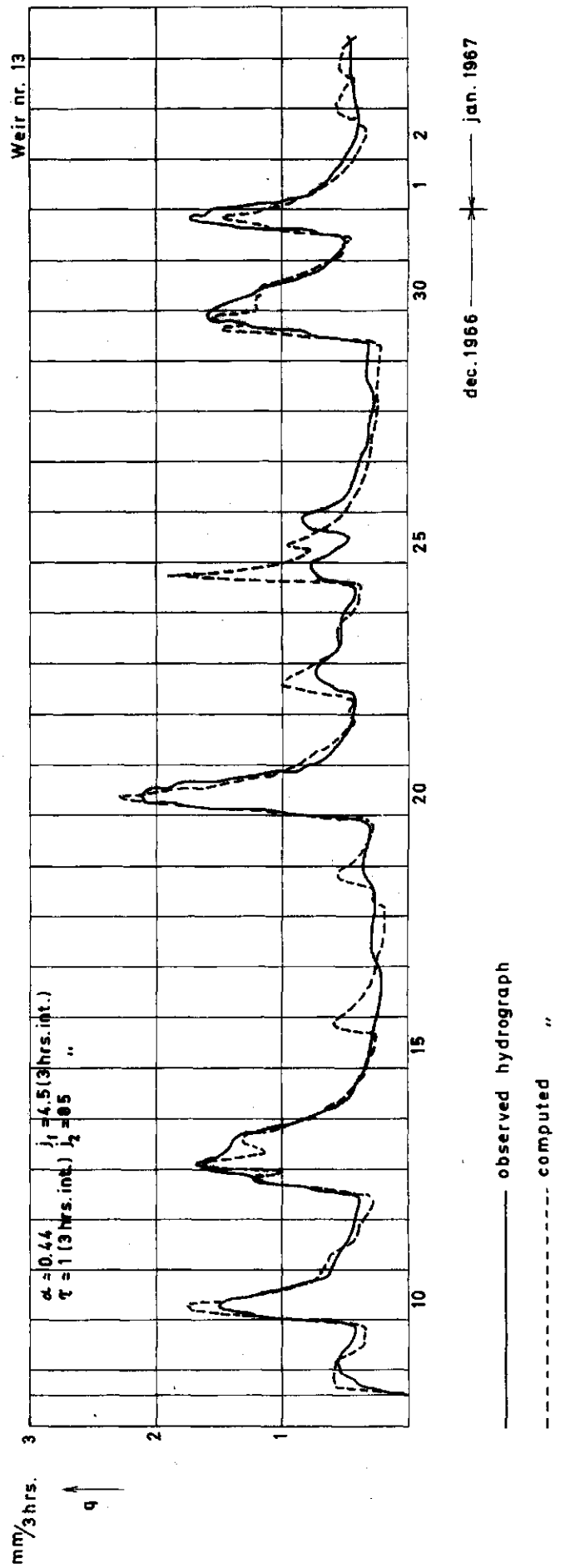


Fig. 14

	α	j_1	j_2	τ
observed hydrograph	—	0.70	3.4	4.4
computed	- - -	0.60	3.0	100
			1.2	

3 hrs. int.

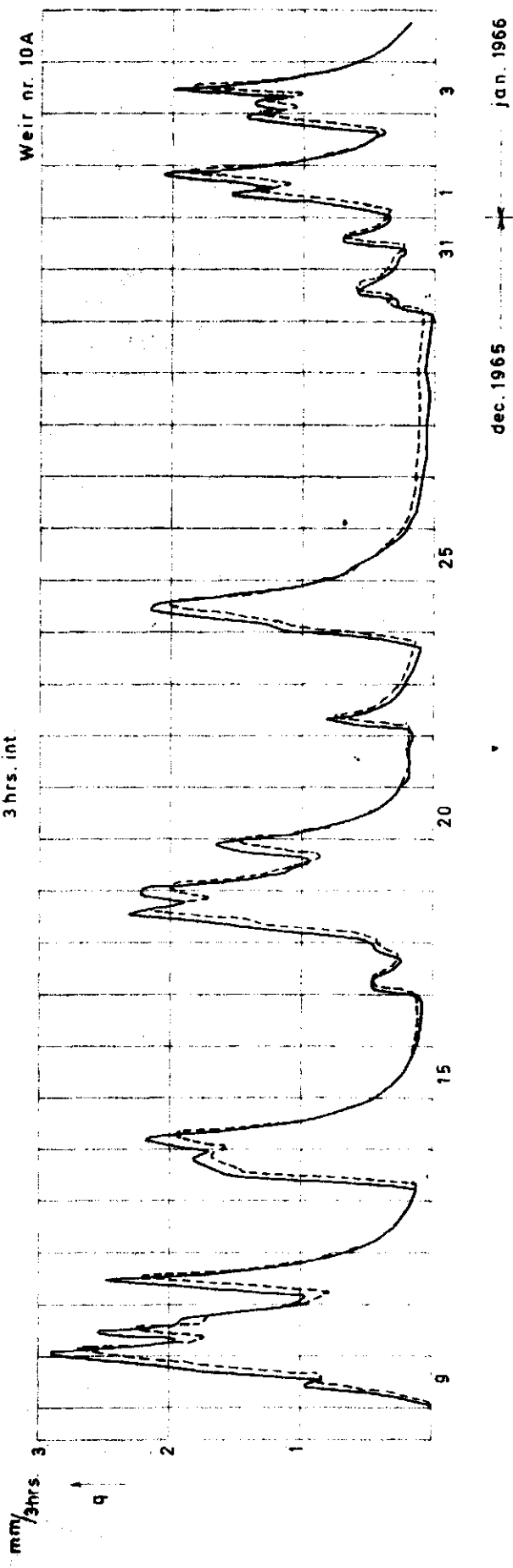


Fig. 15

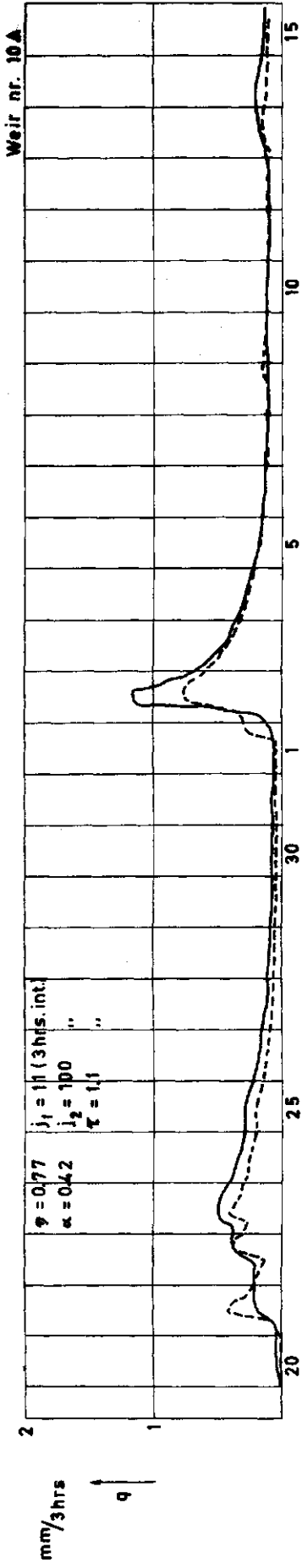


Fig. 16

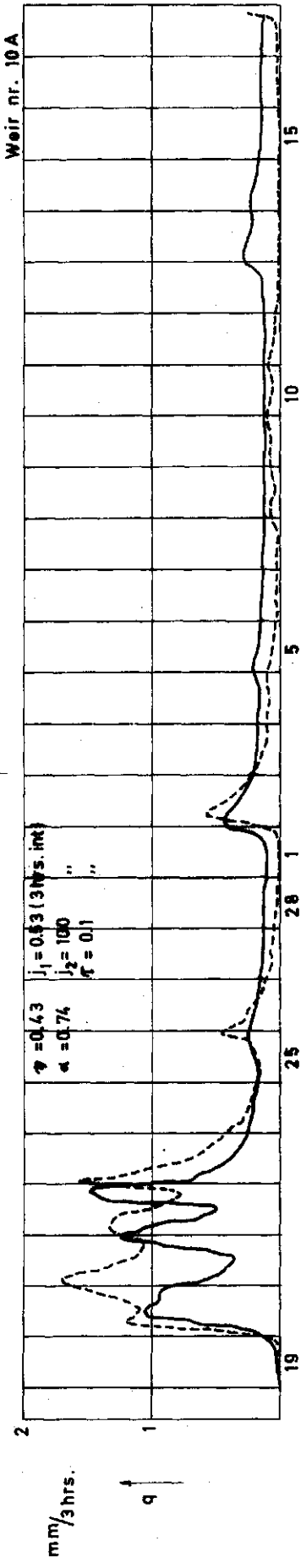


Fig. 17

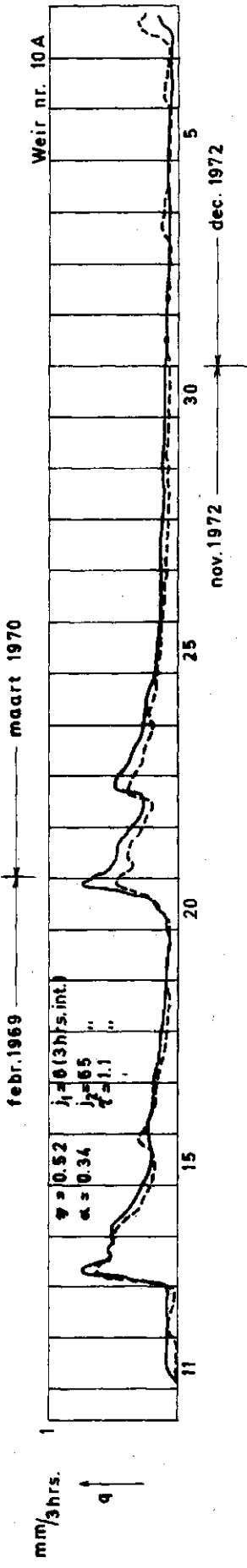


Fig. 18

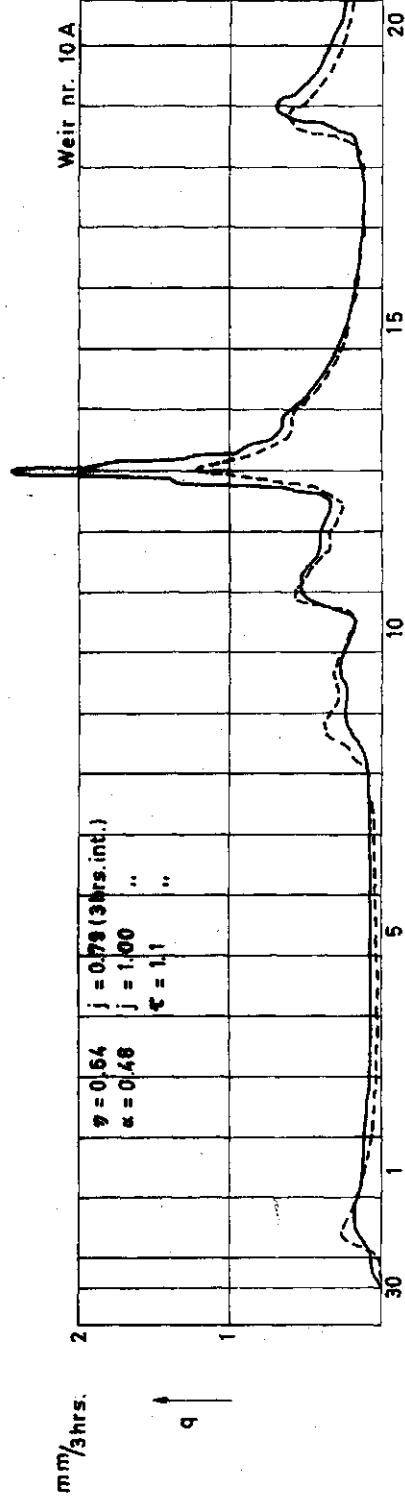


Fig. 19

— observed hydrograph
 - - - - - computed