

Enkele resultaten van het onderzoek naar
de afvoerfrequenties van het gemaal
'DE MOER'

ir. Ph. Th. Stol

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

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

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

Inleiding

Het onderzoek naar de gewenste en noodzakelijke afvoercoëfficiënt van een polder kan volgens twee verschillende principes worden uitgevoerd. Bij een volledige fysische beschrijving van de processen die de wateraanvoer, - berging, - verbruik en - afvoer beheersen is het mogelijk criteria vast te stellen voor de afvoercoëfficiënt. Aangegeven kan dan worden welk gedeelte van de neerslag tot afvoer gebracht moet worden voor het handhaven van een optimale waterhuishoudkundige toestand. Bij een studie in deze richting wordt spoedig het punt bereikt dat de berekening naar extreme toestanden wordt uitgebreid, deels voor het testen van het fysische model onder deze omstandigheden, deels omdat juist hier de problemen met betrekking tot aan- en afvoer eisen zich gaan manifesteren. In dit stadium van onderzoek gekomen moet reeds met de frequentie van optreden van de extremen rekening gehouden worden.

De vraag ontstaat namelijk hoe in de praktijk rekening met de uitkomsten van een dergelijk waterbalans-onderzoek gehouden moet worden vooral waar het gaat om de extreme situaties van neerslag en afvoer. Speciaal moet daarbij bedacht worden dat uiteindelijk naar een optimale situatie moet worden gezocht. De grote schaden door grotere neerslaghoeveelheden ontstaan, worden gecompenseerd door de afnemende frequenties van voorkomen zodat de bijbehorende maximale afvoerhoeveelheden tenslotte te zelden zullen optreden om als grondslag van een afvoer-ontwateringsplan te kunnen dienen.

Een benadering van het onderwerp van onderzoek kan echter ook plaatsvinden door direct uit te gaan van de frequentie van voorkomen van de door een gemaal uitgeslagen hoeveelheden water door hiermee als het ware aan de ervaring van de machinisten over afgelopen jaren een objectieve basis voor het plan te ontleenen.

Voor de gevallen hoeveelheid neerslag zijn deze frequentie-overzichten reeds voor een groot aantal plaatsen voorhanden, (K.N.M.I., 1956-1961) doch ook van verschillende gemalen in het Delta-gebied bestaat thans een reeks van gegevens die het mogelijk maakt de studie van de afvoercoëfficiënt van de kant van de frequenties van optreden van voorgekomen afvoerhoeveelheden op te zetten.

Uit de berekende frequenties kan worden vastgesteld wat in elke bestudeerde periode aan situaties is voorgekomen waaruit, indien het afvoerpatroon

zich niet wijzigt, geconcludeerd kan worden wat men in komende jaren mag verwachten.

Daar voorspellen altijd extrapoleren inhoudt zal dit met de nodige, mathematisch te definieren, voorzichtigheid moeten plaatsvinden en dit temeer wanneer de reeks gegevens waarop de uitspraken zijn gebaseerd, korter is.

Van een aantal polders worden momenteel de basisgegevens (maalstaten) gereed gemaakt en aangevuld zodat deze kunnen dienen tot bestudering van de afvoercoëfficiënt naar frequenties van voorkomen over een zo groot mogelijk aantal jaren (STOL, 1964).

Van het gemaal 'DE MOER' is de bewerking het verst gevorderd en een beschouwing van de eerste resultaten volgt hierna.

Situatie en basisgegevens

Het gemaal 'DE MOER' van het waterschap 'De Brede Watering Bewesten Yerseke' bemaalt een oppervlakte van 1610 ha, inclusief de 45 ha grote 'Molenpolder'. Het gemaal, dat gesticht werd in 1939, slaat met een horizontale centrifugaal pomp, aangedreven door een electro-motor, uit op het 'Kanaal door Zuid Beveland' dat op een peil rond het N.A.P.-nulpvlak wordt gehouden. Het gewenste polderpeil is gesteld op 181 cm - N.A.P.

Een aaneensluitende reeks gegevens loopt vanaf 1 mei 1949 en is bijgewerkt tot en met 31 maart 1964. De basisgegevens in de maalstaten hebben betrekking op

1. De maalperiode (tijdstip van begin en einde)
2. Het verbruik in K.W.H.
3. Het binnenpeil aan begin en eind van de maalperiode
4. Het buitenpeil aan begin en eind van de maalperiode

Deze gegevens werden als volgt gebruikt:

ad.1. Van de maalperiode werden begin en einde genoteerd en de totale tijd dat het gemaal per 24 uur gewerkt heeft vastgesteld. Vooral komt per 24 uur één maalperiode voor, in een aantal gevallen twee en slechts zelden meer. In deze laatste gevallen wordt door het één of enkele uren stoppen van het gemaal een bemalingsperiode in een aantal kleinere periode opgedeeld. Maalperiodes beginnend op een bepaalde dag werden alle gerekend tot die dag te behoren en gemakshalve wordt dit aangehaald als het aantal maaluren per etmaal, respectievelijk

mm afvoer per etmaal, enz.

ad.3. Van het binnenpeil werden begin- en eindpeil per aaneengesloten maalperiode gemiddeld en als aan te houden binnenpeil voor die maalperiode gebruikt.

ad.4. Met het buitenpeil werd op overeenkomstige wijze als met het binnenpeil gehandeld.

Deze gegevens en de hieruit afgeleide gegevens, te weten het debiet in $m^3/min.$ en de afvoer in mm/etmaal, werden met neerslaggegevens aangevuld. De op de maalstaten genoteerde neerslaghoeveelheden zijn voor het gestelde onderzoek te sterk afgerond, zodat de neerslaggegevens van het K.N.M.I.-station Kapelle (735) gebruikt zijn, voor zover nodig aangevuld met die van Wilhelminadorp (749) respectievelijk Krabbendijke (747).

Q-H-kromme

Bij het gemaal behoort een fabriekskromme gebaseerd op de volgende twee punten

$$\begin{aligned}(Q \text{ m}^3/\text{min}; H \text{ m}) &= (150; 2.10) \\ &= (85; 2.90)\end{aligned}$$

Op 5 juni 1939 vond een ijking plaats door een ingenieursbureau waarbij men kwam tot een gemiddelde waarde van

$$(Q; H) = (156.9; 2.10)$$

Een eerste oriëntatie leerde dat de opvoerhoogte de laatste 15 jaren veelal niet meer dan 2 m heeft bedragen zodat met deze bovengenoemde gegevens te sterk zou moeten worden geëxtrapoleerd voor het bepalen van het debiet Q bij gegeven opvoerhoogte H . Door de Dienst der Zuiderzeewerken werd om deze reden op 28 oktober 1964 het gemaal opnieuw doorgemeten waaruit de Q-H-kromme resulteerde die in figuur 1 is weergegeven.

Voor het mechanisch verwerken van de gegevens is het van voordeel over een formule te beschikken die het verband tussen Q en H weergeeft. Aan de hand van de gegevens hierover uit figuur 1 - die in zijn originele vorm op mm-papier

was getekend waarvan de ordinaat en abscis-waarden werden afgelezen - werd een benaderingsfunctie bepaald van de volgende gedaante

$$Q = - 8.00 H^5 + 59.75 H^4 - 172.93 H^3 + 229.91 H^2 + \\ - 157.03 H + 237.19$$

Bij wijze van documentatie is in tabel 1 in de bijlagen aangegeven welke waarden voor Q bij waarden van H tussen 0.50 en 2.40 m worden gevonden, wanneer men de beste aanpassing neemt volgens een polynomiüm van de eerste, de tweede enz. tot de vijfde graad. De hierboven weergegeven formule geeft de uitkomst van de laatste van deze vereffeningen weer. Voor een uiteenzetting van de gevolgde rekentechniek voor het vinden van deze benaderingen wordt verwezen naar I.C.W.-nota nr. 230 (STOL, 1963).

Met behulp van deze formule konden de opvoerhoogten in debieten worden omgerekend terwijl verder geldt

$$\frac{\text{maalperiode} \times \text{debiet}}{\text{gebiedsgrootte} \times 10} \text{ in } \frac{\text{min} \times \text{m}^3/\text{min}}{\text{ha}} \rightarrow \text{afvoer in mm}$$

De berekende afvoer heeft betrekking op maalperiodes per 24 uur zodat hiermee een afvoer in mm/etm. kan worden gedefinieerd.

Hiermede is de afvoer in dezelfde eenheden uitgedrukt als de neerslag. Alle gegevens en afgeleide gegevens werden op ponskaarten samengebracht. Een voorbeeld van de indeling van deze kaarten wordt gegeven in tabel 2 welke later nog nader zal worden besproken.

Afvoerfrequenties

Met het verkregen waarnemingsmateriaal kunnen de benodigde bewerkingen worden uitgevoerd. In het volgende zullen een aantal eerste resultaten worden besproken waarbij allereerst de aandacht op de frequenties van de afvoer gericht wordt.

Van de berekende hoeveelheden aan afvoer werden voor de maanden oktober tot en met februari de onder - respectievelijk overschrijdingsfrequenties vastgesteld zowel van de dagafvoeren als van de afvoeren over elke 2 respectievelijk 3 opeenvolgende dagen. In figuur 2a staan de curven voor de ééndaagse hoeveelheden voor de 5 in beschouwing genomen wintermaanden over de 15 jaar waarvan gegevens beschikbaar waren, ingetekend. Elke curve wordt dus bepaald uit ongeveer $30 \times 15 = 450$ gegevens. De curven geven de overschrijdingskansen (rechter-schaal) voor hoeveelheden groter dan het op de horizontale as weergegeven bijbehorend aantal mm.

In de genoemde maanden (okt.t/m febr.verder wel aangeduid als de wintermaanden) is er meer dan 50% kans dat er op een enkele dag géén afvoer zal voorkomen.

Globaal kan men zeggen dat met een kans van 40% op een bepaalde dag afvoer zal optreden. Het blijkt dat afvoerhoeveelheden van minder dan 2 mm niet vaak voorkomen, dat wil zeggen het gemaal wordt slechts in werking gesteld om hoeveelheden van meer dan 2 mm/etmaal af te voeren, overeenkomend met maalperioden langer dan 5 uur. Hier kan naar tabel 3 in de bijlagen worden verwezen waarin het aantal malen dat in de onderzochte maanden een gegeven lengte van maalperioden in een etmaal werd genoteerd staat aangegeven. In totaal op slechts 26 dagen werd een maalperiode van minder dan 4 uur op een dag genoteerd.

Het meest frequent komen afvoerhoeveelheden van 3 - 6 mm/etmaal voor (fig. 2a) namelijk in 40% van het aantal in het onderzoek betrokken dagen. Deze hoeveelheden betekenen bij gemiddelde polder- en buitenpeilen een maalperiode van 5 tot 10 uur.

Minder frequent komen hoeveelheden van 6 - 8 à 9 mm voor, overeenkomend met 10 - 14 draaiuren. In 2% van het totaal aantal dagen worden hoeveelheden van meer dan 10 mm uitgeslagen.

De curven vertonen geen aanwijzing dat er situaties voorkomen waarbij de aanwezige afvoercapaciteit niet voldoende geweest zou zijn. Zou het toch her-

haaldelijk voorkomen dat het gemaal de noodzakelijke afvoercapaciteit niet zou kunnen leveren, dan zou een (groot) percentage dagen met 24 maaluren moeten optreden. De bijbehorende punten zouden in figuur 2a een meer of minder verticaal gerichte voortzetting van de frequentiecurven veroorzaken. Deze asymptotische benadering van een verticaal die bij daggegevens bij 14,8 mm zou optreden wordt in figuur 2a niet gevonden (I.C.W.nota 165)

Een meer volledig overzicht over de vervaardigde frequentie-curven geeft figuur 3. Hierin staan op de assen de gemiddelde intensiteit in mm/etmaal voor de afgevoerde hoeveelheden over 1,2 respectievelijk 3 dagen vermeld, uitgezet tegen de maand van voorkomen. Elke curve vertegenwoordigt een constante overschrijdingsfrequentie en is ontstaan uit een eerste vereffening van de punten van gelijke frequentie van de curven uit figuur 2a.

De curven geven aan dat vooral in december bij gelijke overschrijdingskans wat grotere afvoeren zullen optreden doch de onzekerheid die vooral bij het bepalen van kleine overschrijdingskansen naar voren treedt in acht genomen kan opgemerkt worden dat er over de maanden gerekend geen grote verschillen bestaan, zie ook weer figuur 2a.

Verder blijkt nog uit figuur 3 dat de gemiddelde intensiteit voor de grote hoeveelheden over 2 dagen geringer is dan de intensiteit voor 1 dag, maar ongeveer gelijk aan de gemiddelde intensiteit van afvoeren over 3 dagen. Deze conclusies kunnen aan de hand van figuur 2 nog beter worden gefundeerd.

De grote overeenkomst tussen de curven voor de maanden afzonderlijk, afgezien van de onzekere 'rafelige' bovenste gedeelten, rechtvaardigen de bewerking waarbij tevens over de genoemde wintermaanden de frequentiecurve voor het gehele waarnemingsmateriaal werd opgesteld. De hiermede verkregen enkele curven voor dagafvoeren en afvoeren voor 2 en 3 opeenvolgende dagen staan weergegeven in figuur 2b. Het valt nu op dat de tegen een log-schaal van de afvoer uitgezette frequenties tenderen naar de strakke met - - - - - aangegeven curve. De log-schaal werd hier gekozen voor het aangeven van de onderlinge verhouding tussen de afvoeren bij gelijke frequenties. Gelijke verhoudingen uiteten zich bij deze schaalkeuze in gelijke horizontale verschuivingen.

Door opeenvolgende sommen over bijvoorbeeld twee dagen te nemen zullen

ook nu de gevallen waarin op twee achtereenvolgende dagen een grote afvoerhoeveelheid werd genoteerd in het gedeelte van de extremewaarden op de frequentiecurve vallen. Bij de hoge overschrijdingskansen zullen de curven dan dus de verhouding tussen de gemiddelde intensiteiten geven. Globaal genomen blijken de curven 1,2 en 3 op afstanden ten opzichte van elkaar te liggen die zich verhouden als (uitgedrukt in mm) 4: 7: 10,5. Er blijkt dus uit dat voor het afvoeren van grote hoeveelheden op de eerste dag de grootste afvoerintensiteit optreedt doch dat daarna over 2 of 3 dagen de gemiddelde intensiteit slechts met 1,75 en 2,62 maal de ééndaagse afvoer toeneemt waarbij de intensiteit op de derde dag gelijk is aan de gemiddelde intensiteit van de beide voorafgaande dagen.

De nauwkeurigheid van de kansverdelingscurven

Elk van de curven uit figuur 2b is ontstaan uit (ongeveer) $5 \times 30 \times 15 = 2250$ gegevens (exact: 2268) en kunnen daarom goed dienen voor het nagaan van de nauwkeurigheid waarmee uit de frequentie-quotiënten de overschrijdingskansen kunnen worden bepaald. Voor de dagafvoeren is in figuur 4 de curve opnieuw ingetekend met tevens het 95% betrouwbaarheidsinterval (zie hierover I.C.W. nota's 187 en 228). Gesteld kan worden dat de werkelijke kansverdelingscurve binnen de twee buitenste lijnen zal vallen echter met een kans van 5% dat deze er toch buiten valt. De figuur geeft de mogelijkheid uitspraken over te verwachten grote afvoeren te releveren aan het onzekere in het materiaal in verband met het feit dat slechts een beperkt aantal gegevens kon worden geanalyseerd.

Zo valt uit figuur 4 af te leiden dat overschrijdingen van 5 mm afvoer per etmaal op een bepaalde dag, die voorgekomen zijn met een frequentie van 5%, in de toekomst verwacht kunnen worden met een kans die ligt tussen 10 en 2% of anders uitgedrukt tussen 1 x per 10 gevallen en 1 x per 50 gevallen. Voor de 5 wintermaanden gezamenlijk met rond $5 \times 30 = 150$ dagen wordt dit tussen gemiddeld 15 x en 3 x per winter.

Voor de meer extreme hoeveelheden zijn de uitspraken onzekerder. Een overschrijding van bijvoorbeeld 10 mm afvoer voor een bepaalde dag vond plaats met een frequentie van 15% of ongeveer 1 x in 70 gevallen. Op grond hiervan kan deze overschrijding dus ruim 2 x per winter verwacht worden. Tengevolge van het beperkte aantal gegevens in het basismateriaal is deze uitspraak onzeker en kan op

toeval berusten. Uit de onderste curve van figuur 4 blijkt dat de kans waarmee een overschrijding van 10 mm zal voorkomen op minder dan 5% kan worden gesteld overeenkomend met hoogstens 1 x per 20 gevallen of (ongeveer) 7 x per winter. De uitspraak heeft een risico van 5% dat het aantal overschrijdingen gemiddeld nog vaker zal optreden.

Conclusies

Afgezien van de onzekerheden, inhuerent aan elk waarnemingsmateriaal, kan dus geconcludeerd worden dat bij gelijkblijvende meteorologische en hydrologische (buitenspeil en kwel) omstandigheden per winter de volgende overschrijdingen van de afvoer per etmaal gemiddeld zijn te verwachten.

Afvoer per etmaal $\geq$ 5 mm: gemiddeld (ruim) 7 x per winter (okt. t/m febr.)

Afvoer per etmaal $\geq$ 10 mm: gemiddeld 2 x per winter

Afvoer per etmaal $\geq$ 12 mm: gemiddeld minder dan 1 x per winter

UIT Tabel 3 blijkt nog dat in de helft van het aantal keren dat hetemaal in werking is geweest de maalperiode 6 tot en met 7½ uur heeft bedragen. Slechts in 9 gevallen over de afgelopen 15 jaar heeft de maalperiode meer dan 20 uur bedragen, terwijl er 6 gevallen zijn genoteerd van maalperioden die 24 uur hebben geduurd.

De kanverdelingscurven van de afvoer en de frequentie van de maalperioden wijzen in de richting dat hetemaal een voldoende grote capaciteit heeft voor het verwerken van de situaties in de afgelopen 15 jaar zijn voorgekomen.

Opmerking

Frequentie-overzichten van neerslagsommen over grote aantallen jaren, zoals gepubliceerd door het K.N.M.I., kunnen dienen om na te gaan in hoeverre de afgelopen 15 jaren meteorologisch representatief zijn geweest voor een langere reeks waarnemingen.

Nadere beschouwing van het voorkomen van extreme afvoeren

In het voorgaande is uit de frequentiecurve afgeleid dat afvoerhoeveelheden van 5 mm en meer per etmaal gemiddeld ruim 7 x per winter voorkomen. Dit betekent dat er winters met een groter aantal overschrijdingen zullen voorkomen tegen winters met een geringer aantal overschrijdingen. Bovendien is de kans groot dat in natte perioden de grote afvoerhoeveelheden op achtereenvolgende dagen zullen optreden. De vraag kan worden gesteld of voor achtereenvolgende dagen de afvoerintensiteit voldoende op peil gehouden kan worden. Hierbij komt dan tevens de polderinrichting en met name de toestroming naar het gemaal in het geding.

In tabel 4 zijn de aantallen malen aangegeven dat hoeveelheden van 5, 10 en 12 mm zijn overschreden. Onderaan zijn de gemiddelde aantallen vermeld die overeenkomen met de eerder vermelde cijfers (zie vorige conclusies). Toch komen in één enkele winterperiode belangrijk grotere aantallen overschrijdingen van deze waarden voor. Zo bijvoorbeeld in de winter '60 - '61 waarin deze aantallen respectievelijk 45, 11 en 7 waren. Nu verdienen twee vragen nadere aandacht. In de eerste plaats zou het van belang zijn te weten, of tijdens de lange maalperioden de afvoerintensiteit gemiddeld lager wordt, met andere woorden of bij de lange maalperioden gemiddeld met een grotere opvoerhoogte gewerkt wordt. Daarnaast zal men willen weten of in achtereenvolgende elkaar snel opvolgende maalperioden de bemalingsintensiteit constant blijft met andere woorden of de opvoerhoogte ongeveer dezelfde waarde blijft behouden.

Voor het beantwoorden van de eerste vraag werd figuur 5 samengesteld. Hierin zijn uitgezet op de horizontale as de maalperiode in uren en verticaal de bijbehorende uitgeslagen hoeveelheid in mm. Van de etmalen waarin meer dan 1 maalperiode viel zijn alle gegevens uitgezet, van de overige zijn van de vele gegevens enkele steekproeven genomen en het traject waarin de stippen vielen uitgezet. Hoeveelheden van meer dan 5 à 6 mm worden in meer dan één maalperiode afgevoerd. Veelal wordt het gemaal 1 à 2 uur stilgezet waarna weer enkele uren wordt gedraaid. In de figuur staan steeds zowel van de totale draaitijd als van de totale afvoer de gegevens per 24 uur uitgezet. Hoewel de spreiding voor de langere maalperioden groter wordt - hetgeen duidt op verschillende situaties met betrekking tot de opvoerhoogte - blijkt de

gemiddelde intensiteit steeds 14,8 mm/etmaal te bedragen. Ook de gevallen waarin het gemaal 24 uur achtereen in werking is geweest vertonen geen daling van de gemiddelde intensiteit.

Over alle voorkomende situaties gemiddeld zal het gemaal steeds met een capaciteit kunnen werken die overeenkomt met 14,8 mm/etmaal.

Blijft dus nog de vraag of in achtereenvolgende perioden van grote afvoer de capaciteit afneemt, ondanks het feit dat het gemiddelde 14,8 mm is.

De gevallen waarin het gemaal 24 uur achtereen in werking was staan genoteerd in tabel 5. In oktober 1960 vond dit 2 maal achtereen plaats, in december daar aanvolgend nogeens 3 x achtereen. De uitgeslagen hoeveelheden in mm/etmaal blijken inderdaad voor de achtereenvolgende dagen af te nemen, doch uit de gegevens valt toch niet zonder meer op te maken dat de oorzaak in een belemmering van de toestroming naar het gemaal moet worden gezocht.

Voor het geval van oktober 1960 wordt de afname van de intensiteit voornamelijk veroorzaakt door overgang op een lager polderpeil, zoals uit tabel 2 valt op te maken. Een nadere detaillering van de gegevens uit tabel 2 volgt in tabel 6. Nadat het polderpeil in de loop van de maand oktober 1960 na de hevige regenbui van 59,7 mm op de 11e, gebracht is op ruim 1,90 - N.A.P. is de afvoercapaciteit voornamelijk nog afhankelijk van het buitenpeil. Het gekozen voorbeeld waarin de polder zwaar belast werd met een extreem grote hoeveelheid neerslag op één dag geeft geen duidelijke aanwijzing over een mogelijke teruggang van de afvoerintensiteit tengevolge van langzame toestroming tot het gemaal. Over het algemeen zal deze dan ook voldoende zijn.

Tot een soortgelijke conclusie komt men na bestudering van de situatie in december 1960 (tabel 5).

Als voorbeeld hoe over een gehele regenrijke winter de neerslag en afvoerhoeveelheden met elkaar in verband staan werd voor 1960/1961 de gesommeerde hoeveelheid aan neerslag en aan afvoer, met als beginpunt 1 augustus, tegen de tijd uitgezet (fig. 6). Tot half oktober blijft de afvoersom ver achter bij de neerslagsom. Daarna is de verdamping sterk gereduceerd en is het profiel opgevuld. Beide curven blijven nu op praktisch constante afstand van elkaar, wat inhoudt dat er geen cumulatie van neerslag overschotten plaatsvindt. Ook in vele details blijken de curven grote overeenkomst te vertonen, met andere woorden het gemaal is in staat de neerslag praktisch 'op de voet te volgen'. Opgemerkt

wordt nog dat in deze winter de zes gevallen voorkwamen dat het gemaal 24 uur achtereen heeft gewerkt. Deze gevallen staan in de figuur met kruisjes aangegeven.

Tenslotte kan nog worden geconcludeerd dat er in de bestudeerde gevallen geen duidelijke aanwijzingen zijn dat de toestroming naar het gemaal bij de lange maalperioden een afname van de bemalingsintensiteit tot gevolg heeft. Extreme neerslaghoeveelheden kunnen binnen 2 à 3 dagen tot afvoer worden gebracht. De grote capaciteit van het gemaal wordt benut door het gemaal voor- namelijk in uren met een goedkoop stroomtarief in werking te stellen en eventueel om ook in neerslagrijke perioden uren beschikbaar te houden voor onderhoud en reparatie.

Samenvattende beschouwing over de kansverdeling van de afvoer

Met de in het voorgaande gegeven analyse kan worden nagegaan van welke gedaante de kansverdeling van de afvoer is van een niet-automatisch werkend elektrisch gemaal dat voornamelijk tijdens uren met goedkoop stroomtarief in werking wordt gesteld.

Vooropgesteld wordt dat het in perioden met geen, of zeer weinig, neerslag niet noodzakelijk zal zijn het gemaal te laten werken. Bij een capaciteit van het gemaal die het mogelijk maakt de neerslag praktisch dag voor dag te volgen zal het percentage dagen dat het gemaal niet gewerkt heeft overeen moeten komen met het percentage dagen waarop geen neerslag is gevallen. Om dit na te gaan werd uit de basisgegevens tabel 7 samengesteld waarin de cumulatieve frequenties voor geringe hoeveelheden neerslag en afvoer werden vermeld.

Het blijkt nu dat in oktober de frequentie waarmee er op een bepaalde dag geen afvoer is opgetreden 73% is. Wat de neerslag betreft is er juist op 73% van het aantal beschouwde oktoberdagen een hoeveelheid van minder dan 2,5 mm gevallen. Deze uitkomsten combinerend moet de conclusie luiden dat een neerslag tot 2,5 mm per etmaal op een oktoberdag gemiddeld geen aanleiding zal zijn tot het in werking stellen van het gemaal.

Naarmate het bodemprofiel verder opgevuld raakt zal het maximale aantal mm neerslag dat nog juist geen afvoer geeft geringer worden. Uit de tabel valt af te leiden dat deze hoeveelheid aan het eind van de winter is gedaald tot 1/2 mm per etmaal.

Voor de gehele winterperiode kan deze hoeveelheid gemiddeld worden gesteld op 1 mm (tabel 7). Ten opzichte van deze totale verdeling is de verdeling van oktober iets afwijkend met het hogere percentage afvoerloze dagen. Dit houdt dus duidelijk verband met het feit dat in deze maand de vocht aanvulling van het profiel nog moet plaatsvinden (zie ook fig. 6). De hogere ligging van het onderste gedeelte van de frequentiecurve voor oktober in figuur 2a is hiermee nog eens plausibel gemaakt.

Iets gedetailleerder dan uit figuur 2a en b volgde kan uit tabel 7 worden afgeleid dat hoeveelheden van minder dan ca. 2 mm per etmaal, overeenkomend met een maalperiode van minder dan 3 uur, niet in de afvoergegevens voorkomen. Voor oktober betekent dit dat neerslaghoeveelheden van deze grootte in het geheel niet zullen worden afgevoerd. In de overige wintermaanden zullen de geringe neerslag-

hoeveelheden na cumulatie over enkele dagen worden afgevoerd.

De frequentiecurven voor de gehele winter behorend bij de beide rechterkolommen uit tabel 7 zijn weergegeven in figuur 7 respectievelijk door de curven 1 en 2. De neerslagcurve (1) is slechts weergegeven tot 16 mm, de afvoercurve (2) is identiek met die van figuur 2b en figuur 4, behoudens de horizontale schaal die nu lineair gekozen is.

De ingetekende afvoercurve (2) geeft de hydrologische situatie weer en vermeldt welk aantal mm op een bepaalde dag met een zekere frequentie over - respectievelijk onderschreden zal worden. Aldus beschouwd is een aantal van 0 mm evenzeer een uitkomst met een hydrologische betekenis, waarop in het begin van deze paragraaf de aandacht is gevestigd.

Gaat de belangstelling speciaal uit naar het beleid waarmee de bemaling van de polder plaatsvindt dan kan de vraag worden gesteld hoeveel mm water per etmaal gaat worden afgevoerd op het moment dat besloten is het gemaal in werking te stellen, en met welke frequenties deze hoeveelheden zullen optreden. Eenvoudiger gezegd: gevraagd wordt naar de afvoerfrequenties 'zonder nullen'.

De curve die nu ontstaat is in figuur 7 met '3' aangeduid. Het onderste gedeelte van de curve duidt er op dat de afvoerhoeveelheden die rond de 4 mm liggen normaal verdeeld zullen zijn: de curve is hier praktisch geheel recht. In totaal behoort bijna 90% van de gevallen waarin afvoer is opgetreden tot dit gedeelte van de curve. Zou men extrapolierend verder gaan, dan zou een conclusie bijvoorbeeld zijn dat een afvoer van meer dan 6 mm met een frequentie van 1% zal voorkomen. Het blijkt echter, dat in werkelijkheid een dergelijke afvoer in 10% van de gevallen overschreden wordt, en dus vaker voorkomt dan op grond van het onderste gedeelte van de curve wordt verwacht. Wellicht nog duidelijker is de voorstelling gegeven in figuur 8. Hierin staat het histogram dat bij de frequentiecurve van de afvoeren behoort ingetekend. Ook hier blijkt nog eens duidelijk dat in het grootste aantal keren dat afvoer noodzakelijk wordt een maalperiode van ten hoogste 10 uur voldoende is voor het uitslaan van de gewenste hoeveelheid. Dit betekent dat het gemaal in werking gesteld wordt van 21,00 uur af (vóór 1 mei 1959 was dit 23.00 u) tot hoogstens 05.00 of 06.00 uur daarop volgend.

Wordt het noodzakelijk een grotere hoeveelheid water uit te slaan dan zal het gemaal gedurende een tweetal maalperiodes binnen 24 uur in werking zijn

met een totaal tijd die veelal 15 à 18 uur zal bedragen.

De verdeling van de afvoeren vertoont dus een tweetoppigheid. Veelal zullen de nachturen voldoende zijn voor het onderhouden van de juiste waterhuishoudkundige toestand. Komt men hiermee niet klaar dan zullen enkele maalperioden die veel langer zijn ingevoegd worden om het juiste evenwicht te herstellen. Dat het met dit beleid mogelijk is ook grote neerslaghoeveelheden binnen korte tijd tot afvoer te brengen is met figuur 6 aangetoond.

Literatuur en interne nota's betrekking hebbend op het onderzoek naar de afvoerfrequenties

- GILS, J.B.H.M., VAN, 1963 - Het gebruik van een betrouwbaarheidsinterval bij cumulatieve frequentie-verdelingen I.C.W. nota nr. 228
- K.N.M.I., 1956 - 1961 - Frequenties van k-daagse neerslagsommen op nederlandse stations. De Bilt (24 delen)
- STOL, Ph., Th., 1963 - Het gebruik van frequentie verdelingen bij het onderzoek naar afvoercoëfficiënten I.C.W. nota nr. 165
- _____ 1963 - Een betrouwbaarheidsinterval voor frequentie verdelingen en frequentiequotiënten I.C.W. nota nr. 187
- _____ 1963 - Orthogonale polynomia en de bijbehorende variantie-analyse voor het numeriek weergeven van onderzoeksresultaten I.C.W. nota nr. 230
- _____ 1964 - Het afvoeronderzoek in het Deltagebied I.C.W. nota 245.

Tabel 1. Uitkomsten van benaderingsformules tot en met die van de vijfde graad voor de GH-kromme van het gemaal 'DE MOER'

Drukhoogte in m (H)	Rij proefmeting gemeten Q (m ³ /min)	BEREKENDE WAARDEN BIJ VERSCHILLENDE BENADERINGEN T/M					Herhaling waarde proefmeting
		x ⁰	x ¹	x ²	x ³	x ⁴	x ⁵ (x = H)
0,80	192	171,0	196,9	191,8	192,11	191,85	192
0,90	190,50	171,0	193,6	190,5	190,58	190,64	190,50
1,00	189	171,0	190,4	188,9	188,85	189,05	189
1,10	187	171,0	187,2	187,0	186,93	187,13	187
1,20	185	171,0	183,9	184,9	184,90	184,93	185
1,30	182,50	171,0	180,7	182,6	182,46	182,48	182,50
1,40	180	171,0	177,4	180,0	179,90	179,81	180
1,50	177	171,0	174,2	177,1	177,10	176,94	177
1,60	174	171,0	171,0	174,0	174,05	173,87	174
1,70	170,50	171,0	167,7	170,6	170,75	170,60	170,50
1,80	167	171,0	164,5	167,0	167,19	167,11	167
1,90	163,25	171,0	161,2	163,2	163,36	163,38	163,25
2,00	159,25	171,0	158,0	159,0	159,24	159,37	159,25
2,10	155	171,0	154,8	154,6	154,83	155,03	155
2,20	150,50	171,0	151,5	150,0	150,12	150,32	150,50
2,30	145,50	171,0	148,3	145,1	145,10	145,17	145,50
2,40	139,25	171,0	145,1	140,0	139,76	139,50	139,25

Tabel 2. Voortbeeld bewerkt basismateriaal en afgeleide gegevens voor de maand oktober (1960) van het gemaal 'DE MOER'

Nr	J	N	D	Neerslag in mm	Maalperiode		Gemiddelde peilen tijdens maalperiode in m t.o.v. N.A.F.		Maalperiode in minuten	H in cm	Q in m ³ /min	Afvoer in mm/etmaal	Maalperiode in uren	
					Begin	Einde	KwH	in m t.o.v. N.A.F.						
								Binnen						Buiten
002	60	10	01	3,5										
			02	2,4										
			03	1,4										
			04	6,7										
			05	14,8	21.00	6.00	720	- 1,87	- .05	182	166,29	5,6	9	
			06	13,4	21.00	6.00	740	- 1,82	.10	192	162,53	5,5	9	
			07	,7	21.00	6.00	740	- 1,86	.15	201	158,96	5,3	9	
			08	,3	21.00	3.00	520	- 1,91	.20	211	154,73	3,5	6	
			09	3,4										
			10	9,4	3.00	6.00	250	- 1,91	.20	210	155,17	1,7	3	
			11	59,7	16.00	6.00	1170	- 1,64	.17	181	166,65	8,7	14	
			12	7,2	6.00	6.00	2010	- 1,58	.25	183	165,92	14,8	24	
			13	3,2	6.00	6.00	2040	- 1,75	.15	190	163,30	14,6	24	
			14	1,2	6.00	16.00	850	- 1,98	.10	208				
					21.00	01.00	340	- 1,93	.25	218		> 8,1*)	14	
			15	,2	13.00	18.00	440	- 1,98	.27	225		> 4,5*)	8	
			16	,1	21.00	24.00	280	- 1,96	.27	223				
			17		21.00	2.00	430	- 1,93	.10	203	158,14	2,9	5	
			18	4,4										
			19	,4										
			20	3,1										
			21	,5	21.00	5.00	700	- 1,92	- .05	187	164,43	4,9	8	
			22	3,6										
			23	6,0										
			24	1,7	21.00	2.00	440	- 1,92	- .05	187	164,43	3,1	5	
			25	3,1										
			26	,6	21.00	2.00	450	- 1,93	- .05	188	164,06	3,1	5	
			27	6,8	21.00	2.00	440	- 1,93	- .05	188	164,06	3,1	5	
			28	,3										
			29	,6	21.00	2.00	460	- 1,96	.17	213	153,83	2,9	5	
			30	11,1	13.00	18.00	440	- 1,80	.15					
					21.00	2.00	430	- 1,96	.22			5,8*)	10	
			31	7,3	21.00	6.00	760	- 1,91	.15	206	156,89	5,3	9	

*) Som van de afvoeren van meer maalperiodes in een etmaal

Tabel 3. Aantallen malen dat het gemaal 'DE MOER' het genoemd aantal uren per etmaal in werking is geweest in de maanden oktober tot en met februari van 1949 - 1964

Maalperiode in uren per etmaal	Aantal malen voorgekomen (1950 - 1964)		
	achtereen	in meer dan één periode	totaal
2 tot en met 3½	26		26
4 tot en met 5½	270		270
6 tot en met 7½	437	3	440
8 tot en met 9½	63	11	74
10 tot en met 11½	1	11	12
12 tot en met 13½		9	9
14 tot en met 15½	1	27	28
16 tot en met 17½		13	13
18 tot en met 19½	2	11	13
20 tot en met 21½	1	3	4
22 tot en met 23½			
24	6		6
Σ	807	88	895

Tabel 5. Hoeveelheden afgevoerd in enkele van de langste aaneengesloten maalperioden per etmaal van het gemaal 'DE MOER

Maalperiode in uren per etmaal	Uitgeslagen hoeveelheid in mm	Datum	Peilen t.o.v. N.A.P.		H in m
			Binnen	Buiten	
24	14,8	12 okt 1960	- 1,58	.25	1,83
24	14,6	13 okt 1960	- 1,75	.15	1,90
24	14,9	4 dec 1960	- 1,60	.20	1,80
24	15,0	5 dec 1960	- 1,47	.30	1,77
24	14,3	6 dec 1960	- 1,73	.25	1,98
24	ca. 15,7	30 jan 1961	ca. - 1,75	ca. - .20	1,55

Tabel 4. Gemaa1 'DE MOER' Aantal malen dat een afvoerhoeveelheid per dag is opgetreden van

Winter (okt. t/m febr.)	≥ 5 mm	≥ 10 mm	≥ 12 mm
1949 - 50	0	0	0
50 - 51	2	0	0
51 - 52	3	0	0
52 - 53	14	5	0
53 - 54	0	0	0
54 - 55	3	3	0
55 - 56	1	1	0
56 - 57	4	0	0
57 - 58	4	3	1
58 - 59	0	0	0
59 - 60	2	0	0
60 - 61	45	11	7
61 - 62	34	7	2
62 - 63	10	2	0
63 - 64	12	3	2
15 winters	134	35	12
Gemiddeld per winter ca	9	2	1

Tabel 6. Afvoerhoeveelheden en -intensiteiten in mm/stroal in oktober 1960 voor 'DE MOER'

Datum	Maalperiode		Neerslag mm	Afvoer mm	Afvoer intensiteit in mm/24 uur	Peilen		Opvoerhoogte in m
	Tijden	uur				Binnen	Buiten	
1			3,5					
2			2,4					
3			1,4					
4			6,7					
5	21.00 - 6.00	9	14,8	5,6	14,9	- 1,87	- .05	1,82
6	21.00 - 6.00	9	13,4	5,5	14,7	- 1,82	.10	1,92
7	21.00 - 6.00	9	,7	5,3	14,7	- 1,86	.15	2,01
8	21.00 - 3.00	6	,3	3,5	14,0	- 1,91	.20	2,11
9			3,4					
10	3.00 - 6.00	3	9,4	1,7	13,6	- 1,91	.20	2,11
11	16.00 - 6.00	14	59,7	8,7	14,9	- 1,64	.17	1,81
12	6.00 - 6.00	24	7,2	14,8	14,8	- 1,58	.25	1,93
13	6.00 - 6.00	24	3,2	14,6	14,6	- 1,75	.15	1,90
14	6.00 - 16.00	10	1,2	5,8	13,9	- 1,98	.10	2,08
15	21.00 - 1,00	4		2,3	13,8	- 1,93	.25	2,18
	13.00 - 18.00	5	,2	2,8	13,4	- 1,98	.27	2,25
	21.00 - 24.00	3		14,7	13,6	- 1,96	.27	2,23
16			,1					
17	21.00 - 2.00	5		2,9	13,9	- 1,93	.10	2,03
18			4,4					
19			,4					
20			3,1					
21	21.00 - 5.00	8	,5	4,9	14,7	- 1,92	- .05	1,87
22			3,6					
23			6,0					
24	21.00 - 2.00	5	1,7	3,1	14,9	- 1,92	- .05	1,87
25			3,1					

Tabel 7. Gemeentel' DE NOER' Gesorteerde frequenties van neerslag en afvoers (gemiddeld). Frequenties in %

Neerslag						Afvoer						
	okt.	nov.	dec.	jan.	febr.	winter	okt.	nov.	dec.	jan.	febr.	winter
0	42	33	37	36	34	36	73	61	59	56	57	61
0,1	30	41	44	43	42	44	"	"	"	"	"	"
0,2	56	46	49	48	49	50	"	"	"	"	"	"
0,3	58	49	52	53	54	53	"	"	"	"	"	"
0,4	60	50	54	55	56	55	"	"	"	"	"	"
0,5	61	51	56	57	58	57	"	"	"	"	"	"
1	64	56	60	62	63	61	"	"	"	"	"	"
1,5	68	61	66	67	70	66	"	"	"	"	58	61
2	70	65	69	70	74	70	74	61	59	"	62	62
2,5	73	69	73	73	77	73	74	62	61	57	62	63
3	75	74	75	76	78	76	77	66	65	60	67	67
3,5	78	76	77	79	81	78	82	75	72	69	74	74
4	80	79	80	82	84	81	86	80	74	72	76	78
5	82	82	86	85	88	85	96	93	92	94	93	93
6	84	85	89	88	91	87	98	96	96	97	96	96
10	92	94	95	97	97	95	99	98	97	98	99	98
twee	47	23	26	22	16	47	14	12	14	11	10	14
hoogste	59	26	29	23	20	59	14	13	15	12	10	15
in mm												

Frequentie van de neerslag overeenkomend met de frequentie van een afvoer van 0 mm

Fig 1

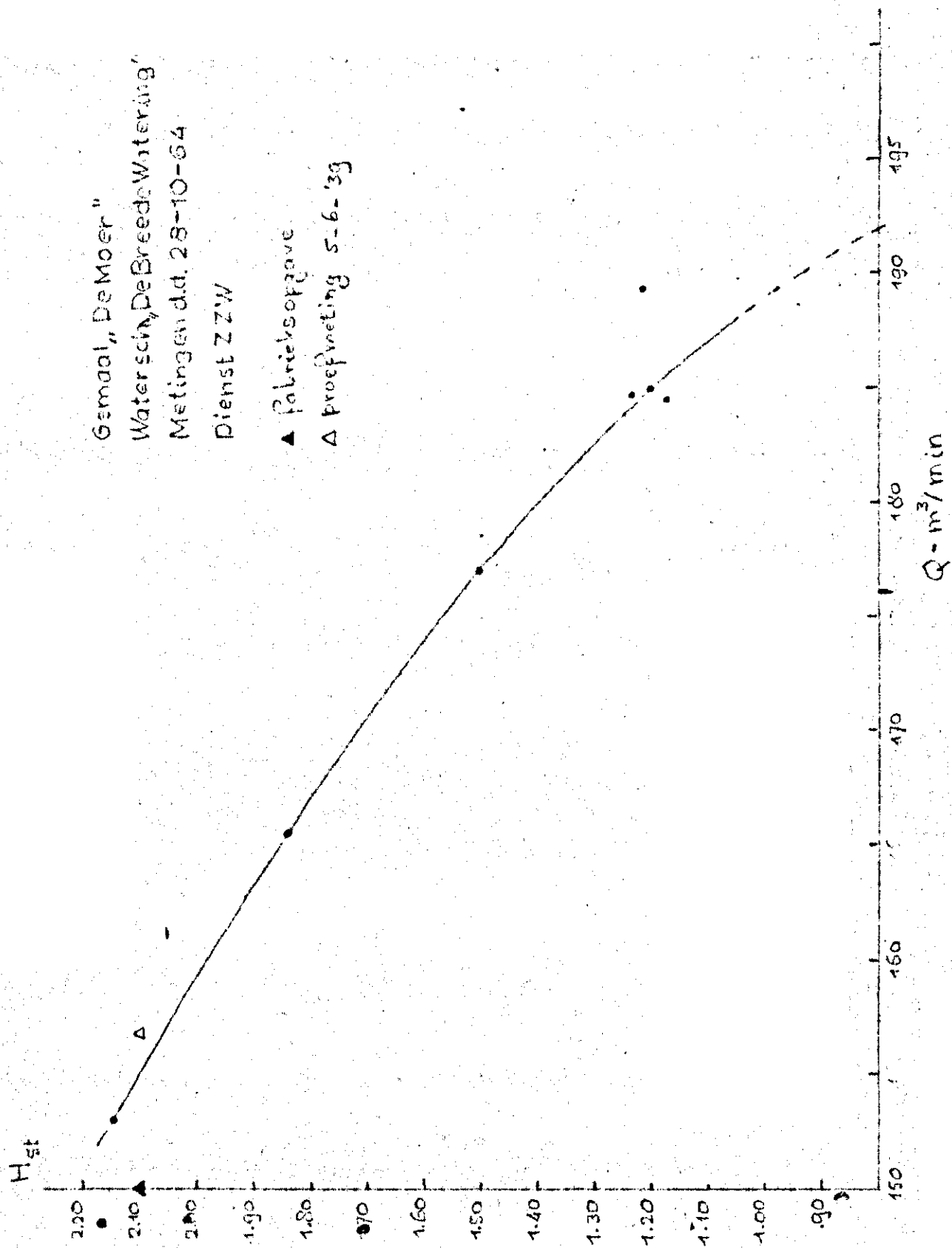


FIG 2a

GEMAAL "DE MOER"
Afweg op 1 dag

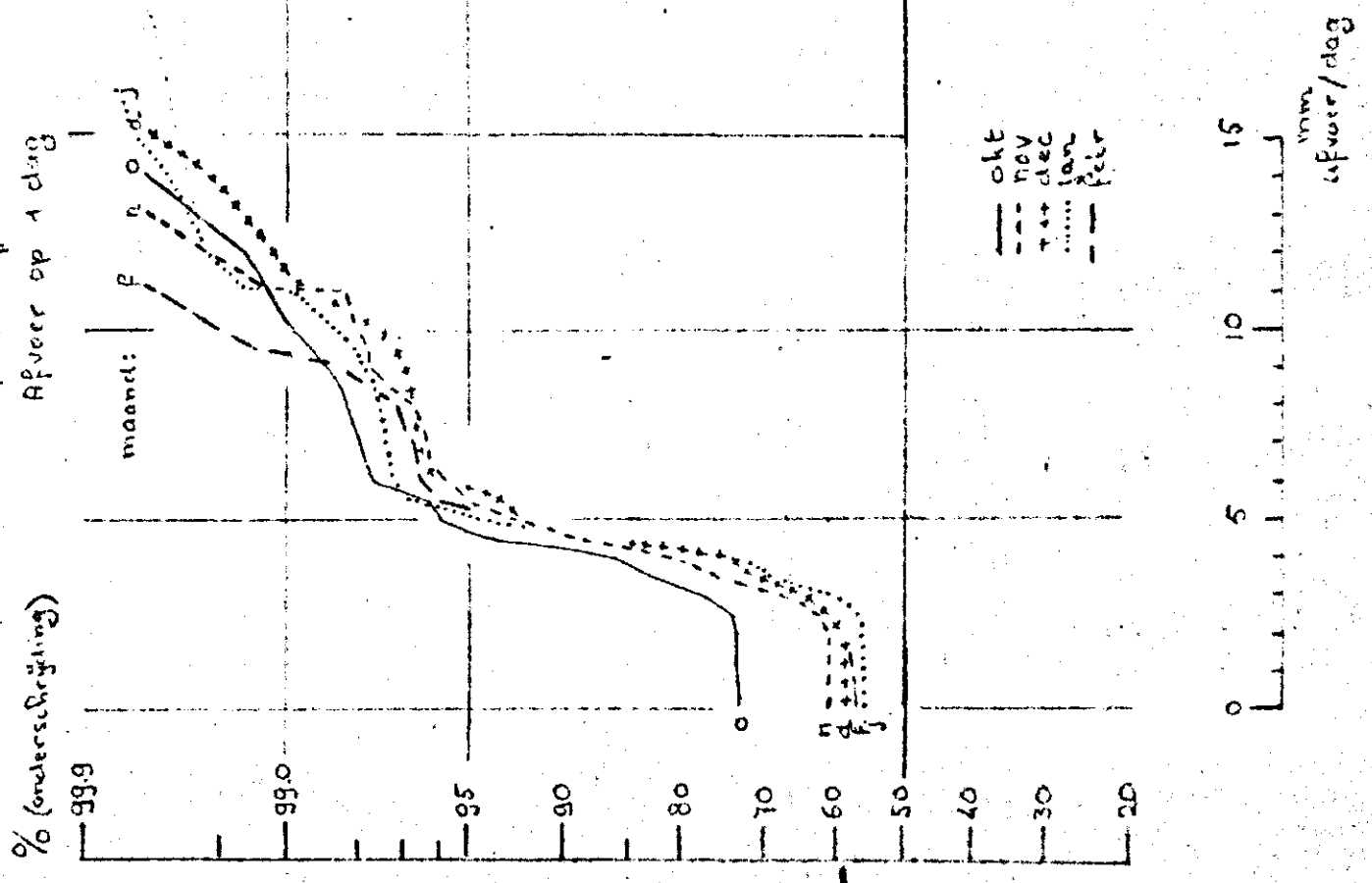


FIG 2b

Afvoerfrequenties
oktober en februari

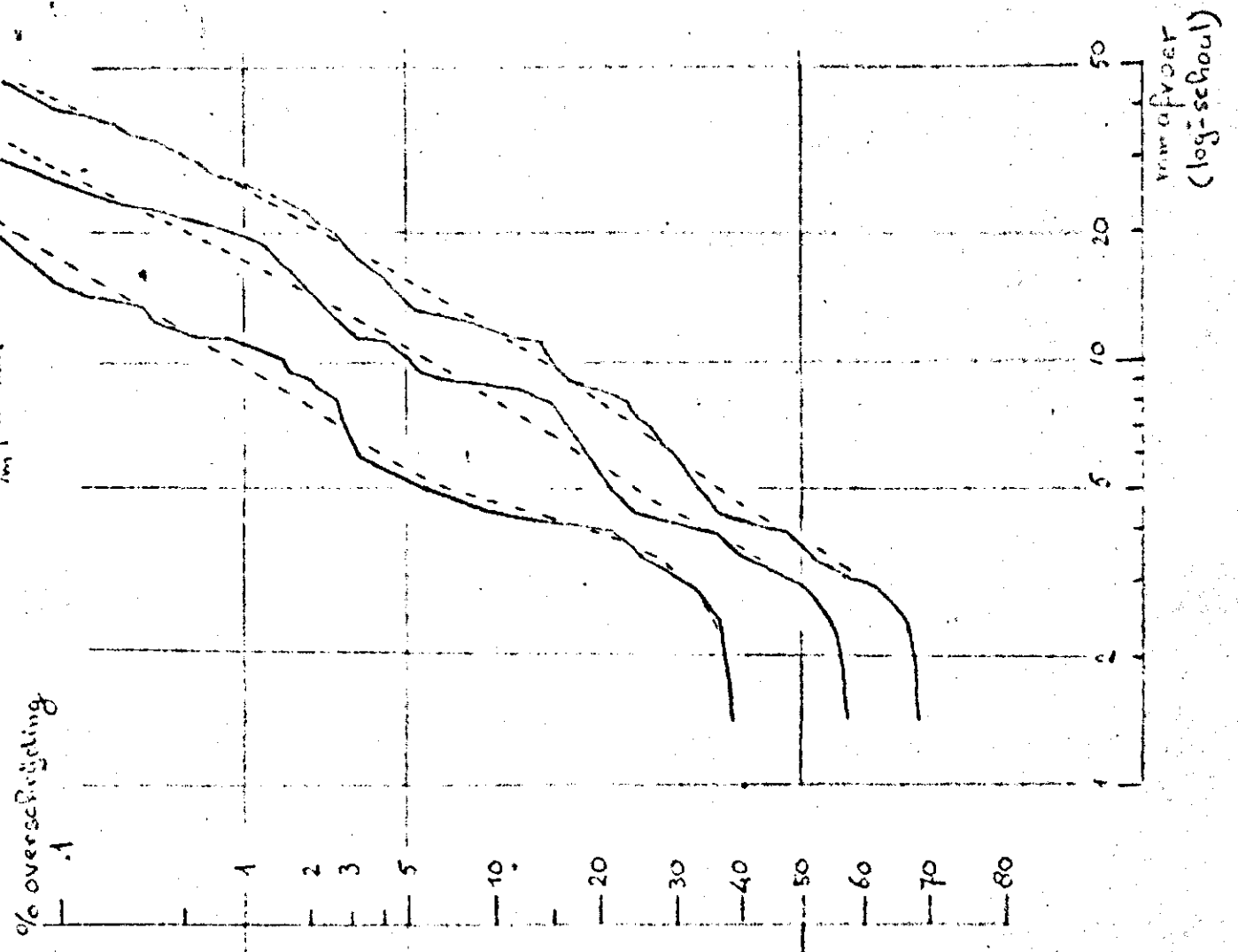
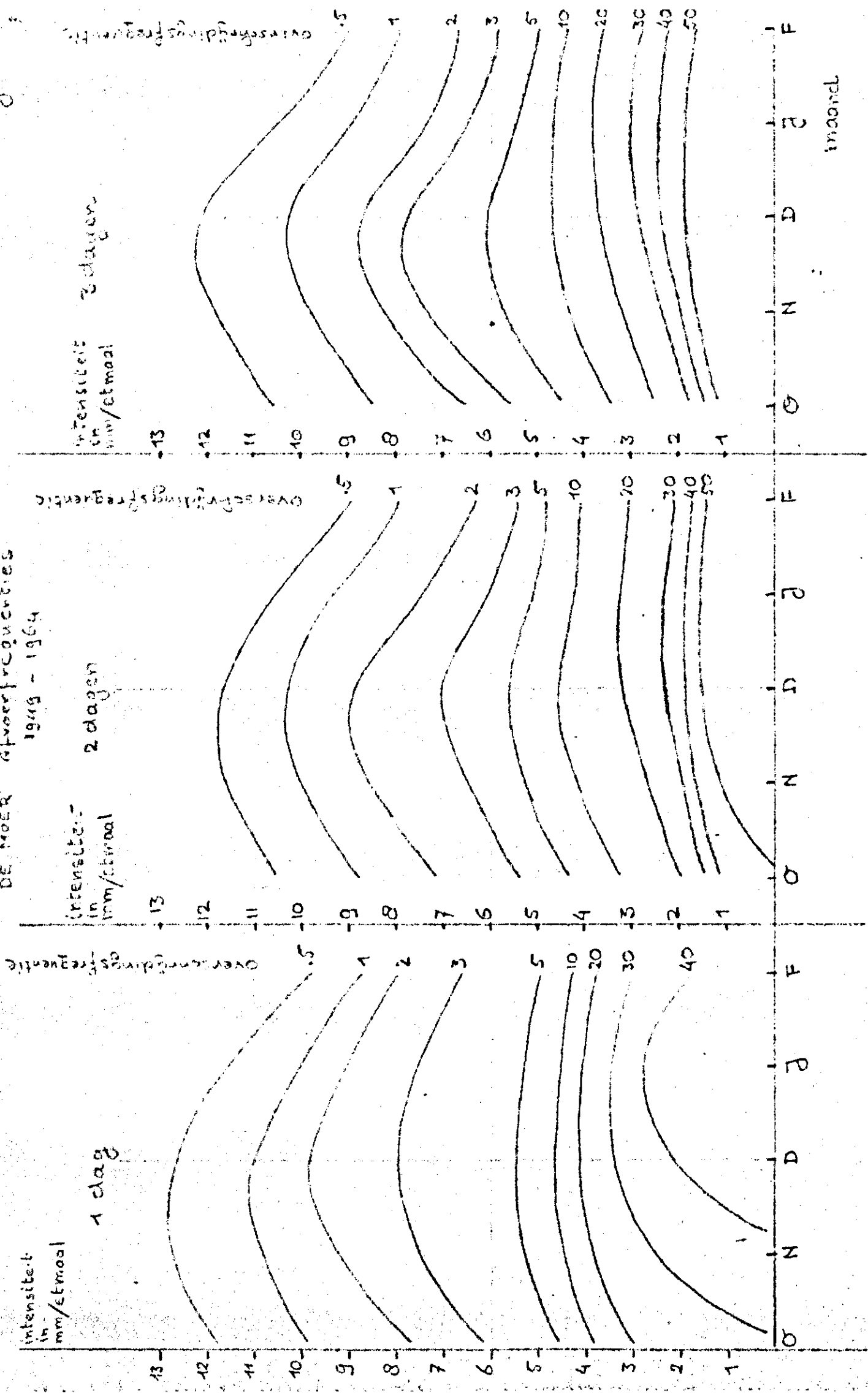


Fig 3

'DE MOER' afvoerfrequenties
1949 - 1964



in aard

Fig 4

'DE MOER'
 Afvoerfrequenties over
 1949-1964
 van de dagafvoer
 in oktober t/m februari.
 (2265 gegevens)
 De buitenste lijnen
 geven het 95%-betrouwf-
 bereiksisinterval

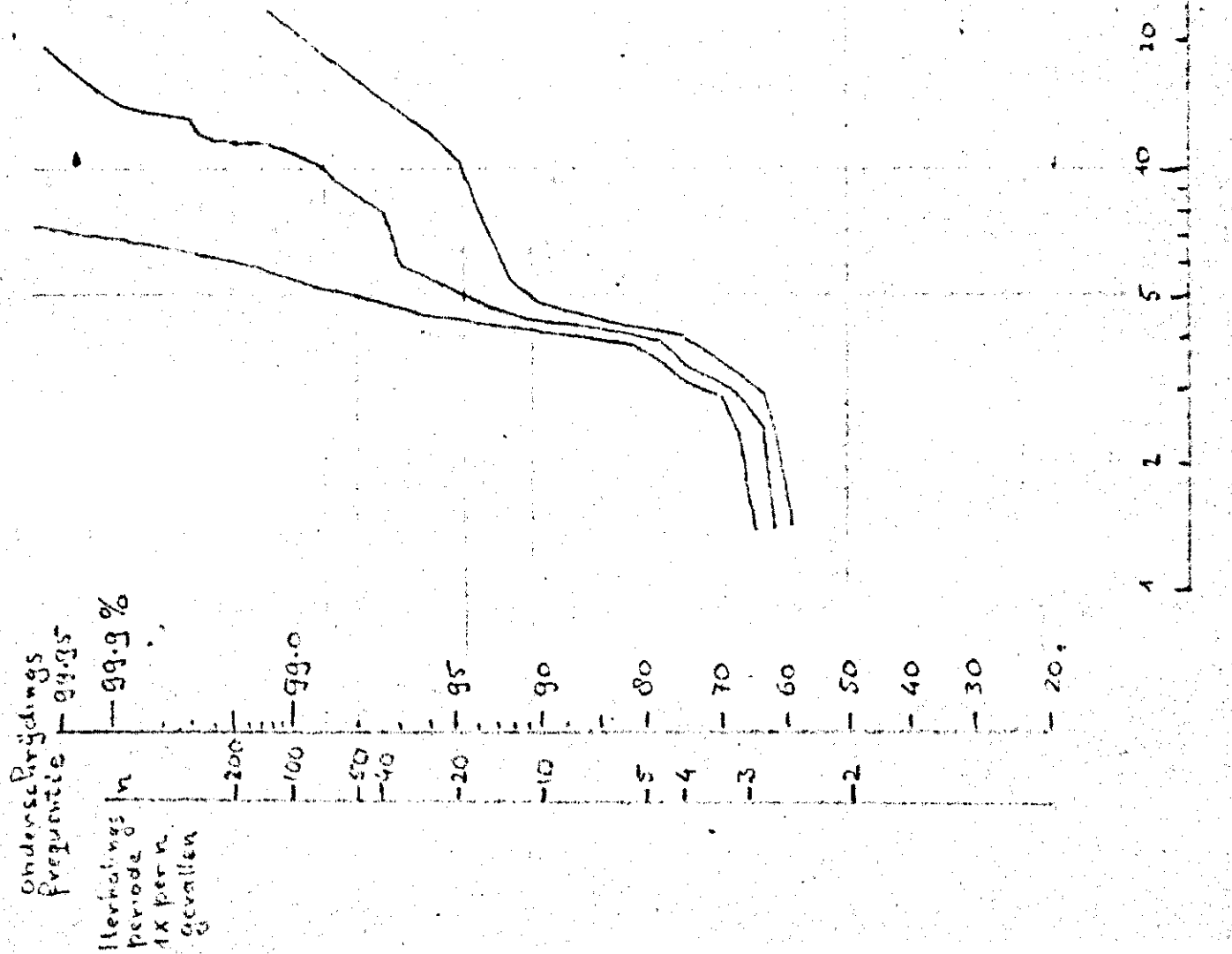


Fig 6:

GEMIDDELD DE MOER

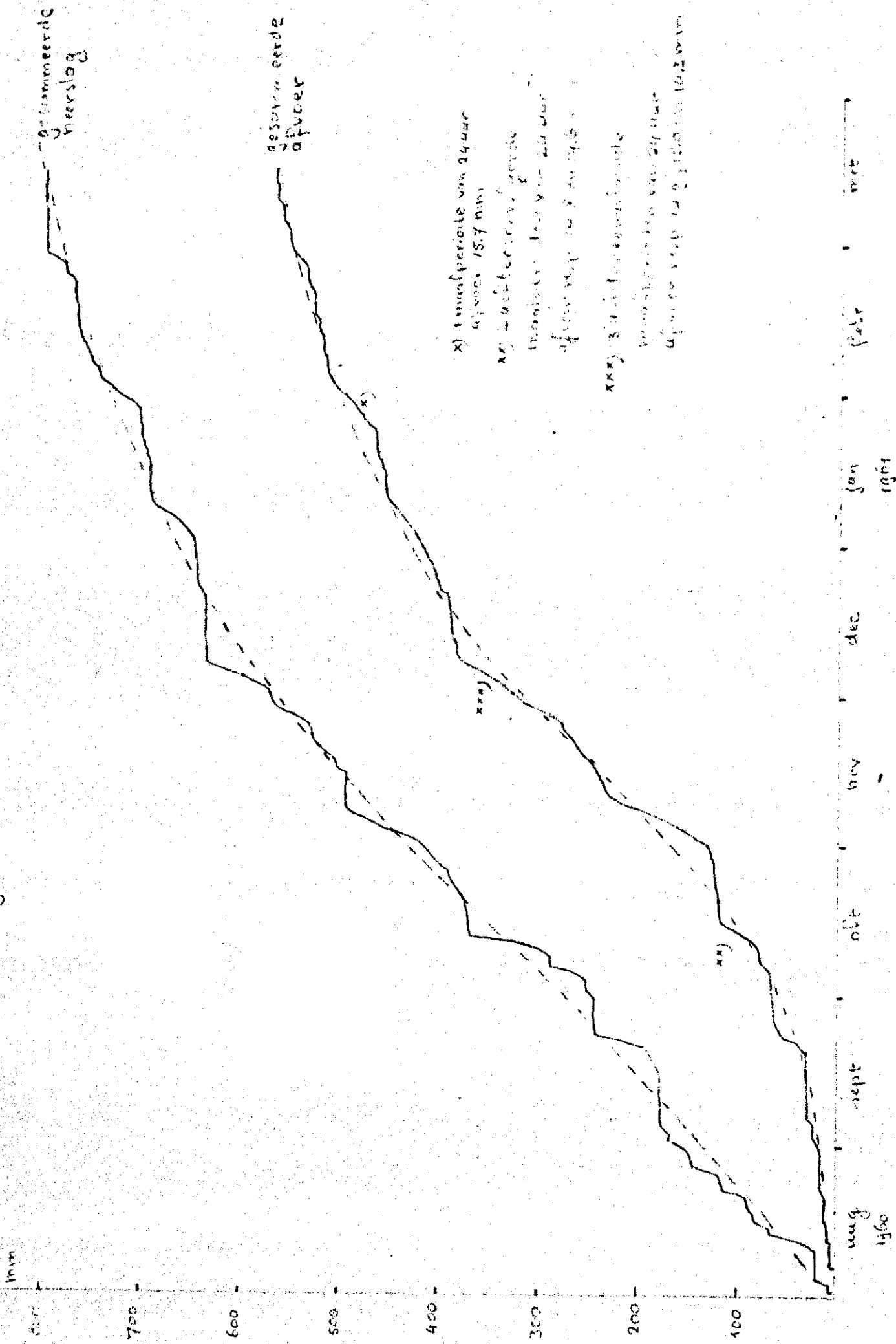


Fig 5

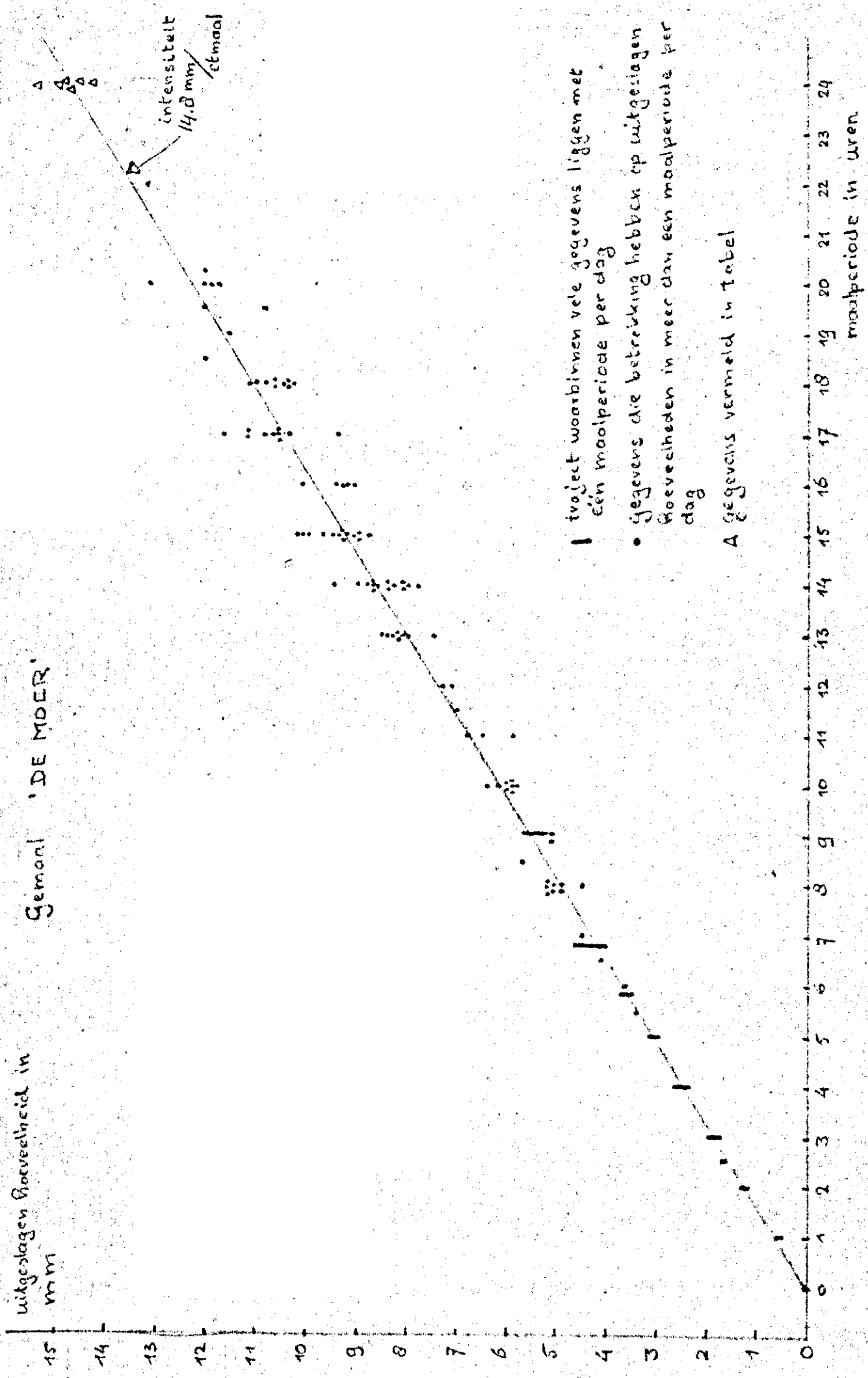


Fig 7

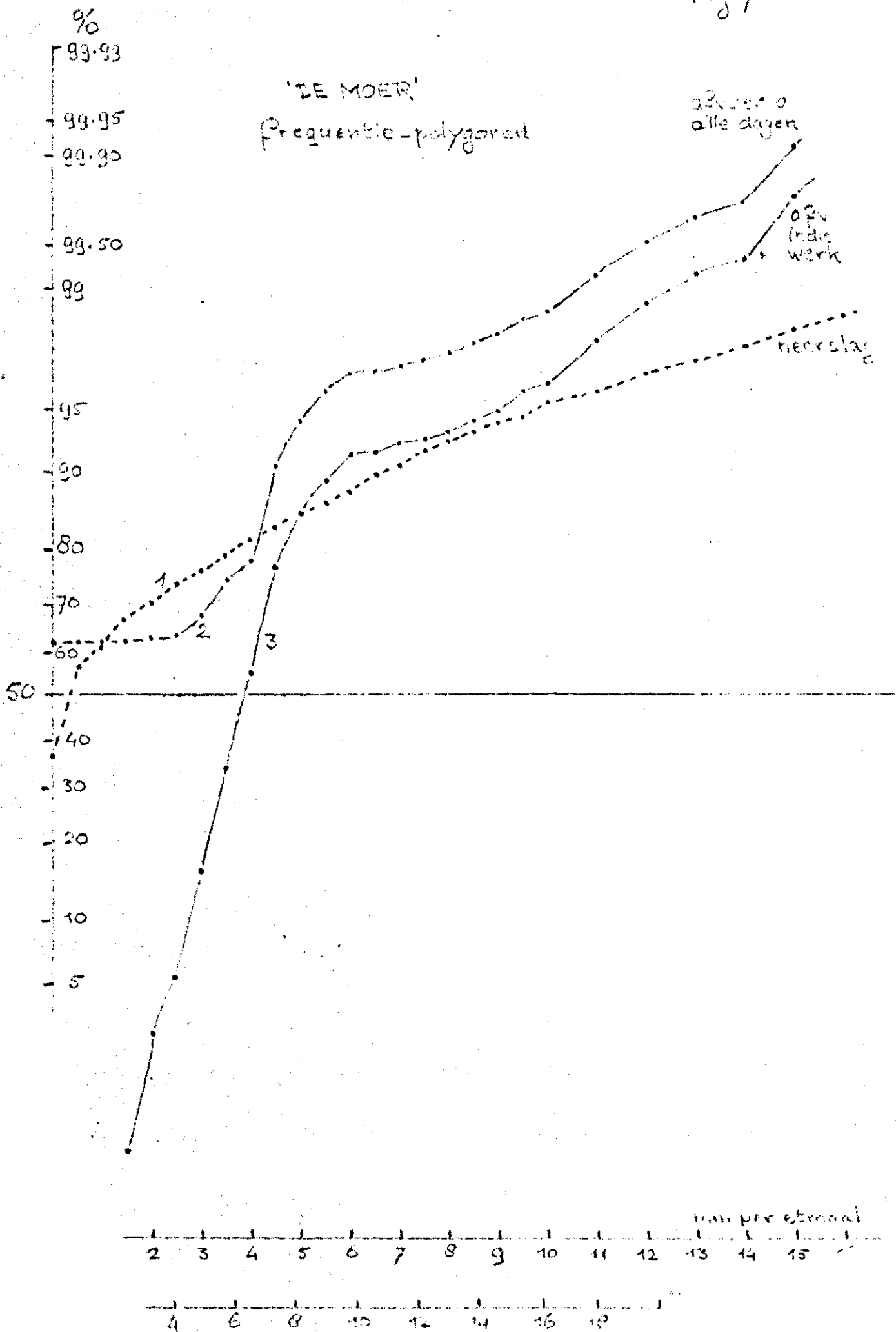
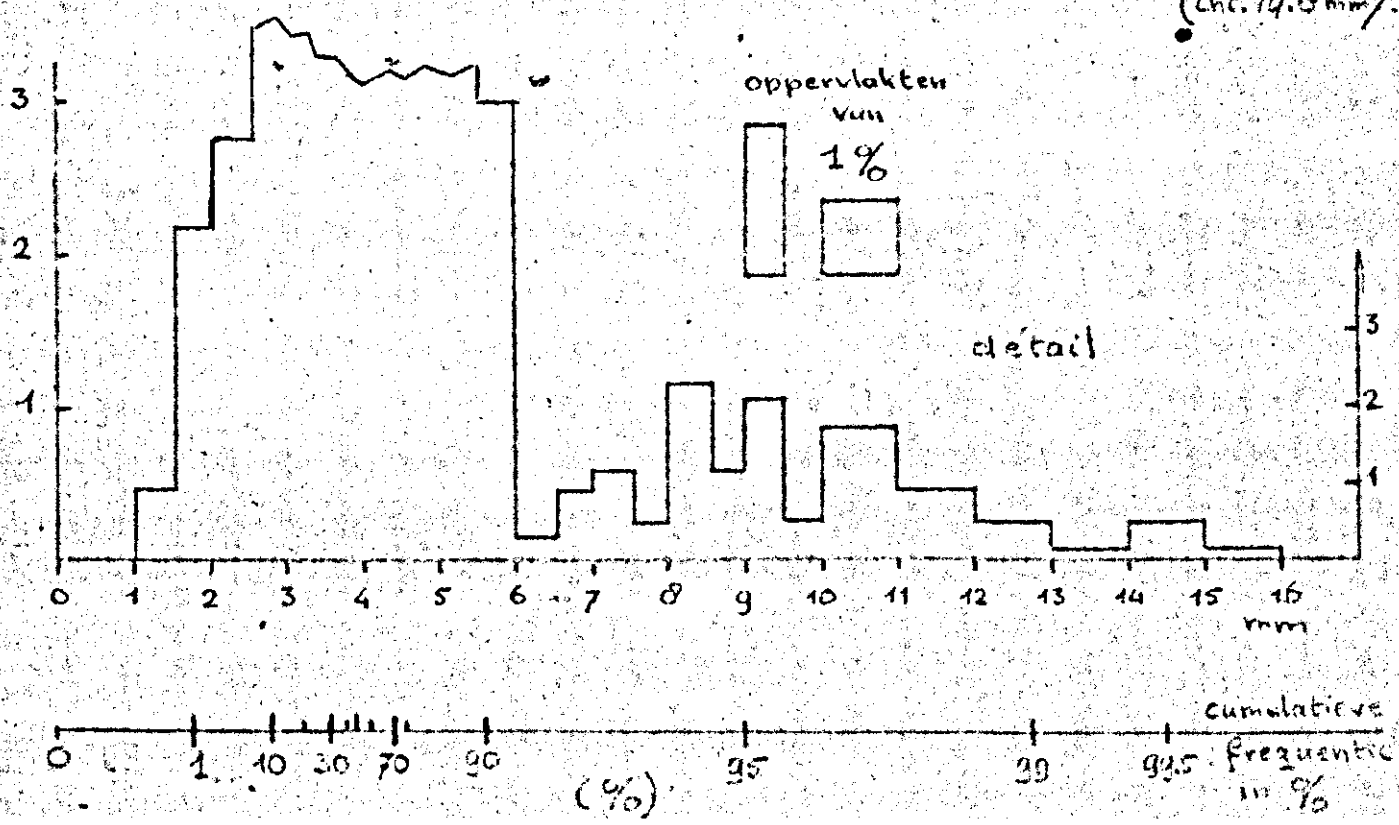
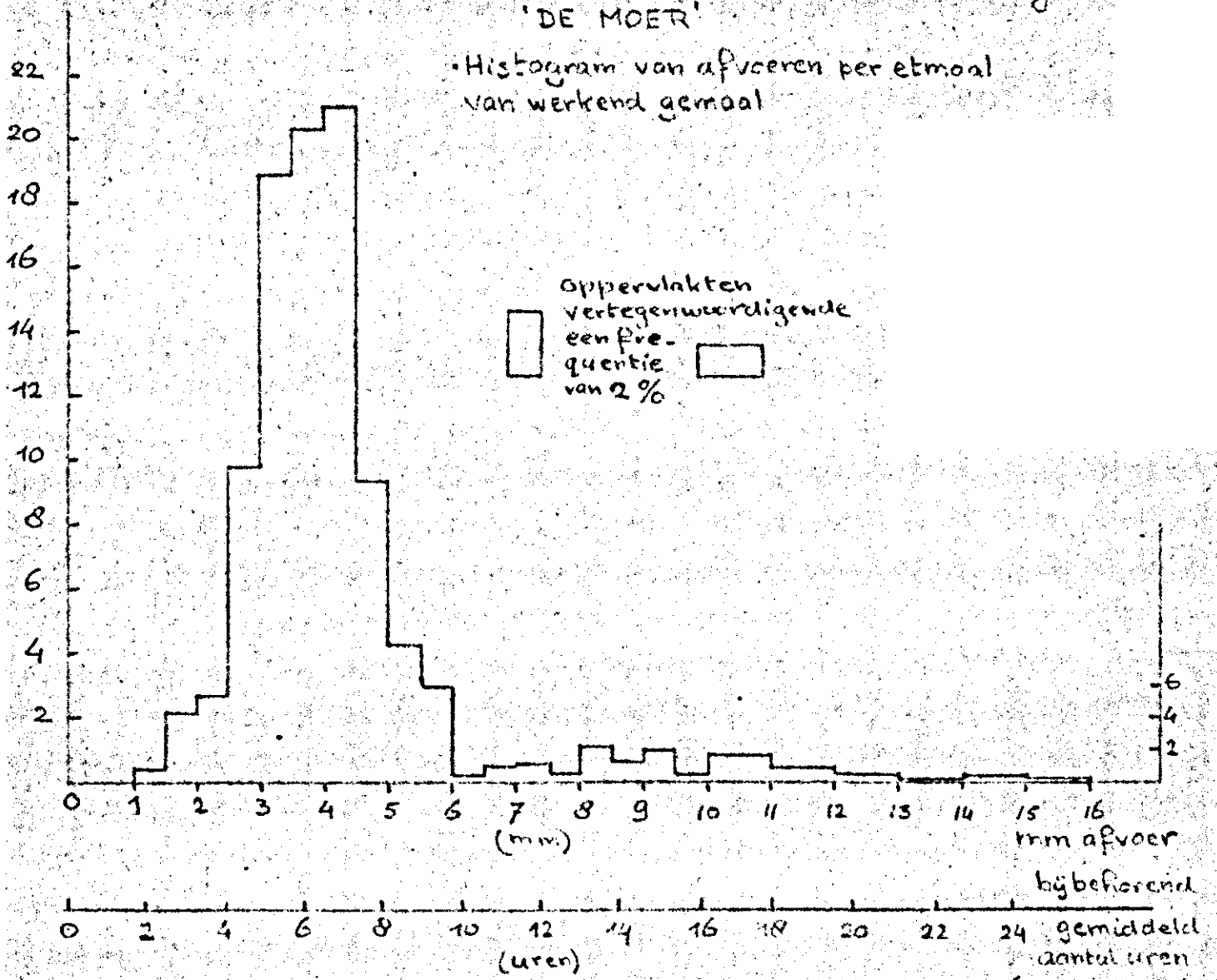


Fig 8

'DE MOER'

Histogram van afvoeren per etmaal van werkend gemaal



Gemaal 'DE MOER'

