

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

De Bilt

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

W.R. 72-6

H.R.A. Wessels

Metingen van regendruppels

te De Bilt

De Bilt, 1972

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 72-6 (II)

U.D.C.: 551.501.777 :
551.578.1

Measurements of raindrops at De Bilt, The Netherlands.

Summary.

A large number of raindrop measurements, using the filter-paper technique, was carried out at De Bilt during 1968 and the first months of 1969. The instrument was rather similar to the one designed by J. Grunow. The filter-paper was transported underneath an exposure-slit with an area of 20 cm^2 . The calibration of the filter-paper is shown in Fig.1, (spot diameter versus droplet diameter).

Section 2 discusses some well-known mathematical approximations of droplet-size distributions, i.e. the gamma-, exponential- and Best-distributions. Some important quantities, defined by (1) through (6) are specified in Table 1. A comparison of the three types of distributions is shown in Figs.2 (water content spectra) and 3. In the latter figure the Best-relation (7) can be represented by a straight line.

The methods of observation and computation are described in Section 3. The filter-paper registration has to be divided in sections (corresponding to time periods between 1 and 40 minutes) chosen in such a way that a sufficient number of droplets is included to estimate a spectrum. On the other hand the duration of these time periods is limited by the change of spectrum parameters with time. The droplets captured on a section are counted in 0.2 mm diameter intervals. Some relevant properties of the rain are computed with the formulae (11) through (14) and the spectrum parameters v and x_a are estimated with graphs of the same type as Fig.3. The results are presented in Table 3 (Appendix). In the v -column significant deviations from the Best-approximation are denoted with a, b and c, i.e. underestimation of small drops, bimodal distribution and underestimation of large drops respectively. The frequency of occurrence of these categories a, b and c is 18%, 4% and 14%.

Comparison of the three spectrum-formulae discussed in Section 2 shows that only for category c the gamma-distribution would have given better results than the Best-formula. Some examples of spectra are given in Fig.4 (water content spectra). Such a great variety of spectra can be more adequately described with the Best-formula.

Section 4 is a discussion on the measuring errors. Most of the measurement-periods in Table 3 correspond with sample volumes of a few m^3 . Therefore no reliable information can be obtained on the microstructure of the spectra. Also in the individual values of various parameters like R, W and Z, etc.

large errors can be expected. As an example the values of R computed from the droplet spectrum were compared with simultaneous raingauge measurements (collecting surface 200cm^2). The last column of Table 4 demonstrates the large differences: for 90% of the cases the errors are inside the indicated range. Some relations concerning the spectrum parameters are presented in Section 5. The empirical formula (15) has been applied on series of spectra measured during the same rain (Table 5) and also on all the spectra taken together. The best regression was found with $A = 1,21$ and $\alpha = 0,21$, but the individual cases showed considerable deviation.

An interesting result is presented in Fig.5, showing the number of occurrence of different v values (classwidth 0.2) as a function of rainfall intensity. For a certain rainfall intensity only a limited range of v values seems to occur. Fig.6, showing the occurrence of values of x_g for different rainfall intensities, may also be of practical interest.

A study was made to find a relation between some spectrum parameters and other meteorological quantities; the results were disappointing. In fact no relation was found to exist between the values A , α and v and:

- type of precipitation (drizzle, moderate rain, shower, thunderstorm)
- type of weather-system (warm front, occlusion, etc.)
- stability
- height of the 0°C isotherm
- relative humidity
- wind speed

One of the purposes of the measurements was to determine values of the coefficients in equation (16) relating rainfall intensity to radar reflectivity, the latter being considered as an independent variable. This subject is treated in Section 6. In Fig.7 all the values of R and Z from Table 3 are plotted.

The results for individual rains with a sufficient number of measured spectra are given in Table 5 and some of these results are shown in Fig.8. As an average of all observations equation (21) is found, which allows R to be estimated with an accuracy of about 50% in 90% of the cases. No improvement in this spread is obtained if a distinction is made according to the meteorological quantities specified in Section 5. It seems from Fig.7 that the coefficients B and β depend on the rainfall intensity. A separate treatment of the heavy rains results in a confirmation of the Marshall-Palmer relation (20). For smaller rainfall intensities smaller values of β and larger values of B can be expected.

Values of B and β have been published for many regions of the world and for different meteorological conditions. Perhaps at least a part of the differences in radar-rainfall-relationships could be attributed to the different rainfall intensities involved.

Finally in Section 7 the cumulative frequency distribution of the rainfall intensities encountered during the measurements is compared to the same quantity computed for a three-year period. Up to about 10 mm/hr all intensities are about equally well represented in the spectrum measurements. Spectra at higher rainfall intensities were difficult to measure with the present instrument.

Metingen van regendruppels te De Bilt.

H.R.A. Wessels.

Samenvatting.

Regendruppelspectra, gemeten met een papierstrook, zijn met behulp van de formule van Best geanalyseerd. De metingen zijn bij vele uiteenlopende soorten regens verricht. Uit de spectra is het verband tussen de radarechosterkte en de neerslagintensiteit berekend.

De druppelspectrum-parameters blijken uitsluitend in systematisch verband te brengen met de regenintensiteit en niet met andere meteorologische grootheden.

Lijst van symbolen.

List of symbols.

x	(mm)	druppeldiameter droplet diameter
v	(m/s)	valsnelheid van waterdruppel in stilstaande lucht bij 1000 mb. terminal velocity of fall of water droplet in still air at 1000 mb. Deze grootheden hebben betrekking op het spectrum van vallende druppels in de lucht. These quantities are connected with the spectrum of the droplets during their fall.
x_a x_b	(mm)	schaalparameters bij druppelspectrumbenaderingen. parameters used in spectrum approximation formulae.
v, δ		vormparameters bij druppelspectrumbenaderingen. coefficients used in spectrum approximation formulae.
x_d	(mm)	meest voorkomende diameter in een spectrum. predominant droplet diameter.
\bar{x}	(mm)	gemiddelde druppeldiameter. average droplet diameter.
x_p	(mm)	diameter die het meest tot de waterinhoud bijdraagt. predominant diameter in the water content distribution.
n	(mm ⁻¹ m ⁻³)	aantal druppels van bepaalde diameter. concentration of droplets with a certain size.
N	(m ⁻³)	schaal aantal druppels. total number of droplets.

i, j		aanduidingen van druppelgrootteklassen. indices denominating the size intervals.
m		aantal druppels van bepaalde diameter, gemeten in steekproef op de grond. number of droplets with a certain size, present in a sample at the ground.
M		totaal aantal druppels dat in steekproef op de grond wordt gemeten. total number of droplets present in a sample at the ground.
x_g	(mm)	grootste diameter-klasse vertegenwoordigd in steekproef. largest size interval represented in a sample.
O	(mm ²)	oppervlak van de spleet, waardoor de druppels vallen. area of the collecting slit of the instrument.
T	(sec.)	tijd gedurende welke spectrum wordt bepaald. time interval used for a spectrum measurement.
R	(mm/hr)	neerslagintensiteit berekend uit gemeten spectrum. rainfall intensity computed from the spectrum.
I	(mm/hr)	neerslagintensiteit gemeten met pluviograaf. rainfall intensity measured with an automatic gauge.
W	(mg/m ³)	vloeibaar waterinhoud in de lucht. liquid water content of the air.
F		fractie van W, die aanwezig is in de vorm van druppels kleiner dan een bepaalde diameter. fraction of W present as droplets smaller than certain size.
S	(km ⁻¹)	extinctie-coëfficiënt voor zichtbaar licht. extinction coefficient for visible radiation.
Z	(mm ⁶ /m ³)	radarterugstrooiingsparameter. radar reflectivity.
A, B, α , β		empirische constanten. empirical constants.

1. Inleiding.

In K.N.M.I.-Verslag V 197-VI is een uitvoerige beschrijving gegeven van een volgens een idee van J. Grunow (GRUNOW, 1960) gebouwd instrument voor het registreren van regendruppels. Het initiatief tot het uitvoeren van deze metingen werd genomen door Dr. C. Levert. In het desbetreffende apparaat wordt speciaal geprepareerd papier met een te kiezen snelheid (2,5,10 of 50 cm/min.) horizontaal onder een eveneens horizontale spleet van 2 bij 10 cm. doorgetrokken. Vallen er regendruppels door de spleet dan ontstaan na droging rood gekleurde vlekken op het papier. Een regelbaar verwarmingselement versnelt de droging, zodat het gebruikte papier vrijwel direct kan worden opgerold. De afmeting van de vlekken is een maat voor de druppeldiameter; het resultaat van de in V 197-VI beschreven ijking van het toegepaste papier wordt in fig. 1 herhaald.

Bij de beproeving van het instrument werd gevonden dat voor regenintensiteiten groter dan ca. 10 mm/hr de metingen minder betrouwbaar waren, terwijl de resultaten bij intensiteiten groter dan ca. 30 mm/hr geheel onbruikbaar bleken.

In het nu volgende verslag wordt een grote reeks waarnemingen, verricht in 1968 en de eerste drie maanden van 1969, beschreven en geanalyseerd.

2. Benaderingsformules voor druppelspectra.

2.1. Algemeen.

Druppelspectra geven aan hoeveel druppels van bepaalde verschillende afmetingen per volume-eenheid lucht aanwezig zijn. Men kan ook uitgaan van de verdeling van de hoeveelheid vloeibaar water, zoals die in druppels van verschillende afmeting aanwezig is. Zowel voor mist-wolken- als regen-druppelspectra worden in de literatuur diverse empirische benaderingsformules vermeld. Een overzicht geeft bijvoorbeeld MATVEEV (1965).

Een voordeel van het gebruik van benaderingsformules is dat een gevonden spectrum met één of meer parameters beschreven kan worden in plaats van met een lange rij getallen. Die parameters zijn dan bijvoorbeeld een schaalparameter, zoals de gemiddelde afmeting of een vorm- of spreidingsparameter, waaruit blijkt of de druppels ongeveer dezelfde afmeting hebben dan wel zeer uiteenlopende diameters bezitten.

Een nadeel van benaderingen is, dat details in het spectrum die bijvoorbeeld informatie zouden kunnen bevatten over het ontstaan van regen, aan de aandacht ontsnappen.

2.2. Veel gebruikte spectrum-benaderingen.

Een overzicht van de drie meest bruikbare formules geeft tabel 1.

Deze formules worden zowel voor regen-, mist- als wolkendruppels gebruikt.

De schaalparameters zijn x_b en x_a , terwijl δ en v vormparameters zijn.

Tabel 1. Overzicht van enige druppelspectrum-benaderingen en van daaruit af te leiden grootheden.

verdeling :	gamma-verd.	exponentiële-verd.	Goodrich } Weibull } verd.
auteurs(s):	Levin	o.a. Marshall-Palmer	Best
n ($\text{mm}^{-1} \text{m}^{-3}$)	$\frac{N}{\Gamma(\delta+1)x_b} x^\delta e^{-\frac{x}{x_b}}$	$\frac{N}{x_b} e^{-\frac{x}{x_b}}$	$\frac{6}{\pi} W v \frac{x^{v-4}}{x_a^v} e^{-\left(\frac{x}{x_a}\right)^v}$
x_d (mm)	δx_b	o	$\left(1-\frac{4}{v}\right)^{\frac{1}{v}} x_a$ als $v > 4$
\bar{x} (mm)	$(\delta+1)x_b$	x_b	$\frac{\Gamma(1-\frac{2}{v})}{\Gamma(1-\frac{3}{v})} x_a$ als $v > 3$
x_p (mm)	$(\delta+3)x_b$	$3x_b$	$\left(1-\frac{1}{v}\right)^{\frac{1}{v}} x_a$ als $v > 1$
$10^3 S$ (km^{-1})	$\frac{\pi}{2} N (\delta+2) (\delta+1) x_b^2$	$\pi N x_b^2$	$\frac{3W}{x_a} \Gamma(1-\frac{1}{v})$ als $v > 1$
W (mg/m^3)	$\frac{\pi}{6} N (\delta+3) (\delta+2) (\delta+1) x_b^3$	$\pi N x_b^3$	W
Z (mm^6/m^3)	$N (\delta+6) \dots (\delta+1) x_b^6$	$720 N x_b^6$	$\frac{6W x_a^3}{\pi} \Gamma(1+\frac{3}{v})$
relatie x_p, S en W	$W = \frac{1}{3} x_p S \cdot 10^3$	$W = \frac{1}{3} x_p S \cdot 10^3$	$W = \frac{\frac{1}{3} x_p S \cdot 10^3}{\Gamma(1-\frac{1}{v}) \left(1-\frac{1}{v}\right)^{\frac{1}{v}}}$

De waarden van x_d , \bar{x} , x_p , S, W en Z kunnen als volgt uit de formule n worden afgeleid:

$$x_d \text{ uit } \frac{dn}{dx} / x = x_d = 0 \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{\int_0^{\infty} n x dx}{N} \quad (2)$$

$$x_p \text{ uit } \frac{dn x^3}{dx} / x = x_p = 0 \quad (3)$$

$$S = 10^{-3} \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{4} \int_0^{\infty} n x^2 dx \quad (4)$$

$$W = \frac{\pi}{6} \int_0^{\infty} n x^3 dx \quad (5)$$

$$Z = \int_0^{\infty} n x^6 dx \quad (6)$$

De factor 2 in formule (4) is toegevoegd in navolging van SINCLAIR (1947) Vanzelfsprekend zijn x_a en x_b bij regendruppels minstens een orde groter dan bij mist- of wolkendruppels. Bij de formule van Levin wordt voor de δ wel opgegeven 4 à 3 voor regen en 6 à 10 voor mist en wolken. Uit tabel 1 blijkt dat de exponentiële verdeling volgt uit de gammaverdeling voor $\delta = 0$.

De formule van BEST (1950) wordt meestal aldus gepresenteerd:

$$1 - F = 1 - \frac{1}{W} \int_0^x n x^3 dx = e^{-\left(\frac{x}{x_a}\right)^v} \quad (7)$$

Voor regendruppels kan v ongeveer tussen 1 en 6 variëren, terwijl bij mist- of wolkenwaarnemingen 2 à 5 gevonden wordt. In tabel 2 worden de waarden van enige constanten uit tabel 1 voor enkele waarden van v vermeld.

Tabel 2. Numerieke waarden van enige constanten uit de rechterkolom van tabel 1.

ν	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$(1 - \frac{1}{\nu})^{\frac{1}{\nu}}$							0	0,61	0,72
$(1 - \frac{1}{\nu})^{\frac{1}{\nu-1}}$	0	0,69	0,71	0,82	0,87	0,91	0,93	0,95	0,96
$\frac{\Gamma(1 - \frac{2}{\nu})}{\Gamma(1 - \frac{3}{\nu})}$					0	0,31	0,49	0,60	0,67
$\Gamma(1 - \frac{1}{\nu})$	∞	2,68	1,77	1,48	1,36	1,28	1,23	1,19	1,16
$\Gamma(1 + \frac{3}{\nu})$	6,00	2,00	1,33	1,10	1,00	0,95	0,92	0,90	0,89
$\Gamma(1 - \frac{1}{\nu})(1 - \frac{1}{\nu})^{\frac{1}{\nu}}$	1,00	1,85	1,27	1,22	1,19	1,16	1,15	1,13	1,12

De aan het slot van tabel 1 afgeleide relatie tussen x_p , S en W is vooral interessant voor mist- en wolvenspectra. De extra term, die in die relatie bij de benadering volgen Best in de noemer optreedt, wijkt blijkens tabel 2 voor $\nu > 2$ niet te veel van de waarde 1 af. Volgens Koschmieder kan het 5% contrastzicht bij daglicht uit S worden berekend:

$$V(\text{km}) = \frac{1}{S} \ln \frac{1}{0,05} = \frac{3,00}{S(\text{km}^{-1})} \quad (8)$$

Hiermee wordt de aan het slot van tabel 1 gevonden relatie:

$$W(\text{mg/m}^3) = \frac{x_p (\mu\text{m})}{V (\text{km})} \quad (9)$$

waarin x_p in μm is uitgedrukt, omdat deze formule vooral bij mist en wolken van belang is. Formule (9) is dus vrijwel onafhankelijk van de gekozen druppelspectrumbenadering en bevat geen experimentele constante zoals de verwante formule van TRABERT (1901) voor een mist met uitsluitend druppels van grootte x :

$$W(\text{mg/m}^3) = \text{const.} \cdot \frac{x (\mu\text{m})}{V (\text{km})} \quad (10)$$

2.3. Vergelijking van de formules van Best en Levin.

In fig. 2a en 2b zijn waterinhoudsverdelingen volgens de benaderingen van Best en Levin getekend en wel voor waarden van δ en ν die in de praktijk

voorkomen volgens opgaven van deze auteurs. In fig. 2b is ook de Marshall-Palmer-verdeling weergegeven, namelijk voor $\delta = 0$. Duidelijk blijkt dat met de formule van Best meer uiteenlopende typen van regenspectra beschreven kunnen worden. Bovendien komen bij de benadering volgens Best relatief meer kleine druppeltjes voor dan bij de spectra volgens Levin. Bij een vergelijking tussen de formules moet wel worden opgemerkt dat (zie tabel 1) de formule van Best aanleiding geeft tot moeilijk te hanteren afgeleide grootheden. Indien men bij spectra, die voldoen aan (7) $\ln \frac{1}{1-F}$ tegen x in een dubbellogaritmische grafiek uitzet, dan ontstaat een rechte lijn met helling v . Fig. 3 laat zien welke afwijkingen optreden als bij de formule van Levin $\ln \frac{1}{1-F}$ tegen x wordt uitgezet. Om de numerieke waarden van de parameters v en δ met elkaar te vergelijken kan men bijvoorbeeld rechte lijnen door de punten $F=0,1$ en $F = 0,9$ van de gevonden krommen trekken. Daarbij blijkt dat bij $\delta = 0,3,6$ en 9 respectievelijk ongeveer passen $v = 2,3$ $3,1$ $3,8$ en $4,3$. Dit bevestigt nog eens de geringe speelruimte die de formule van Levin bij het beschrijven van spectra biedt. Bovendien werpt dit vraagtekens op voor wat betreft de in de literatuur voor δ opgegeven waarden.

In 3.3 zal worden aangetoond dat voor het in dit rapport besproken waarnemingmateriaal de formule van Best beter voldoet, onder meer omdat afwijkende spectra als met $v = 1$ inderdaad voor blijken te komen (vgl. bijvoorbeeld fig. 4).

3. Methode van waarneming en bewerking.

3.1. De waarneming.

Alle waarnemingen werden verricht op het terrein van het K.N.M.I. te De Bilt. Het instrument was niet geschikt voor langdurig verblijf in de open lucht en werd daarom alleen opgesteld als het begon te regenen of als op korte termijn regen verwacht werd. Het gebeurde dan ook vaak dat gedurende het begin van een bui nog niet werd waargenomen.

Bij de metingen bevond de spleet zich op ca. 70 cm boven de grond en was de lengterichting van de spleet steeds zoveel mogelijk evenwijdig aan de gemiddelde windrichting geplaatst.

3.2. De bewerking.

Op de verkregen strook werden tijdvakken afgebakend, waarin de regen zoveel mogelijk zijn eigenschappen (intensiteit, spectrum, e.d.) had behouden. Dit werd zo goed mogelijk op het oog gedaan.

De afmeting van de afzonderlijke druppels konden geschat worden met behulp van een transparante plaat, waarop zich cirkels bevonden, overeenkomend met de vlekdiameters behorend bij de grenzen tussen opeenvolgende druppelgrootteklassen: $x = 0,0 - 0,2$ mm, $x = 0,2 - 0,4$ mm, $x = 0,4 - 0,6$ mm etc. Voor de keuze van deze klassen worden in 4.1 nog enige criteria gegeven. Voor vlekken die niet cirkelvormig waren, werd zo goed mogelijk de cirkel met hetzelfde oppervlak geschat.

De achtereenvolgende druppelgrootteklassen worden met i genummerd, waarbij $i = 1, 2, \dots, g$. In klasse i is de gemiddelde klassediameter x_i en de valsnelheid behorend bij het klassemidden v_i . Vanwege het ontbreken op de strook van te onderscheiden vlekken van druppels $< ca. 0,08$ mm is voor $i = 1$ genomen $x_1 = 0,14$ mm en voor v_1 de daarbij behorende valsnelheid.

In klasse i tellen we m_i druppels op de strook, die dus door de spleet met oppervlak 0 mm^2 gevallen zijn in T sec.

Daarmee volgt voor de regenintensiteit

$$R = \frac{3600}{0 \cdot T} \frac{\pi}{6} \sum_{i=1}^g m_i x_i^{-3} \text{ mm/hr} = \frac{0,3 \pi}{T} \sum_{i=1}^g m_i x_i^{-3} \text{ mm/hr} \quad (11)$$

Van meer belang dan de druppelverdeling aan de grond is het druppel-spectrum in de lucht. Vanwege de grote verschillen in valsnelheid tussen grote en kleine druppels zijn deze beide spectra zeer verschillend. Het aan de grond gemeten aantal m_i is afkomstig uit een volume

$$v_i \cdot T \cdot 0 \text{ cm}^3 = v_i \cdot T \cdot 0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Per m^3 zijn dus van klasse x_i aanwezig

$$n_i = \frac{m_i \cdot 10^6}{v_i \cdot T \cdot 0} \text{ druppels/m}^3$$

Uit de verdeling van m_i is verder te berekenen:

$$\text{de waterinhoud } W = 10^3 \frac{\pi}{6} \sum_{i=1}^g n_i x_i^{-3} \text{ mg/m}^3 \quad (13)$$

$$\text{en de radar-reflectie } Z = \sum_{i=1}^g n_i x_i^{-6} \text{ mm}^6/\text{m}^3 \quad (14)$$

Om de parameters x_a en v behorend bij de benadering van Best te kunnen schatten wordt berekend

$$F_j = \frac{10^3 \frac{\pi}{6} \sum_{i=1}^j n_i x_i^{-3}}{W}$$

In een dubbellogaritmische grafiek wordt voor elke waarde van j tussen 1 en $g-1$ de waarde $\ln \frac{1}{1-F_j}$ uitgezet tegen de diameter die overeenkomt met de bovengrens van klasse j . In vrijwel alle gevallen lagen de verkregen punten zodanig dat benadering met een rechte lijn redelijkerwijze mogelijk was. Deze rechte snijdt de lijn $\ln \frac{1}{1-F} = 1$ voor $x = x_a$ en de helling van de lijn is v .

In tabel 3 (bijlage) zijn voor alle waarnemingen een aantal van de zo verkregen gegevens opgesomd. Slechts bij enkele motregenwaarnemingen was het aantal druppelgrootteklassen te gering om x_a en v te schatten.

3.3. Afwijkingen ten opzichte van de benadering volgens Best.

In totaal zijn in tabel 3 opgesomd 533 monsters, inclusief de 13 gevallen waarin x_a en v niet geschat konden worden. Bij een aantal gevallen bestond de indruk dat de benadering volgens Best de werkelijkheid onvoldoende beschreef, en wel:

- a. In 96 gevallen (18%) kwamen relatief meer kleine druppeltjes voor.
- b. In 20 gevallen (4%) was de verdeling moeilijk met een eenvoudige formule te benaderen, bijvoorbeeld omdat waterinhoudsverdeling twee duidelijke maxima vertoonde, of iets dergelijks.
- c. In 75 gevallen (14%) was meer water in de vorm van grote druppels aanwezig. In deze gevallen zou dus - althans voor de grote druppels - de gamma-verdeling beter voldaan hebben.

In de kolom voor v in tabel 3 is met één der letters a, b of c aangegeven, tot welke van de hier genoemde categorieën het desbetreffende spectrum behoort.

In 83% van de gevallen voldoet de verdeling volgens Best beter dan de gamma-verdeling. Ook het voorkomen van spectra met $v < 2$ pleit voor het gebruik van de Best-formule.

De percentages afwijkingen blijken goed overeen te stemmen met vergelijkbare opgaven bij KELKAR (1968).

3.4. Enige voorbeelden van spectra.

De grote mogelijke verschillen tussen druppelspectra zijn in fig. 4 geïllustreerd. Daarin worden genormaliseerde waterinhoudsverdelingen gegeven voor 5 gevallen:

1 geval met hoge regenintensiteit, 2 gevallen van contrasterende spectra bij een regenintensiteit van ca. 0,7 mm/hr en 2 uiteenlopende spectra bij lichte regen.

4. Opmerkingen over steekproef-effecten bij de waarnemingen.

4.1. Eventuele fijnstructuur in het druppelspectrum.

Een nadeel van het gebruik van spectrum-benaderingen is dat een eventuele fijnstructuur wordt genegeerd. Dit nadeel is alleen dan relevant als de gebruikte meetmethode het constateren van een dergelijke fijnstructuur ook inderdaad toelaat. Daartoe moet het aantal druppels, waaruit het spectrum wordt berekend, voldoende groot zijn.

Om het materiaal te kunnen bewerken is het uiteraard nodig om druppel-grootteklassen te onderscheiden. Zulke klassen mogen enerzijds niet te groot zijn, omdat dan verdere berekeningen van regenintensiteit en dergelijke onnauwkeurig worden, terwijl dan bovendien een eventueel aanwezige fijnstructuur versluierd wordt, anderzijds mogen de klassen niet te smal zijn omdat dan het aantal druppels per klasse te klein wordt.

Volgens CORNFORD (1967, 1968) moeten, teneinde met 95% betrouwbaarheid het werkelijke aantal druppels in een klasse binnen 50% goed te schatten, tenminste 23 druppels in die klasse geteld worden. Met andere woorden: indien men als steekproef 23 druppels in een klasse telt, dan is met 95% zekerheid te zeggen dat het werkelijke aantal tussen 15 en 34 ligt. Zou men slechts 5 druppels tellen dan worden de 95% grenzen 2 en 11 ! Wil men enige fijnstructuur aantonen, door bijvoorbeeld met 95% zekerheid het werkelijke aantal in een klasse op ca. 10% te benaderen dan moeten per klasse 375 druppels geteld worden.

Bij de hier gebruikte meetmethode zijn dergelijke aantallen niet haalbaar, tenzij men elk spectrum als gemiddeld van een urenlange meting berekent. Gedurende die tijd zouden vrijwel zeker de regenintensiteit, de druppel-grootte e.d. veel veranderen. Het uiteindelijk gemeten spectrum zou dan onder meer veel breder worden dan de spectra waar het bij deze metingen om begonnen is, namelijk zoals die op een bepaald moment in de lucht aanwezig zijn.

Opgemerkt kan worden dat bijvoorbeeld de fijnstructuur die de spectra van 17 juni en 21 maart in fig. 4 suggereren, vrijwel zeker door steekproefeffecten zijn veroorzaakt. Bij die spectra werden slechts 4 druppels > 3 mm, respectievelijk slechts 24 druppels > 1 mm geteld!

4.2. Consequenties ten aanzien van afgeleide grootheden.

Volgens MUELLER & SIMS (1966) moeten - teneinde met 95% zekerheid de regenintensiteit op 10% nauwkeurig te schatten - per waarneming alle druppels uit 44 m^3 lucht worden gemeten.

Het apparaat dat voor het spectrum-onderzoek is gebruikt, heeft een spleetoppervlak van slechts 20 cm^2 en ontvangt - bij een valsnelheid van 5 m/s - per 5 minuten druppels uit een volume van slechts 3 m^3 . Voor kleinere druppels en kortere waarnemingsperioden is het onderzochte luchtvolume nog kleiner. Opgemerkt moet wel worden dat - met de hand - tellen van 10 x grotere druppelaantallen buitengewoon tijdrovend zou worden.

De in tabel 3 genoemde waarden van R, W en Z kunnen dus aanzienlijk van de werkelijkheid afwijken. Een lichtpunt is, dat bij onderlinge vergelijking van bijvoorbeeld R en Z deze fouten in veel geringere mate een rol spelen.

4.3. Vergelijking van de spectra met een pluviograafregistratie.

Het in 4.2 gesignaleerde probleem kan bij de onderhavige metingen nader geïllustreerd worden, omdat tijdens de metingen een registratie van een pluviograaf beschikbaar was, die op slechts ca. 10 m afstand was opgesteld. De cirkelvormige opvangtrechter van deze pluviograaf had een oppervlak van 200 cm^2 en de bovenrand bevond zich op ca. 40 cm boven het maaiveld. De werkwijze van de pluviograaf was als volgt: Telkens wordt een reservoir van 1 cm^3 gevuld met het opgevangen regenwater. Een vol reservoir werd automatisch met een zuiger geledigd, waarbij een signaal naar een - op afstand geplaatste - tijdschrijver werd gezonden. Uit de registratie van de tijdschrijver was dus af te lezen op welk tijdstip er weer 0,05 mm regen was gevallen. Voor de in tabel 3 genoemde periodes dat spectra werden gemeten, is ook de gemiddelde regenintensiteit I uit de pluviograafregistratie berekend.

Individuele waarden van R en I vertoonden volgens verwachting grote verschillen, hoewel de gemiddelden ongeveer gelijk bleken.

Eén en ander wordt geïllustreerd in tabel 4, geldend voor alle waarnemingsperioden met $I > 0,1 \text{ mm/hr}$. Bij lagere intensiteiten duurt het vullen van het reservoir namelijk te lang om intensiteitsschattingen over perioden van 5 à 10 minuten toe te laten.

Tabel 4. Vergelijking van regenintensiteiten in mm/hr, uit druppelspectrum berekend (R) en met pluviograaf gemeten (I).

gemiddelde windsnelheid tijdens een serie metingen	gemiddelde waarden	spreiding van 90% der waarden
0 t/m 5 kt	$\bar{R} \sim 1.0 \bar{I}$	0,46 I < R < 1.7 I
6 t/m 9 kt	$\bar{R} \sim 1.0 \bar{I}$	0,50 I < R < 1.8 I
10 t/m 15 kt	$\bar{R} \sim 1.5 \bar{I}$	0,41 I < R < 3.0 I

Deze uitkomsten bevestigen tenminste kwalitatief het in 4.3 opgemerkte. De waarde van I is verkregen uit een 10 keer groter luchtvolume dan R en kan daarom als redelijke schatting van de juiste regenintensiteit worden beschouwd.

Voor hoge regenintensiteiten wordt vergelijking van R en I moeilijker omdat waarnemingsperiodes van bijvoorbeeld 1 minuut vanwege de te geringe regelmaat van het mechanische uurwerk van de tijdschrijver niet nauwkeurig uit de pluviograafregistratie zijn terug te vinden. Desondanks blijken bij hoge regenintensiteiten de fouten geringer te worden: indien men zich tot $I > 1$ mm/hr beperkt, blijken de verschillen tussen R en I ongeveer twee keer kleiner dan uit tabel 4 blijkt. Moeilijk te begrijpen is het resultaat dat bij hoge windsnelheden de regendruppelgroottemeter (met de spleet op ca. 70 cm hoogte) systematisch per cm^2 opvangvlak meer regen ontvangt dan de pluviograaf op 40 cm hoogte. Het is in elk geval geruststellend dat vermoedelijk de druppelgroottemeter gunstig afsteekt bij een pluviograaf als men let op selectie-effecten ten gevolge van het overwaaien van druppels bij hoge windsnelheden.

5. De verkregen spectrum-parameters x_a en v in verband met andere grootheden.

5.1. Verband tussen x_a en R

Indien tijdens een regen de druppels groter worden, neemt i.h.a. de regenintensiteit toe. Om het verband tussen x_a en R te onderzoeken zijn de waarnemingen behorend tot dezelfde meetreeks (i.h.a. enkele uren) tezamen beschouwd. De bedoelde perioden zijn in tabel 5 opgesomd. Alleen indien gedurende de desbetreffende regen tenminste 6 spectra werden berekend is x_a met R vergeleken en wel door uitzetten van corresponderende waarden in een dubbellogaritmische grafiek.

De regressielijn

$$x_a = A R^\alpha \quad (15)$$

is geschat met R als onafhankelijke parameter. De relatie (15) werd reeds door BEST (1950) gevonden met als gemiddelde waarden

$$A = 1.30 \text{ en } \alpha = 0,232$$

De bij de verschillende meetreeksen in dit onderzoek gevonden A en α zijn in tabel 5 vermeld. De kolom R geeft aan op welk bereik van regenintensiteiten de gevonden waarden betrekking hebben.

Bovendien zijn alle verrichte waarnemingen ook tezamen beschouwd.

Daarbij bleek:

$$x_a = 1,21 R^{0,21}, \text{ waarbij } 90\% \text{ der waarneming lag tussen de lijnen:} \\ x_a = 0,88 R^{0,21} \text{ en } x_a = 1,77 R^{0,21}.$$

De spreiding t.o.v. de gemiddelde relatie is dus aanzienlijk, zoals ook uit tabel 5 blijkt. De regenintensiteit hangt niet alleen van x_a af, maar uiteraard ook van v , N , en van de verschillen tussen het werkelijke spectrum en de spectrumbenadering.

Onderzocht is, of de verschillende waarden van de coëfficiënten A en α in tabel 5 in verband te brengen waren met:

- a het type neerslag : gelijkmatige regen
 buiige neerslag (S)
 neerslag met onweer (T)
 of motregen (D)
- b een synoptische classificatie (warmtefront, koufront, e.d.)
- c een stabiliteitsparameter (dikte 700-1000 mb verminderd met dikte
 500-700 mb)
- d de hoogte van het 0°C niveau (i.v.m. vormingsproces van de neerslag)
- e de gemiddelde relatieve vochtigheid tijdens de regen (i.v.m. de
 eventuele verdamping van voornamelijk kleine druppels)
- f de gemiddelde windsnelheid op 10 mtr. hoogte tijdens de regen (i.v.m.
 een eventueel uitsorteren van druppels met verschillende valsnelheid).

Er werd geen enkele aanwijzing verkregen betreffende een afhankelijkheid van A of α van één van de factoren a t/m f .

Tabel 5 : Overzicht reeksen waarnemingen (type-aanduiding, zie 5.1 onder a)

datum	tijdvak (MET)	totale duur met. (min.)	aant. met.	type	gemiddeld		R mm/hr	x_a (mm)	Z (mm ⁶ /m ³)
					w.snelh. (kt)	rel. vocht (%)			
1968									
3 jan.	14.50-15.30	40	4	D	6	98	<0,003		
5 jan.	14.25-14.37	12	3		6	87	0,7-0,9		
19 jan.	16.00-16.26	26	13	D	0	100	0,01-0,06		
9 febr.	13.50-15.15	85	8		7	89	0,1-0,8	1,56R ^{0,26}	460R ^{1,58}
14 febr.	12.20-16.30x	240	12		7	68	<0,03	2,08R ^{0,31}	250R ^{1,33}
21 febr.	13.50-15.30	95	15		7	91	0,1-0,6	1,18R ^{0,20}	210R ^{1,43}
4 mrt.	10.40-12.10	90	3		4	95	0,04-0,14		
11 mrt.	13.45-14.45	60	2	S	10	77	0,03-0,05		
20 mrt.	16.00-16.08	8	1		15	78	0,42		
21 mrt.	09.10-15.40	390	24		14	84	<1,8	1,52R ^{0,18}	400R ^{1,33}
2 apr. I	11.50-13.20	90	13		10	87	<1,0	1,13R ^{0,24}	200R ^{1,43}
2 apr. II	14.35-17.05	150	19		14	80	<2,3	1,48R ^{0,22}	350R ^{1,43}
4 apr.	13.45-17.10x	165	28	T	7	91	<5,8	1,35R ^{0,21}	320R ^{1,51}
22 apr.	09.34-10.28x	40	4		2	83	0,1-0,6		
23 apr.	13.20-16.28x	180	34		5	90	0,2-2,6	1,14R ^{0,27}	200R ^{1,72}
24 apr.	13.43-13.58	15	1	S	6	67	0,32		
29 apr.	12.03-13.20x	48	7		7	79	0,03-0,56	1,50R ^{0,21}	320R ^{1,39}
7 mei	08.59-11.09x	97	13	T	7	86	<6,0	1,21R ^{0,23}	260R ^{1,52}
13 mei	14.33-16.28x	33	5		15	83	0,2-1,0		
15 mei	08.13-10.35x	55	7		8	90	0,1-0,5	0,98R ^{0,07}	180R ^{1,25}
17 mei	12.10-15.19x	29	5	S	8	63	0,2-4,7		
6 juni	11.00-17.10x	330	53		7	87	<8,9	1,20R ^{0,23}	255R ^{1,51}
17 juni	11.14-12.30x	44	37	T	3	85	<33,8	1,17R ^{0,22}	195R ^{1,54}
25 juni	08.12-10.09	117	6		10	89	0,2-0,6	1,20R ^{0,16}	240R ^{1,37}
10 juli	08.11-10.32x	136	22		4	93	0,9-7,9	1,26R ^{0,21}	260R ^{1,48}
22 juli	14.05-16.00	115	15		4	96	0,2-3,9	0,96R ^{0,29}	160R ^{1,67}
13 aug.	14.53-15.01x	7	2		5	91	0,8		
14 aug.	14.22-15.41x	37	11	S	7	92	0,2-7,9	0,98R ^{0,24}	140R ^{1,57}
29 aug.	08.32-09.40	68	12		2	95	0,2-13,3	1,33R ^{0,17}	290R ^{1,45}
18 sept.	08.32-09.41x	51	12		0	99	<4,0	1,18R ^{0,23}	380R ^{1,70}
20 sept.	08.11-08.54x	29	6		9	92	<1,6	1,01R ^{0,26}	135R ^{1,30}
23 sept.	16.10-16.25	15	5	T	6	88	1,3-12,5		
24 sept.	08.21-08.37	16	2	T	4	91	0,5-0,9		
26 sept.	08.41-14.10x	319	36		8	94	<3,6	1,12R ^{0,18}	190R ^{1,45}
1 okt. I	11.47-13.00	73	5		5	89	0,2-0,5	1,08R ^{0,15}	180R ^{1,50}
1 okt. II	14.32-16.50	138	13		4	94	0,1-1,7	1,03R ^{0,22}	180R ^{1,50}
2 okt.	08.10-11.07x	160	17		6	97	0,2-2,5	1,10R ^{0,24}	180R ^{1,54}
1969									
15 jan.	08.37-09.03	26	2	S	5	97	0,3-0,4		
16 jan.	14.26-16.30	124	6		15	87	<0,63		
22 jan. I	10.54-12.50	116	6		9	87	<0,53	1,90R ^{0,23}	440R ^{1,34}
22 jan. II	15.20-16.50	90	14		7	94	1,6-6,6	1,15R ^{0,26}	200R ^{1,82}
20 febr.	13.17-14.30	73	6		5	93	0,4-4,5	1,38R ^{0,12}	340R ^{1,27}
13 mrt.	08.53-13.40	287	24		10	96	<6,0	1,15R ^{0,29}	220R ^{1,66}

x meetreeks met onderbrekingen

5.2. Verband tussen v en R .

Een onderzoek naar het verband tussen de vormparameter en bijvoorbeeld de bovengenoemde factoren a t/m f wordt bemoeilijkt door de omstandigheid dat bij het hier onderzochte materiaal v systematisch van de regenintensiteit afhangt. Dit blijkt uit de histogrammen in fig.5: waarden van $v < 2$ kwamen vrijwel alleen bij $R < 0,5$ mm/hr voor, terwijl waarden van $v > 4$ niet bij hoge of zeer lage intensiteiten zijn opgetreden. Een voorkeur voor waarden van v tussen 2 en 3,5 bij hoge intensiteiten blijkt ook uit metingen in India (KELKAR (1968)). Dit effect treedt daar echter pas op bij intensiteiten groter dan ca. 50 mm/hr, terwijl bij 10 mm/hr nog $v = 6$ voorkomt. Ook bij de door BEST (1950) geciteerde gegevens van andere auteurs lijkt soms merkbaar, dat bij toenemende intensiteit de gemiddelde waarde van v eerst stijgt, maar bij de hoogste intensiteiten weer afneemt.

5.3. Verband tussen v en de grootheden a t/m f uit 5.1

Het in 5.2 genoemde verband versluiert eventuele andere relaties tenzij men telkens groepen regens van ongeveer gelijke intensiteit afzonderlijk onderzoekt. Ook dan blijkt echter het onderhavige waarnemingsmateriaal geen aanknopingspunten te bieden, enige invloed van de genoemde factoren te onderstellen.

5.4. Verband tussen v en x_a

Gezien 5.1 en 5.2 zal bij toenemende x_a de waarde van v gemiddeld toenemen.

Bij gelijke R kan ook naar een verband gezocht worden. Dit is echter geenszins eenvoudig zoals uit de voorbeelden van fig.4 blijkt:

Bij twee gevallen met lage R is in het ene geval, zowel de v als de x_a kleiner terwijl bij twee gevallen met hogere R de x_a en v juist in tegengestelde richting veranderen. Men moet ook N bij de beschouwingen betrekken, waardoor het verband tussen x_a en v aanzienlijk minder scherp wordt.

5.5. Verband tussen x_g en R

Voor sommige praktische problemen kan het nuttig zijn te weten welke druppelgrootte maximaal verwacht mag worden bij bepaalde regenintensiteiten. Voor de bij dit onderzoek verrichte metingen zijn deze in fig. 6 gegeven en wel in de vorm van histogrammen. De absolute maxima blijken in goede overeenstemming met gegevens gepubliceerd door SIMPSON (1967)

6. Relatie tussen radarechosterkte en regenintensiteit.

6.1. Algemeen.

In verband met de mogelijkheid met behulp van metingen van Z tot een schatting van R te komen (regenmeting op afstand!), is het nuttig het verband tussen Z en R zo nauwkeurig mogelijk vast te leggen.

Op de hiermee verband houdende problematiek wordt onder meer uitvoerig ingegaan door KESSLER et.al. (1968) en BOROVIKOV et.al. (1967).

Indien men niet in de gelegenheid is rechtstreeks radarmetingen met neerslagmetingen te vergelijken, is ook schatting uit het druppel-spectrum mogelijk met formule (14). Het belangrijkste nadeel is dan wel dat niet de situatie op enige hoogte in de bui, maar de situatie nabij de grond beschreven wordt. De relatie tussen Z en R wordt doorgaans benaderd met

$$Z = BR^{\beta} \quad (16)$$

De vorm van deze relatie kan met behulp van de exponentiële spectrum-benadering op eenvoudige wijze aannemelijk gemaakt worden:

Men kan de valsnelheid voor druppels $> 0,7$ mm op 10% nauwkeurig benaderen met v (m/s) = $4.1 \sqrt{x}$ (mm). Verder blijkt voor de Marshall-Palmer-verdeling voor regen ongeveer te gelden dat $\frac{N}{x_b} = 8000 \text{ mm}^{-1} \text{ m}^{-3}$.

$$\left. \begin{aligned} \text{Daarmee volgt } R &= 3600 \cdot 10^{-6} \int n v \frac{\pi}{6} x^3 dx = 720 x_b^{9/2} \\ Z &= 720 N x_b^6 = 5,77 \cdot 10^6 x_b^7 \end{aligned} \right\}$$

Na elimineren van x_b volgt $Z = 198 R^{1,56} \quad (17)$

Indien men met kleinere druppels rekening moet houden, voldoet $v = 3,6x$ beter (binnen 10% goed voor $x < 1,9$ mm), waarmee op analoge wijze volgt

$$Z = 252 R^{1,40} \quad (18)$$

Volgt men een dergelijke procedure met de andere spectrum-formules dan worden de resultaten ingewikkelder. Er komen dan niet geheel bekende constanten in het eindresultaat voor. Met $v \propto \sqrt{x}$ volgt bijvoorbeeld

met de formule van Best $B \propto A^{2\frac{1}{2}}$ en $\beta = 1+2\frac{1}{2}\alpha \quad (19)$

In de literatuur wordt meestal als gemiddelde experimentele relatie

gegeven : $Z = 200 R^{1,6} \quad (20)$

6.2. Vergelijking van Z en R uit spectrum-metingen te De Bilt.

De berekende waarden van Z en R zijn voor elke waarneming (tabel 3) in fig. 7 tegen elkaar uitgezet. In deze grafiek worden relaties als (16) door rechte lijnen weergegeven. In verband met het feit dat men in de praktijk meestal R uit Z zal willen schatten is het van belang de Z als onafhankelijke parameter te beschouwen.

Voor hoge regenintensiteiten blijkt (17) of (20) goed te voldoen, maar het gehelemateriaal wordt beter benaderd met

$Z = 260 R^{1,43}$, waarbij 90% der waarnemingen lag tussen (21)
de lijnen $Z = 120 R^{1,43}$ en $Z = 530 R^{1,43}$

Deze spreiding heeft als gevolg dat met 90% zekerheid bij gegeven Z de R op ca. 50% nauwkeurig bepaald kan worden. Het ware te proberen tot nauwkeuriger schattingen te komen door het materiaal op te splitsen naar categorieën als genoemd in 5.1 onder a t/m f. Het bleek echter niet mogelijk een verband tussen B of β en die meteorologische parameters te vinden. Gezien (19) en het negatieve resultaat met A en α in 5.1 is dit nauwelijks verrassend te noemen.

Als voorbeeld van de geringe mogelijkheid tot precisering van het Z-R-verband kan worden gewezen op de gevallen dat onweer optrad tijdens de regen. Deze zijn in fig. 7 met T aangegeven en blijken gemiddeld op vrijwel dezelfde wijze verdeeld te zijn als de rest van het materiaal.

Evenals de relatie (15) is voor meetreeksen van tenminste 6 spectra de betrekking (16) grafisch geschat. In de laatste kolom van tabel 5 zijn de resultaten opgesomd. In fig. 8 zijn de gevonden lijnen in grafiek gezet voor zover ze op minstens 20 spectra betrekking hebben. Bovendien zijn in fig. 8 (met stippellijnen) een drietal nogal extreme gevallen weergegeven waarbij minder waarnemingen ter beschikking stonden.

6.3. Discussie van de gevonden Z-R-relatie.

Het resultaat (21) wijkt in geringe mate van (20) af en lijkt eigenlijk nog het beste op (18).

Gezien het feit dat bij de in de Bilt verrichte spectrum-metingen de zware regens (met grote druppels) wat slecht vertegenwoordigd zijn, is dit heel begrijpelijk.

Overigens zou (vgl. fig. 7) voor de waarnemingen met $R > 1$ mm/hr de relatie (20) uitstekend voldoen.

Bij opgaven van Z-R-relaties in de literatuur wordt vaak onderscheid gemaakt tussen onweersbuien, buiige neerslag en gelijkmatige regen. Het is de vraag of deze verschillen reeël zijn, dan wel veroorzaakt worden door de verschillende regenintensiteiten in elk van die klassen. Bij het onderhavige onderzoek kwam de categorie buiige neerslag te weinig voor, terwijl voor de categorie met onweer de regenintensiteiten slechts weinig hoger waren dan voor de andere regens.

Schattingen van B en β zijn de laatste jaren in diverse streken van de wereld verricht. Men doet wel pogingen om regionale verschillen in B en β te verklaren met grootheden als: gemiddelde relatieve vochtigheid in de bovenlucht e.d. (CATANEO 1969), zodat met dergelijke betrekkingen schattingen van B en β gedaan kunnen worden voor plaatsen waar geen metingen ter beschikking staan.

De waarden van B en β zoals die voor individuele regens te De Bilt zijn gevonden (tabel 5) blijken in het geheel niet systematisch afhankelijk van dergelijke meteorologische grootheden. Vermoedelijk zijn de variaties op één plaats voor wat betreft de omstandigheden tijdens regen te gering. Het is namelijk heel begrijpelijk, dat in streken (bijv. Arizona) waar de regen over een vrij grote afstand door een zeer droge laag moet vallen, zoveel kleine druppels verdampen dat B duidelijk groter wordt. Een andere afwijkende categorie vormen de orografische regens, waarbij systematisch smallere druppelspectra voorkomen (vgl. BEST, 1950).

Overigens lijkt het mogelijk dat regionale verschillen in Z-R-relaties voor een groot deel verklaard kunnen worden door klimatologische verschillen in optreden van diverse regenintensiteiten. Het zou daarom aanbeveling verdienen bij opgave van Z-R-relaties ook het bereik van regenintensiteiten op te geven waarop de schatting gebaseerd is.

7. Slot : representativiteit van de metingen.

Het voorgaande geeft een soort klimatologie van De Bilt voor regen-druppelspectra en de daaruit af te leiden grootheden. Van belang is, of de metingen voldoende representatief zijn voor de regens zoals die in De Bilt kunnen voorkomen en met name of alle regenintensiteiten voldoende vertegenwoordigd zijn.

Om dit na te gaan is met de in 4.3 genoemde pluviograaf gedurende enige jaren gemeten, waarbij is nagegaan hoeveel minuten per jaar bepaalde intensiteiten werden overschreden. Hetzelfde is gedaan voor de periodes dat regendruppelspectra werden gemeten. Zie tabel 6.

Tabel 6. Overschrijdingstijd in minuten per 6 maanden van de aangegeven intensiteiten, gemiddeld voor de jaren 1968, 1969 en 1970 alsmede de tijd dat de pluviograaf tijdens spectrum-metingen die intensiteiten overschreed.

(minuten)	> "trace"	> 1mm/hr	> 3mm/hr	> 12mm/hr	> 30mm/hr	> 100mm/hr
nov.t/m apr., totaal	19390	?	1374	54	5,6	0,3
id., tijdens spectr.-meting (in 7 mnd.)	1450 (7,5%)	476 (ca. 8,7%)	113 (8,2%)	3 (5,6%)	---	---
mei t/m okt., totaal	15670	?	2169	301	62,3	2,8
id., tijdens spectrum-meting	1977 (12,6%)	648 (ca. 10,5%)	186 (8,6%)	12 (4,0%)	---	---

Uit de percentages in tabel 6 blijkt dat alle intensiteiten tot ca. 10 mm/hr ongeveer even goed vertegenwoordigd zijn, afgezien van lage intensiteiten in de zomermaanden, die iets te veel in het waarnemingsmateriaal voorkomen. Totaal is ca. 10% gemeten van haast alle regens gedurende ruim een jaar, hetgeen een grote steekproef genoemd mag worden, vooral gezien de bewerkelijkheid van de metingen.

In verband met dit laatste is zeker een dankbetuiging op zijn plaats aan de assistenten van de afdelingen II en III van het K.N.M.I. die behulpzaam waren bij de waarnemingen en het uitmeten, tellen en numeriek verwerken van ca. 450.000 druppels.

Literatuur.

- BEST, A.C. (1950) The size distribution of raindrops
Quart J. Roy. Meteorol. Soc. 76 p. 16
- BOROVIKOV, A.M. et.al. (1967) Radar Measurement of Precipitation Rate
vertaling Jerusalem 1970
- CATANEO, R. (1969) A method for estimating rainfall rate-radar
reflectivity relationships
J. Appl. Met. 8 pp. 815-819
- CORNFORD, S.G. (1967) Sampling errors in measurements of raindrops
and cloud-droplet concentrations
Meteorol. Mag. 96 p. 271

- CORNFORD, S.G. (1968) Sampling errors in measurements of particle size distributions.
Meteorol. Mag. 97 p. 12
- GRUNOW, J. (1960) The structure of minute precipitation
Geophysical Monograph 5 of the Am. Geoph. Union, p. 104
- KELKAR, V.N. (1968) Size distribution of raindrops, part VI
Indian J. Met. and Geoph. 19 pp. 143-148
- KESSLER, E and K.E. WILK (1968) Radar measurement of precipitation for hydrological purposes
Reports on WMO/IHD Projects, Report no. 5
- MATVEEV L.T. (1965) Physics of the atmosphere (Fundamentals of General Meteorology)
vertaling Jerusalem 1967
- MUELLER, E.A. and SIMS, A.L. (1966) The influence of sampling volume on raindrop size spectra
Proc. 12th. Conf. on Radar Meteorology, Norman, Okla. pp. 135-141
- SIMPSON, M.H. (1967) Rain test procedures research, 2nd report
U.S. Army Frankford Arsenal, Philadelphia, Pa.
- SINCLAIR, D. (1947) Light scattering by spherical particles
J. Opt. Soc. Amer. 37 pp. 475-480
- TRABERT, W. (1901) Die Extinction des Lichtes in einem trüben Medium (Sehweite in Wolken)
Met. Zs. 18 pp. 518-524
- WESSELS, H.R.A. (1967) Druppelgroottemeter voor regen
K.N.M.I.-verslag V 197-VI

Bijlage : Tabel 3, Opsomming van de verrichte waarnemingen

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm
1968	3 jan.	14.50	10	255	0,0023	1,0	0,050	1,0	0,12	0,5
		15.00	10	185	0,0019	0,8	0,042	---	---	0,3
		15.10	10	118	0,0018	0,6	0,042	1,2	0,23	0,5
		15.20	10	91	0,0015	0,5	0,033	1,5	0,24	0,5
1968	5 jan.	14.25	4	408	0,92	60	247	2,6	1,29	1,9
		14.29	4	424	0,66	50	122	2,7	1,08	1,7
		14.33	4	523	0,80	55	269	2,2	1,25	2,3
1968	19 jan.	16.00	2	1151	0,046	21	1,17	0,8	0,09	0,5
		16.02	2	1685	0,052	29	1,42	---	---	0,3
		16.04	2	1111	0,038	20	0,96	---	---	0,3
		16.06	2	1420	0,048	25	1,25	---	---	0,3
		16.08	2	1540	0,055	27	1,38	---	---	0,3
		16.10	2	871	0,026	15	0,71	---	---	0,3
		16.12	2	1000	0,030	17	0,84	---	---	0,1
		16.14	2	520	0,015	9	0,42	---	---	0,1
		16.16	2	320	0,010	5	0,25	---	---	0,1
		16.18	2	370	0,011	6	0,29	---	---	0,1
		16.20	2	110	0,003	1,8	0,08	---	---	0,1
		16.22	2	390	0,012	6	0,33	---	---	0,1
		16.24	2	440	0,013	7	0,37	---	---	0,1
1968	9 febr.	13.50	15	240	0,05	4,4	4,7	2,7a	0,78	1,3
		14.05	10	411	0,10	11	11	2,7a	0,78	1,3
		14.15	10	495	0,36	23	122	2,3a	1,23	2,7
		14.25	10	514	0,37	26	106	2,5	1,20	2,3
		14.35	10	664	0,84	49	296	2,4	1,58	2,9
		14.45	10	719	0,79	47	373	2,2	1,50	2,9
		14.55	10	668	0,62	40	234	2,3	1,38	2,5
		15.05	10	940	0,41	35	62	2,6	0,97	1,7
1968	14 febr.	12.20	20	51	0,003	0,4	0,21	2,4	0,63	0,9
		12.40	20	211	0,013	1,6	0,80	2,3	0,63	0,9
		13.00	20	439	0,06	5,8	7,2	2,2	0,86	1,3
		13.20	20	202	0,012	1,5	0,78	2,1	0,59	1,1
		13.40	20	233	0,016	2,0	0,82	2,7	0,60	0,9
		14.00	20	348	0,007	1,4	0,25	1,7	0,41	0,7
		14.20	20	497	0,033	4,1	1,85	2,3a	0,63	0,9
		14.40	20	410	0,017	2,5	0,98	2,0	0,54	1,1
		15.30	20	240	0,003	0,8	0,07	1,8	0,32	0,5
		15.50	20	244	0,003	0,8	0,11	1,7	0,34	0,7
		16.10	20	301	0,005	1,1	0,16	1,8	0,36	0,7
		16.30	20	126	0,001	0,5	0,03	1,5	0,21	0,5

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm
1968	21 febr.	13.55	10	261	0,06	7	4,3	2,8a	0,70	1,1
		14.05	15	584	0,06	7	3,8	2,6c	0,63	1,1
		14.20	10	424	0,15	14	14,3	3,0	0,81	1,3
		14.30	5	421	0,38	33	45	3,0c	0,89	1,3
		14.35	5	373	0,31	27	39	2,7	0,91	1,5
		14.40	5	317	0,25	22	33	2,6a	0,90	1,5
		14.45	5	280	0,38	28	63	2,8	1,10	1,5
		14.50	5	298	0,34	26	54	2,6a	1,02	1,5
		14.55	5	322	0,37	31	50	3,0	0,97	1,7
		15.00	5	408	0,56	43	95	3,3	1,03	2,1
		15.05	5	360	0,51	41	74	2,7	1,00	1,7
		15.10	5	433	0,62	46	116	3,0	1,03	1,7
		15.15	5	415	0,42	35	61	2,8	0,98	1,5
		15.20	5	439	0,57	44	93	3,1	1,02	1,9
		15.25	5	452	0,48	43	55	3,6	0,90	1,5
1968	4 mtr.	10.40	30	319	0,04	3,4	8,5	2,3c	0,98	2,1
		11.10	30	356	0,14	9,0	36	3,1c	1,27	2,5
		11.40	30	361	0,06	5,1	7,4	3,3a	0,92	1,5
1968	11 mrt.	13.45	20	286	0,03	2,5	5,0	1,9a	0,94	1,7
		14.25	20	180	0,05	3,9	7,9	2,5	1,01	1,5
1968	20 mrt.	16.00	8	231	0,42	24	162	2,5	1,54	2,1
1968	21 mrt.	09.10	10	203	0,05	5,1	5,0	2,2a	0,81	1,1
		09.20	10	685	0,37	26	183	2,1	1,28	3,1
		09.30	10	564	0,08	9,1	9,6	2,0	0,66	1,7
		09.40	10	256	0,014	2,4	0,65	1,8	0,45	0,9
		09.50	40	299	0,02	1,7	3,0	1,8	0,90	1,5
		10.30	10	436	1,07	55	651	2,7	1,81	3,1
		10.40	10	746	1,83	132	942	3,0	1,72	3,3
		10.50	10	1208	1,19	75	371	2,9	1,34	2,3
		11.00	10	827	0,75	45	248	2,3a	1,41	2,1
		11.10	10	513	0,40	25	125	2,2a	1,37	2,1
		11.20	10	446	0,31	22	70	2,4a	1,14	1,9
		11.30	10	600	0,49	32	150	2,4a	1,30	2,1
		11.40	10	414	0,54	32	175	2,6	1,49	2,1
		11.50	10	439	0,60	34	221	2,7a	1,50	2,1
		12.00	10	404	0,38	25	97	2,8	1,25	2,5
		12.10	10	528	0,62	39	203	2,7	1,41	2,5
		12.20	10	562	0,99	58	336	3,2	1,48	2,3
		12.30	10	675	0,71	46	190	2,8	1,29	2,1
		12.40	10	421	0,29	22	56	3,0	1,10	2,1
		12.50	20	157	0,015	1,6	1,44	2,2	0,75	1,1
13.10	40	102	0,001	0,2	0,08	1,8	0,45	0,9		
13.50	10	390	0,27	20	43	3,1	1,05	1,7		

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin	duur	M	R	W	Z	v	x _a	x _g
		meting	meting							
		M.E.T.	min.			mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³	mm	mm
1968	21 mrt. vervolg	14.00	50	225	0,03	2,4	4,4	3,3	1,00	1,5
		14.50	40	129	0,04	2,5	25	2,5	1,65	2,5
1968	2 apr. I	11.50	5	583	1,07	67	345	2,5c	1,35	2,3
		11.55	5	607	0,74	53	159	2,5a	1,15	1,9
		12.00	5	197	0,009	2,3	0,22	1,3	0,31	0,5
		12.05	5	221	0,014	3,0	0,58	1,4	0,37	0,9
		12.10	5	938	0,04	9,8	1,2	1,2	0,26	0,9
		12.15	5	1542	1,02	87	156	2,2a	0,94	1,9
		12.20	5	1150	0,80	71	116	2,5c	0,93	2,1
		12.25	5	1194	0,13	22	6,0	1,7	0,46	0,9
		12.30	5	223	0,005	1,8	0,10	1,4	0,17	0,5
		12.35	5	485	0,09	11	10	1,3	0,67	1,3
		12.40	5	488	0,10	14	5,1	2,3	0,58	0,9
		12.45	5	387	0,09	11	6,5	2,1a	0,63	1,1
		12.50	20	57	0,003	0,4	0,14	1,6	0,70	0,7
		1968	2 apr. II	14.35	5	220	0,028	4,3	1,64	1,6
14.40	5			413	0,40	32	65	2,5a	1,01	1,7
14.45	5			414	0,98	60	351	2,5	1,46	2,3
14.50	5			151	0,057	6,1	4,9	2,2	0,75	1,1
14.55	10			86	0,030	2,7	3,2	2,7a	0,87	1,3
15.05	5			174	0,32	22	85	2,6	1,29	2,1
15.10	25			306	0,10	7,0	22	2,9	1,15	2,3
15.35	5			542	2,30	126	1290	2,9c	1,72	3,5
15.40	5			437	0,76	52	192	2,6a	1,29	2,1
15.45	5			449	1,16	71	385	2,9	1,40	2,3
15.50	5			452	0,94	63	240	2,9	1,25	2,1
15.55	5			291	0,75	45	272	2,7a	1,49	2,5
16.00	5			228	0,57	35	162	2,8	1,38	2,5
16.05	5			199	1,32	41	637	2,7a	1,73	3,5
16.10	5			159	0,23	17	43	3,1	1,14	1,5
16.15	30			477	0,12	8,5	36	2,7	1,15	2,3
16.45	5			268	0,75	44	290	2,7c	1,50	2,5
16.50	5			370	0,41	32	69	2,7c	1,05	1,7
16.55	10	126	0,09	6,9	12,6	3,5c	1,00	1,5		
1968	4 apr.	13.45	5	217	0,75	39	450	2,5b	1,83	2,5
		13.50	5	1027	5,49	272	3530	3,0	1,85	3,3
		13.55	5	464	1,03	53	575	2,3	1,65	3,1
		14.00	5	208	0,25	21	39	3,5	0,97	1,9
		14.05	20	138	0,023	2,2	2,0	3,3a	0,77	1,1
		15.10	5	679	2,66	151	1280	3,0	1,57	3,3
		15.15	5	1024	5,82	283	5700	2,5	2,09	3,9
		15.20	5	895	3,97	198	3830	2,3b	2,01	3,5
		15.25	5	641	1,89	108	1110	2,4b	4,64	3,1
		15.30	5	151	0,15	12,1	4,2	2,6b	1,05	2,1

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm
1968	4 apr.	15.35	5	152	0,13	11	2,2	2,5	1,00	1,5
		15.40	5	935	1,68	118	376	3,0b	1,17	2,1
	vervolg	15,45	5	195	0,06	7,9	4,6	2,9	0,65	1,3
		15.50	5	220	0,42	27	126	2,5	1,31	2,1
		15.55	5	480	0,61	50	80	3,8	0,98	1,7
		16.00	5	543	0,48	43	57	3,6	0,85	1,9
		16.05	5	166	0,08	8,5	5,8	3,5	0,71	1,1
		16.10	10	250	0,11	9,8	12,2	3,2	0,88	1,3
		16.20	5	376	0,39	33	49	3,3	0,94	1,5
		16.25	5	271	0,09	10	6,9	2,9	0,67	1,3
		16.30	5	422	0,30	28	28	3,2	0,82	1,3
		16.35	5	219	0,16	15	17	3,5	0,85	1,3
		16.40	5	312	0,57	39	169	2,7b	1,20	2,3
		16.45	5	321	0,36	28	44	3,5	0,92	1,5
		16.50	5	162	0,13	10	23	2,2c	1,03	1,5
		16,55	5	212	0,39	28	77	3,4	1,14	1,9
		17.00	5	1061	2,17	144	605	2,7	1,25	2,3
17.05	5	869	2,53	145	1270	2,5b	1,57	2,7		
1968	22 apr.	09.34	10	493	0,63	40	201	3,0	1,38	2,5
		09.44	10	293	0,10	10	8,2	3,6	0,78	1,1
	10.08	10	380	0,19	17	22	3,5	0,90	1,5	
	10.18	10	352	0,27	20	46	3,3c	1,08	1,9	
1968	23 apr.	13.20	5	898	1,36	96	303	2,8	1,15	2,1
		13.25	5	377	0,30	26	31	3,4a	0,86	1,3
		13.30	5	412	0,62	46	99	3,7c	1,05	1,9
		13.35	5	647	1,70	104	530	3,2	1,39	2,3
		13.40	5	1004	2,60	157	1130	2,9c	1,46	3,3
		13.45	5	625	0,95	70	165	3,3c	1,08	2,1
		13.50	5	374	0,40	35	49	3,6	0,93	1,5
		13.55	5	813	1,31	98	208	3,6c	1,10	1,9
		14.00	5	916	1,28	103	160	4,1	0,99	1,5
		14.05	5	784	0,82	71	83	4,1c	0,85	1,3
		14.10	5	632	0,69	59	72	4,4c	0,88	1,3
		14.15	5	675	0,58	52	66	3,3	0,86	1,3
		14.20	5	427	0,34	31	35	3,5	0,85	1,3
		14.25	5	350	0,20	20	17	3,3	0,78	1,1
		14.30	10	1177	0,90	71	124	4,3	0,98	1,9
		14.40	5	389	0,20	21	16	3,3	0,74	1,3
		14.45	5	387	0,34	31	33	3,6	0,83	1,3
		14.50	5	602	0,61	52	66	3,8	0,86	1,3
		14.55	5	714	1,15	91	141	4,7	0,97	1,5
15.00	5	612	1,15	86	171	4,5	1,07	1,7		
15.05	5	391	0,58	47	70	4,5	0,96	1,5		
15.10	5	662	0,98	77	133	4,0	1,00	1,5		
15.15	5	773	1,07	86	135	4,2	0,98	1,7		

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin	duur	M	R	W	Z	v	x _a	x _g
		meting	meting							
		M.E.T.	min.			mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³	mm	mm
1968	23 apr. vervolg	15.20	5	773	1,11	88	155	3,9	1,00	1,5
		15.25	5	997	1,78	133	281	3,7c	1,08	1,9
		15.30	5	949	0,90	78	98	3,5c	0,89	1,5
		15.35	5	804	0,98	82	113	3,8	0,95	1,7
		15.40	5	641	0,64	56	74	3,5	0,90	1,7
		15.45	5	486	0,68	49	166	2,9c	1,13	2,1
		15.50	5	637	0,95	68	230	2,8	1,17	2,3
		15.55	5	737	1,41	90	520	2,5	1,36	2,5
		16.00	5	769	2,20	125	1540	2,3b	1,66	3,1
		16.05	5	843	2,30	133	1327	2,4	1,60	3,3
		16.18	10	1615	1,12	84	202	3,0	1,10	2,1
1968	24 apr.	13.43	15	340	0,32	20	94	3,1	1,40	2,3
1968	29 apr.	12.03	4	401	0,49	43	50	4,0a	0,86	1,3
		12.07	4	144	0,09	10	6	3,4	0,72	0,9
		12.30	10	188	0,08	7,2	8,6	3,6	0,84	1,5
		12.40	10	179	0,21	15	54	2,9	1,30	1,9
		12.50	10	419	0,56	35	160	3,2	1,34	2,1
		13.00	10	285	0,18	13	40	2,5c	1,15	1,9
		13.10	10	111	0,030	2,5	4,0	2,5a	0,92	1,3
1968	7 mei	08.59	5	213	0,04	4,7	3,0	1,5	0,62	1,1
		09.04	5	250	0,05	7,4	2,5	2,7	0,56	0,9
		09.38	5	422	2,96	141	2200	2,9	2,00	3,1
		09.43	5	732	6,05	284	5400	2,9	2,10	3,5
		09.48	5	781	3,35	181	1950	2,8	1,70	3,5
		09.53	10	478	0,24	20	37	3,2	0,93	2,1
		10.03	5	1332	1,97	150	340	3,3b	1,08	2,1
		10.08	20	401	0,13	10	29	3,1b	1,07	1,9
		10.28	10	850	0,19	20	16	2,8	0,72	1,5
		10.38	10	1059	0,44	39	53	3,2	0,87	1,5
		10.52	5	893	1,51	108	340	3,0	1,17	2,1
		10.57	5	732	0,90	80	117	3,2c	1,04	1,7
		11.02	5	565	0,43	40	43	3,1c	0,84	1,5
1968	13 mei	14.33	7	466	1,04	53	755	2,2b	1,98	2,9
		15.56	6	704	0,30	27	42	2,2	0,90	1,5
		16.02	8	975	1,01	67	380	2,3	1,23	2,1
		16.11	7	524	0,28	24	32	2,9c	0,90	1,5
		16.23	5	233	0,17	17	15	3,7a	0,81	1,1

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g		
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm		
1968	15 mei	08.13	15	305	0,09	7,9	14	2,9c	0,93	1,7		
		09.55	10	703	0,19	19	19	2,7	0,80	1,3		
		10.05	5	765	0,35	34	35	2,6	0,82	1,3		
		10.10	5	742	0,39	38	40	2,6a	0,82	1,3		
		10.15	5	1121	0,54	46	82	2,2a	0,96	1,5		
		10.20	5	430	0,09	11	10	1,8a	0,74	1,3		
		10.25	10	594	0,18	15	34	2,1	1,00	1,9		
1968	17 mei	12.10	6	211	0,60	37	175	3,5	1,39	2,1		
		14.14	3	252	0,49	42	51	4,4	0,88	1,3		
		14.17	3	439	4,69	235	3300	3,0	1,94	3,7		
		14.20	3	125	0,60	38	194	3,3	1,35	2,1		
		15.05	14	321	0,17	12	22	3,6	0,98	1,5		
1968	6 juni	11.00	10	192	0,006	1,3	0,21	1,5	0,39	0,7		
		11.10	9	581	0,06	10	2,5	2,6	0,54	0,9		
		11.19	6	737	0,43	37	62	2,5c	0,94	1,7		
		11.25	5	924	1,28	84	445	2,8	1,25	2,1		
		11.30	5	879	0,65	55	110	2,4	0,97	1,9		
		11.35	5	522	0,29	28	29	2,6	0,82	1,3		
		11.40	6	464	0,13	16	8,8	2,7	0,66	1,1		
		11.46	14	508	0,005	1,5	0,21	2,7	0,13	0,9		
				12.50	10	270	0,024	3,5	1,1	2,9	0,52	0,9
				13.00	10	491	0,08	9,3	6,3	2,8	0,65	1,1
				13.10	5	274	0,15	15	17	2,9	0,81	1,5
				13.15	5	308	0,31	26	37	3,3a	0,91	1,3
				13.20	5	283	0,18	18	16	3,2c	0,80	1,3
				13.25	5	455	0,28	25	66	1,9c	0,99	1,9
				13.30	5	815	1,14	79	260	2,6c	1,16	2,1
				13.35	5	719	0,84	63	176	2,6	1,08	1,9
				13.40	5	401	0,38	33	48	3,3	0,91	1,5
				13.45	5	349	0,43	32	89	2,7	1,07	2,1
				13.50	5	459	0,40	33	63	2,6	0,96	1,7
				13.55	5	480	0,37	32	51	2,6	0,92	1,7
				14.00	4	727	1,21	88	260	2,7	1,13	2,3
				14.04	1	250	8,34	402	6000	2,9	1,98	3,1
				14.05	1	176	8,95	393	11.700	2,8c	2,38	3,5
				14.06	4	813	2,29	142	730	2,7	1,32	2,5
				14.10	5	1102	3,81	206	2110	2,6	1,72	2,9
				14.15	5	1059	2,10	132	626	2,6c	1,33	2,5
				14.20	5	921	1,90	118	620	2,6c	1,38	2,5
				14.25	5	905	1,70	108	525	2,6	1,35	2,3
				14.30	5	937	2,22	128	1160	2,4	1,54	3,5
				14.35	5	973	2,72	148	1660	2,3	1,64	3,3

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm
1968	6 juni vervolg	14.40	5	986	1,67	111	450	2,6	1,25	2,3
		14.45	5	658	0,90	64	210	2,5	1,17	1,9
		14.50	5	465	0,41	34	57	2,6c	0,97	1,7
		14.55	5	539	0,64	45	224	2,2c	1,22	2,7
		15.00	5	499	0,72	51	154	2,9	1,15	1,9
		15.05	5	505	0,52	39	108	2,3	1,09	1,9
		15.10	5	464	0,44	35	71	2,7	0,99	1,9
		15.15	5	584	0,72	54	114	2,9a	1,06	1,5
		15.20	5	757	1,14	78	300	2,7	1,22	2,5
		15.25	5	865	1,25	88	322	2,5	1,24	2,1
		15.30	5	686	0,70	55	117	2,8	1,03	1,7
		15.35	5	878	1,39	90	606	2,4	1,32	3,3
		15.40	5	1272	2,06	115	790	2,1	1,43	2,5
		15.45	5	1119	2,06	112	1100	2,2	1,50	3,5
		15.50	5	788	1,02	72	242	2,5	1,20	2,1
		15.55	5	640	0,50	41	77	2,5c	0,99	1,7
		16.00	10	1133	0,56	41	93	2,6	1,04	1,9
		16.10	10	935	0,40	33	56	2,8c	0,98	1,7
		16.20	10	744	0,20	20	21	2,7	0,82	1,5
		16.30	10	614	0,16	16	14	3,0a	0,78	1,3
16.40	10	820	0,25	23	20	3,1	0,80	1,3		
16.50	10	535	0,10	11	7,6	3,0	0,72	1,1		
17.00	10	347	0,11	10	11	3,0	0,84	1,3		
1968	17 juni	11.14	1	175	3,10	160	2050	2,5c	1,91	2,9
		11.15	1	275	4,08	208	2490	2,3	1,90	2,5
		11.16	1	463	10,7	513	8900	2,6	2,08	3,5
		11.17	1	512	10,4	495	10400	2,4	2,17	3,7
		11.23	1	799	19,6	966	14800	2,7	2,03	3,5
		11.24	1	760	16,1	781	17200	2,3	2,13	3,9
		11.25	1	847	11,0	588	8970	2,3	1,78	2,9
		11.26	1	915	15,6	762	15400	2,3	2,12	3,5
		11.27	1	997	15,9	780	12600	2,5	2,00	3,3
		11.28	1	1208	14,9	744	12050	2,3a	1,97	3,5
		11.29	1	1099	14,5	688	26200	1,7	2,30	4,7
		11.30	1	1622	28,7	1304	37300	2,0b	2,40	4,3
		11.31	1	2046	33,8	1440	50800	2,2b	2,54	4,3
		11.32	1	1457	17,0	821	17600	2,2	2,12	3,7
		11.33	1	902	8,4	485	3100	3,0a	1,53	2,3
		11.34	1	455	5,41	322	1700	3,6a	1,43	2,1
		11.35	1	290	2,25	156	408	4,3a	1,15	1,7
		11.36	1	207	1,23	93	192	3,2	1,05	1,5
		11.37	1	197	2,35	146	810	2,8c	1,44	2,1
		11.38	1	199	1,30	92	257	2,9	1,15	1,5
11.39	1	232	1,68	110	511	2,9	1,30	2,3		
11.40	1	231	3,63	195	2060	2,3c	1,93	2,3		
11.41	1	104	2,08	108	1860	2,6	1,81	3,3		

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g		
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm		
1968	17 juni vervolg	11.42	1	278	2,55	163	730	3,0	1,34	2,1		
		11.43	1	200	2,66	106	493	3,1	1,37	2,1		
		11.44	1	242	2,03	129	538	3,0a	1,30	1,9		
		11.45	1	267	3,11	190	1280	2,7c	1,51	2,1		
		11.46	1	278	2,78	178	860	2,8	1,36	2,1		
		11.47	1	249	1,59	112	327	3,1c	1,10	1,9		
		11.48	1	227	1,47	104	316	2,9	1,10	1,9		
		11.49	1	119	0,61	51	68	2,3a	0,96	1,1		
		11.50	1	132	0,36	34	32	2,7a	0,88	1,1		
		11.51	1	80	0,08	10	6,8	1,9	0,65	1,1		
		11.52	1	66	0,014	3,6	0,33	1,2	0,30	0,5		
		11.53	1	50	0,014	3,1	0,42	0,5	0,50	0,5		
				12.21	5	92	0,17	12	26	4,6a	1,17	1,5
				12.26	4	101	0,10	10	10	4,0	0,84	1,1
1968	25 juni	08.12	17	729	0,23	19	31	3,4	0,95	1,5		
		08.29	30	1038	0,19	16	30	2,9	1,00	1,9		
		08.59	9	728	0,59	43	108	3,3	1,10	1,7		
		09.08	24	1559	0,25	30	42	3,0	0,91	1,5		
		09.32	7	759	0,64	50	137	2,9	1,10	1,9		
		09.39	30	1201	0,16	14	17	3,3	0,87	1,3		
1968	10 juli	08.11	9	948	1,01	65	280	2,7	1,29	2,3		
		08.20	5	713	2,05	114	910	3,0a	1,62	2,7		
		08.25	5	1309	3,57	183	1390	3,1a	1,55	2,3		
		08.30	5	1488	4,05	243	1180	3,5c	1,38	2,1		
		08.35	10	1809	1,84	108	720	2,7a	1,53	2,5		
		08.45	10	1367	1,17	78	310	2,9c	1,24	2,9		
		08.55	5	2203	6,04	312	3840	2,5c	1,88	3,5		
		09.00	5	2497	6,54	350	3520	2,7c	1,74	3,3		
		09.05	5	2207	5,70	316	2700	2,8c	1,60	3,1		
		09.10	5	2481	7,88	420	3860	2,7a	1,74	2,9		
		09.15	5	2345	6,20	339	3320	2,5	1,74	3,5		
		09.20	5	1838	7,13	350	5180	2,8	1,96	3,5		
		09.25	5	1605	3,63	195	1950	2,8a	1,76	2,9		
		09.30	10	1775	1,79	102	840	2,5	1,55	2,9		
		09.40	10	2283	2,34	79	1290	2,4	1,62	3,3		
		09.50	5	1456	3,90	193	3840	2,5	1,96	4,5		
		09.55	5	1882	3,34	195	1260	2,8a	1,53	2,3		
				10.05	5	1719	5,50	301	2760	2,7	1,60	2,9
				10.10	5	2352	4,92	260	3190	2,6a	1,81	3,1
				10.15	5	2226	6,15	310	3980	2,8a	1,95	3,1
		10.20	5	1328	5,99	287	4400	2,7a	1,98	3,1		
		10.25	7	1027	0,91	63	223	2,6	1,25	2,1		

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm
1968	22 juli	14.05	10	2681	0,29	32	31	2,3a	0,74	1,5
		14.15	11	2857	0,25	34	16	2,3	0,59	1,3
		14.26	9	2876	1,60	112	424	2,2c	1,23	2,7
		14.35	10	1677	0,59	55	65	2,8	0,86	1,5
		14.45	5	1584	2,97	207	578	3,2	1,18	2,1
		14.50	5	1485	2,61	183	505	3,2c	1,13	1,9
		14.55	5	1495	3,11	205	674	3,1c	1,24	1,9
		15.00	5	1931	2,76	187	652	3,0a	1,20	2,1
		15.05	5	1928	1,89	125	689	2,2a	1,26	2,7
		15.10	5	1723	2,53	162	968	2,2	1,37	2,7
		15.15	10	2444	1,07	92	133	3,0c	0,94	1,9
		15.25	10	2627	1,37	116	152	3,1b	0,90	1,7
		15.35	14	2289	0,20	27	11	2,8	0,58	1,1
		15.49	5	1596	3,87	223	1853	2,4	1,53	3,1
		15.54	6	1014	0,45	42	50	2,5	0,83	1,5
1968	13 aug.	14.53	3	758	0,83	79	75	3,2a	0,79	1,3
		14.57	4	250	0,76	45	263	2,7	1,46	2,1
1968	14 aug.	14.22	5	443	0,38	33	40	3,5a	0,87	1,3
		14.27	2	427	2,33	155	501	3,6	1,22	1,9
		14.29	2	298	0,42	41	43	2,9	0,80	1,3
		14.31	4	1000	2,84	178	916	2,8c	1,39	2,9
		14.35	4	700	0,19	25	10	2,7a	0,60	0,9
		14.51	3	1158	2,62	196	427	3,1c	1,05	1,7
		14.54	2	751	7,91	422	3565	2,9c	1,64	2,5
		14.56	3	394	0,22	26	14	3,4a	0,66	1,1
		15.14	2	157	0,40	36	35	4,6a	0,86	1,1
		15.26	1	369	1,24	110	143	3,0a	0,87	1,3
		15.32	9	1855	0,23	27	16	1,8a	0,75	0,9
1968	29 aug.	08.32	8	473	0,25	19	41	2,6a	1,04	1,5
		08.40	10	452	0,68	41	189	3,6a	1,37	1,9
		08.50	5	606	2,76	135	2225	2,4	2,06	3,1
		08.55	5	1014	10,33	450	12465	2,8	2,40	4,1
		09.00	5	1314	9,53	440	10059	2,7	2,20	4,3
		09.05	5	1090	13,31	590	14553	3,1	2,37	4,3
		09.10	5	1497	6,61	348	4301	2,8	1,75	4,1
		09.15	5	1252	4,65	255	3220	2,7b	1,72	3,3
		09.20	5	1913	8,10	437	4401	2,9c	1,69	3,3
		09.25	5	2095	6,44	354	3187	2,5	1,65	3,1
		09.30	5	2487	7,21	386	3977	2,3	1,70	3,1
		09.35	5	2186	4,25	284	1254	2,7c	1,30	2,3

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g		
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm		
1968	18 sept.	08.32	5	481	0,57	47	68	3,9a	0,94	1,7		
		08.37	5	408	0,05	7,6	2,5	1,9	0,49	1,1		
		08.42	2	250	1,37	80	482	2,9c	1,50	2,1		
		08.44	7	289	0,05	6,2	3,3	2,1	0,66	0,9		
		08.51	5	308	0,69	40	356	2,2	1,62	2,7		
		08.56	3	287	0,15	16	12	2,8a	0,72	1,1		
		09.06	7	458	0,31	24	62	2,3c	1,02	1,9		
		09.24	4	1066	2,34	169	384	3,8c	1,05	1,9		
		09.28	3	932	4,05	262	875	3,7c	1,21	1,9		
		09.31	4	625	0,50	49	43	3,1a	0,82	1,1		
		09.35	3	776	2,89	174	432	2,3c	1,41	3,3		
		09.38	3	174	0,08	9,6	4,5	2,5a	0,66	0,9		
		1968	20 sept.	08.11	3	914	0,17	26	12	1,6b	0,54	1,1
				08.14	3	1303	1,57	127	239	2,6c	0,96	1,7
08.17	5			1451	0,46	47	61	1,9c	0,78	1,7		
08.22	9			592	0,01	3,6	0,5	1,2	0,29	0,7		
08.45	5			379	0,16	16	14	2,6a	0,78	1,1		
08.50	4			803	0,77	63	101	3,5a	0,95	1,5		
1968	23 sept.	16.10	2	1062	12,51	652	737	2,6	1,83	3,5		
		16.12	3	395	1,28	88	358	2,9	1,28	2,3		
		16.15	3	1073	3,78	243	1009	2,7	1,33	2,1		
		16.18	3	436	1,56	99	525	2,7	1,38	2,3		
		16.21	4	435	1,32	73	619	2,6	1,70	2,3		
1968	24 sept.	08.21	9	915	0,53	42	80	3,0	1,03	1,9		
		08.30	7	521	0,92	52	466	2,5	1,65	2,9		
1968	26 sept.	08.41	1	100	0,23	26	14	3,6	0,68	0,9		
		08.52	10	285	0,03	4,4	1,7	2,6	0,57	0,9		
		09.02	8	250	0,12	10	13	3,2a	0,90	1,3		
		09.10	6	290	0,30	22	62	3,1	1,10	2,1		
		09.16	9	913	0,78	56	126	4,0a	1,10	1,7		
		09.25	8	459	0,39	28	73	3,3a	1,12	1,9		
		09.33	7	170	0,28	19	50	4,5a	1,16	1,7		
		09.40	10	635	0,73	49	132	5,5a	1,19	1,7		
		09.50	10	416	0,52	35	109	4,0c	1,20	2,1		
		10.00	10	1284	0,91	65	164	3,6c	1,12	1,9		
		10.10	10	1335	0,87	67	115	4,5a	1,00	1,5		
		10.20	10	1934	1,04	82	147	3,7a	1,03	1,7		
		10.30	10	1269	0,30	31	24	3,2a	0,76	1,1		
		10.40	12	1634	0,17	21	12	2,0	0,68	0,9		
10.52	7	696	0,73	48	184	2,7c	1,22	1,9				

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm
1968	26 sept. vervolg	10.59	6	1954	3,55	215	1434	2,4	1,45	2,9
		11.05	12	2459	1,84	116	585	2,6	1,38	2,3
		11.17	8	1508	1,12	81	224	2,9c	1,13	1,9
		11.25	7	1444	3,00	177	1157	2,7	1,47	2,5
		11.32	8	2240	2,04	147	350	3,7a	1,08	1,7
		11.40	10	2609	1,64	122	260	3,9a	1,05	1,7
		11.50	10	2386	1,85	132	322	3,7a	1,09	1,7
		12.00	10	2765	1,86	131	361	3,7a	1,16	1,9
		12.10	10	2649	1,79	126	340	3,6a	1,15	2,1
		12.20	4	2889	2,78	208	485	3,5a	1,08	1,9
		12.24	6	1616	1,88	131	366	3,3a	1,15	1,7
		12.30	10	1311	1,00	69	200	3,7a	1,17	1,9
		12.40	10	1490	1,10	179	190	4,0c	1,12	2,1
		12.50	10	1466	0,95	70	155	4,0a	1,06	1,7
		13.00	10	1126	0,86	61	158	3,6a	1,16	1,7
		13.10	10	1597	1,65	104	521	2,8c	1,32	2,9
		13.20	10	1465	1,11	76	266	3,1c	1,14	2,5
		13.30	10	1646	1,67	108	484	2,9	1,28	2,3
		13.40	10	1863	2,07	126	789	2,8	1,38	2,9
		13.50	10	1778	1,33	88	351	2,9c	1,27	2,3
14.00	10	1039	0,93	62	229	3,1c	1,20	2,3		
1968	1 okt. I	11.47	19	461	0,23	17	45	3,7	1,10	2,1
		12.06	8	553	0,51	40	67	4,7	0,98	1,5
		12.14	10	466	0,19	18	21	3,4	0,84	1,5
		12.24	12	778	0,42	34	58	3,6	0,98	1,5
		12.36	12	768	0,37	30	50	3,6	0,97	1,5
		12.48	12	732	0,29	26	31	3,6	0,88	1,5
1968	1 okt. II	14.32	9	1786	1,05	85	169	2,8	0,99	2,1
		14.41	9	2052	1,73	123	381	2,7	1,17	2,1
		14.50	10	1185	0,85	64	150	3,1	1,07	1,9
		15.00	10	1186	0,65	56	76	3,7	0,91	1,5
		15.10	16	2256	0,77	65	91	3,7	0,91	1,5
		15.26	14	1025	0,15	17	10	3,1	0,67	1,1
		15.40	10	757	0,22	22	24	2,8c	0,79	1,7
		15.50	10	876	0,39	33	52	2,9a	0,95	1,5
		16.00	10	1350	0,43	42	38	3,1a	0,81	1,1
		16.10	10	1815	1,03	84	139	3,4	0,95	1,9
		16.20	10	951	0,25	27	19	3,2	0,75	1,1
		16.30	10	766	0,29	28	24	3,8	0,80	1,3
16.40	10	873	0,21	24	14	3,8	0,70	1,1		

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm
1968	2 okt.	08.10	8	1683	1,55	111	287	3,2a	1,10	1,7
		08.18	8	617	0,64	50	80	5,2a	0,98	1,3
		08.26	9	891	1,01	67	196	5,2a	1,18	1,9
		08.35	7	975	1,08	82	152	4,4	1,02	1,9
		08.42	3	590	2,52	159	739	3,1	1,33	2,1
		08.45	5	954	1,51	108	257	3,6	1,11	1,7
		08.50	7	1033	1,32	98	217	3,8	1,05	1,9
		08.57	12	1605	0,34	35	29	3,1	0,74	1,3
		09.09	11	2569	0,91	74	194	2,1	1,03	2,1
		09.20	10	3220	1,22	96	255	2,3a	1,08	2,3
		09.30	10	1568	0,86	65	148	2,9a	1,06	2,1
		09.40	10	786	0,57	46	69	4,4	0,97	1,3
		09.50	7	496	0,25	25	20	4,7	0,78	1,3
				10.14	16	1301	1,08	71	231	4,0
		10.30	11	1609	2,33	140	785	3,2	1,43	2,7
		10.41	9	784	0,75	55	126	3,7	1,09	1,7
		10.50	17	684	0,27	21	32	4,1a	0,98	1,3
1969	15 jan.	08.37	13	1218	0,43	38	52	3,3	0,92	1,5
		08.50	13	1250	0,34	33	32	3,3	0,82	1,5
1969	16 jan.	14.26	20	378	0,05	3,9	1,1	1,5	1,08	1,7
		14.46	44	95	0,02	1,6	4,8	3,6a	1,21	1,7
		15.30	20	228	0,07	5,4	11	3,7c	1,10	1,7
		15.50	20	511	0,20	14	35	3,3	1,08	1,7
		16.10	9	379	0,11	11	9	2,9	0,76	1,3
		16.19	11	906	0,63	48	95	3,6	1,04	1,5
1969	22 jan. I	10.54	16	91	0,03	2,6	5,6	2,8b	1,03	1,5
		11.10	10	110	0,05	3,8	6,2	2,9	0,93	1,5
		11.20	20	817	0,53	34	154	2,9c	1,33	2,3
		11.40	20	628	0,32	21	99	2,8b	1,27	2,5
		12.00	10	113	0,12	8,4	19	4,6c	1,09	1,5
		12.30	20	83	0,14	6,4	121	2,4b	2,40	1,7

Tabel 3, vervolg

jaar	datum	begin meting	duur meting	M	R	W	Z	v	x _a	x _g		
		M.E.T.	min.		mm/hr	mg/m ³	mm ⁶ /m ³		mm	mm		
1969	22 jan. II	15.20	5	863	1,61	112	360	3,4	1,16	2,3		
		15.25	5	1517	1,98	134	828	2,3b	1,26	3,3		
		15.30	5	903	2,01	115	961	2,3c	1,63	2,7		
		15.35	5	1421	4,77	268	2661	2,4	1,60	3,3		
		15.40	5	1585	6,26	327	4651	2,3	1,83	3,5		
		15.45	5	1222	5,12	259	4153	2,3	2,00	3,7		
		15.50	5	1373	5,70	284	4737	2,2	2,05	3,3		
		15.55	5	1589	6,65	320	7371	2,1	2,12	3,9		
		16.00	10	2359	3,35	191	1521	2,6	1,57	2,7		
		16.10	5	1009	3,40	187	1728	2,6	1,71	2,9		
		16.15	5	735	2,86	151	2728	2,7	1,68	4,3		
		16.20	10	1648	2,14	125	894	2,5	1,52	2,7		
		16.30	10	1592	2,25	128	1065	2,4	1,57	2,9		
		16.40	10	1355	1,65	101	753	2,5	1,41	3,7		
		1969	20 febr.	13.17	20	1818	0,43	33	96	2,2	1,06	2,3
				13.37	20	1372	0,47	32	158	2,2	1,26	2,5
13.57	6			868	1,78	110	655	2,8	1,37	3,1		
14.03	9			1608	4,54	230	4303	2,5	1,85	4,3		
14.12	4			947	2,97	187	899	2,9	1,34	2,3		
14.16	14			301	0,37	21	120	3,4	1,47	2,3		
1969	13 mrt.	08.53	17	2382	4,64	220	3318	3,8a	2,04	3,3		
		09.10	10	1398	4,43	218	2364	5,1a	1,87	2,5		
		09.20	20	1412	1,86	96	892	4,2a	1,71	3,3		
		09.40	20	1578	1,08	67	284	3,8	1,34	2,1		
		10.00	17	2559	1,60	101	461	3,2a	1,39	2,1		
		10.17	6	2233	6,05	338	2480	3,1a	1,66	2,3		
		10.23	17	2969	2,90	165	1005	4,0a	1,55	2,3		
		10.40	20	2470	2,55	144	881	4,4a	1,53	2,3		
		11.00	20	2741	2,45	140	873	3,4	1,50	2,3		
		11.20	10	1745	3,21	178	1330	3,5a	1,61	2,5		
		11.30	10	1363	3,21	169	1492	3,8a	1,74	2,7		
		11.40	10	1866	2,37	226	1962	3,6	1,70	2,9		
		11.50	10	1536	2,58	146	999	3,5	1,56	2,7		
		12.00	10	1631	2,75	157	1142	3,1	1,55	3,1		
		12.20	10	1471	2,00	123	561	3,5	1,38	2,1		
		12.30	8	993	1,83	105	907	2,6	1,58	3,3		
		12.38	10	358	0,04	5,8	2,2	2,7	0,58	1,1		
		12.48	5	1271	5,12	264	3419	2,7	1,80	3,3		
		12.53	7	1738	2,09	142	529	2,7	1,20	2,3		
		13.00	7	2476	3,21	213	1115	2,5	1,25	3,3		
		13.07	9	2617	1,12	105	106	3,8	0,82	1,5		
		13.16	9	966	0,24	26	19	2,9	0,73	1,3		
		13.25	5	1691	1,16	84	318	2,2c	1,23	2,3		
		13.30	10	5628	0,36	62	16	2,1	0,46	1,1		

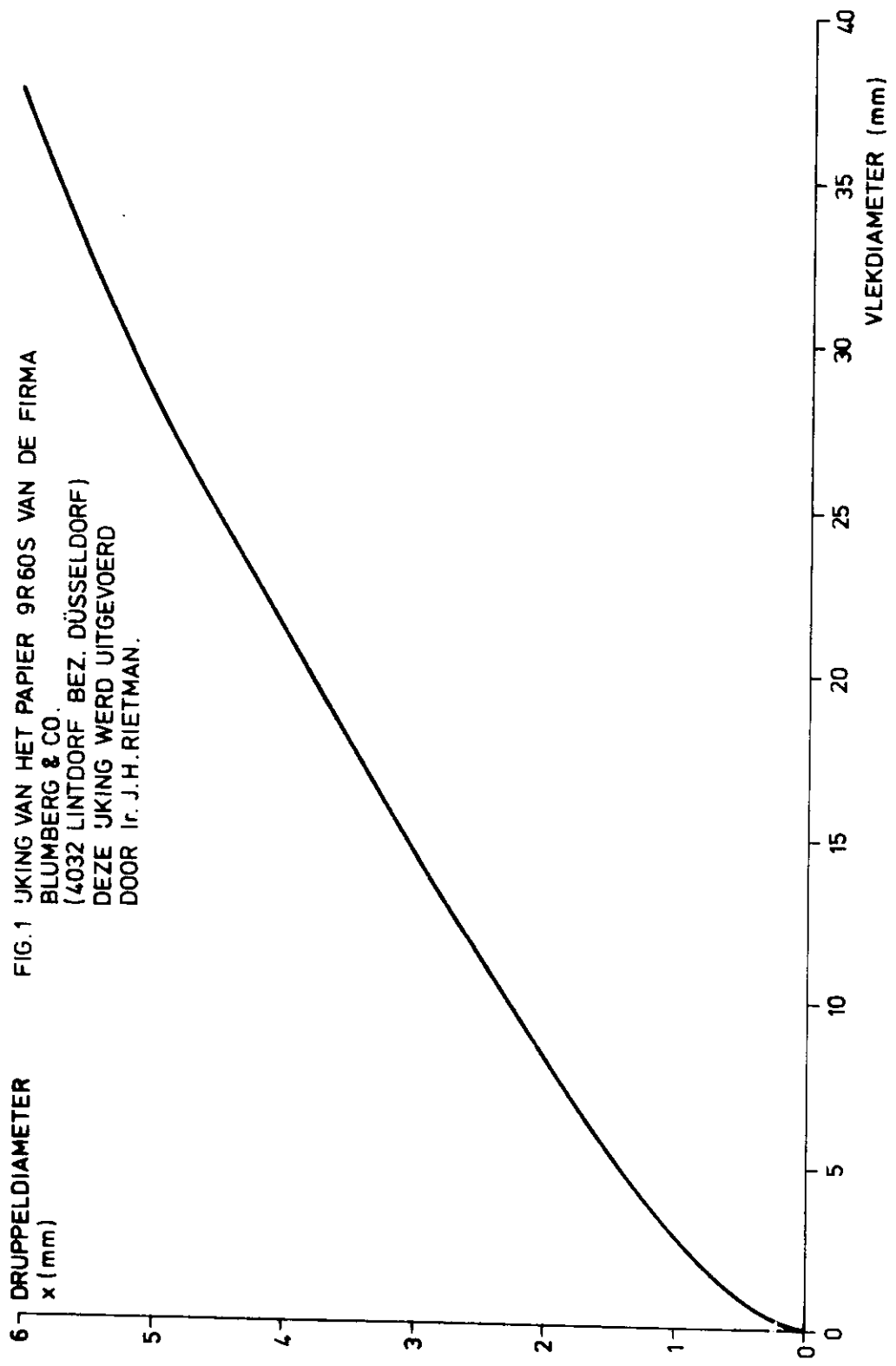
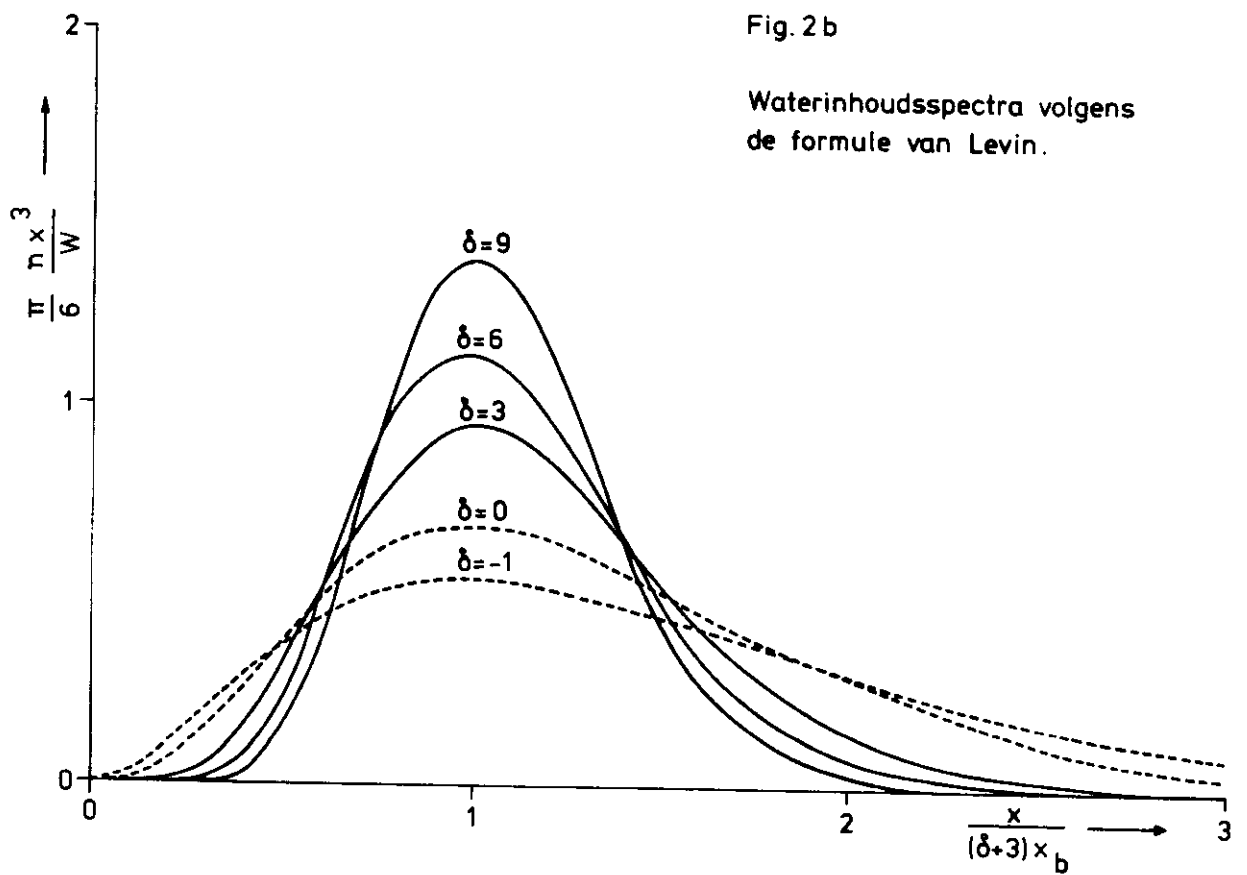
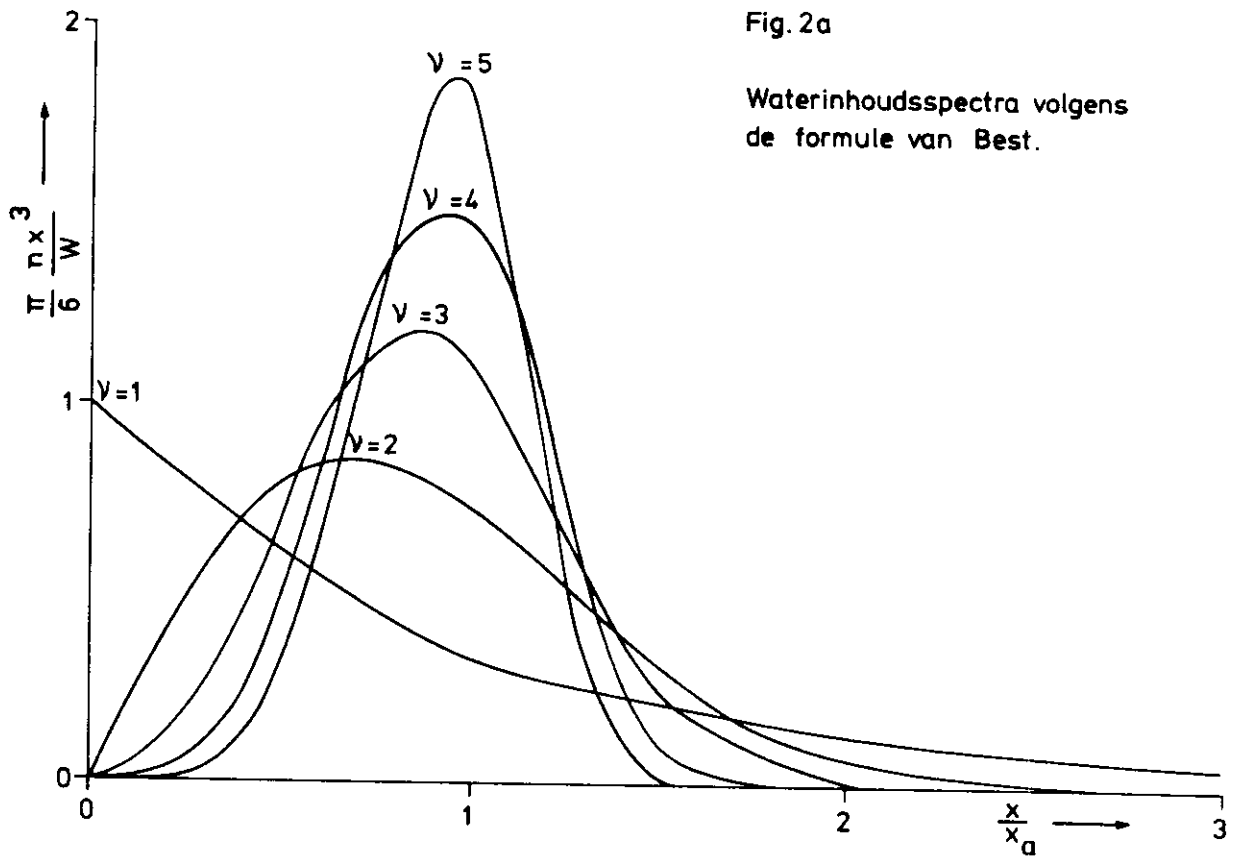


FIG. 1 JKING VAN HET PAPIER 9R60S VAN DE FIRMA
 BLUMBERG & CO.
 (4032 LINTDOORF BEZ. DÜSSELDORF)
 DEZE JKING WERD UITGEVOERD
 DOOR Ir. J.H. RIETMAN.



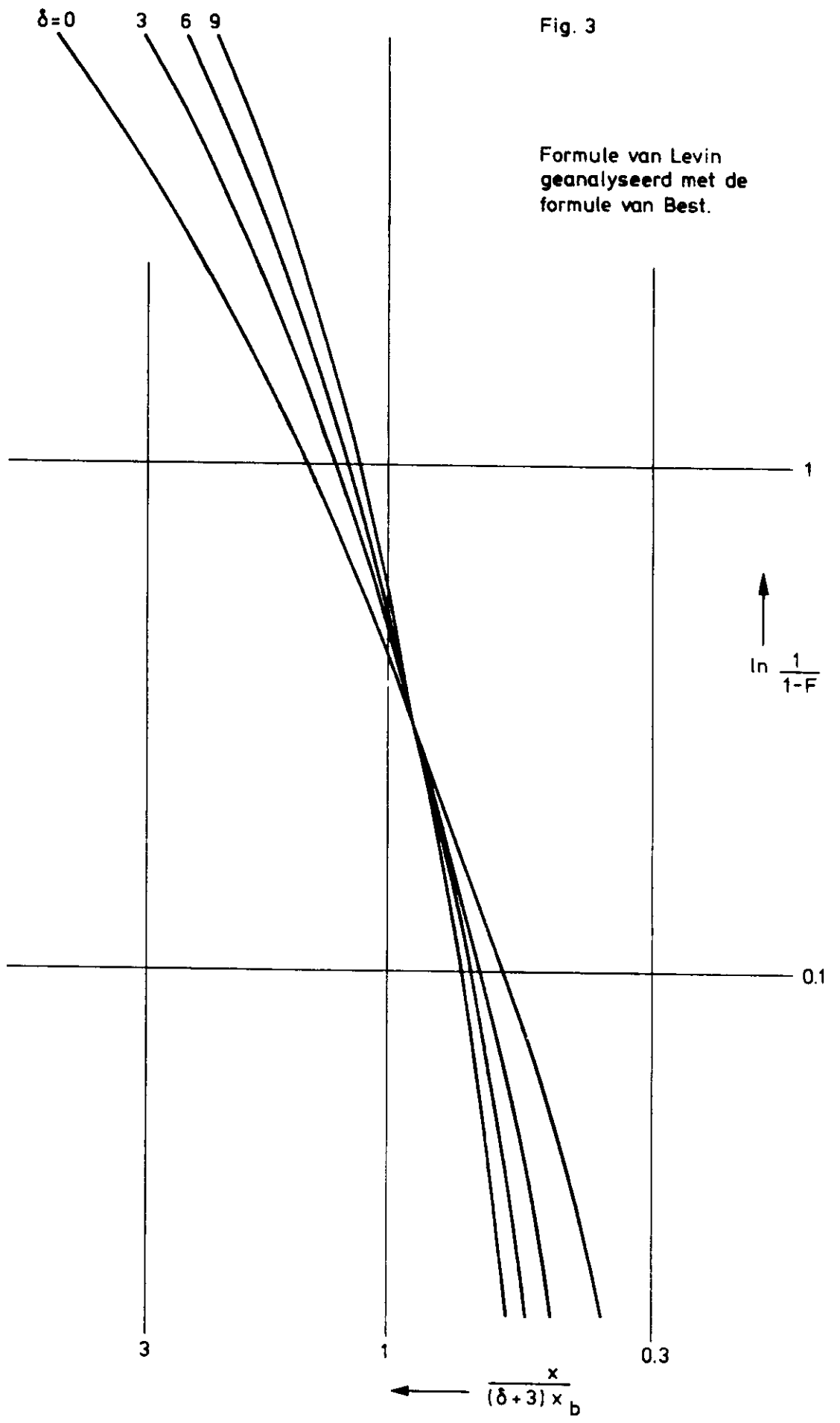


Fig. 3

Formule van Levin
geanalyseerd met de
formule van Best.

Fig. 4

Enige voorbeelden van gemeten spectra.
(Genormaliseerde waterinhoudsverdelingen)

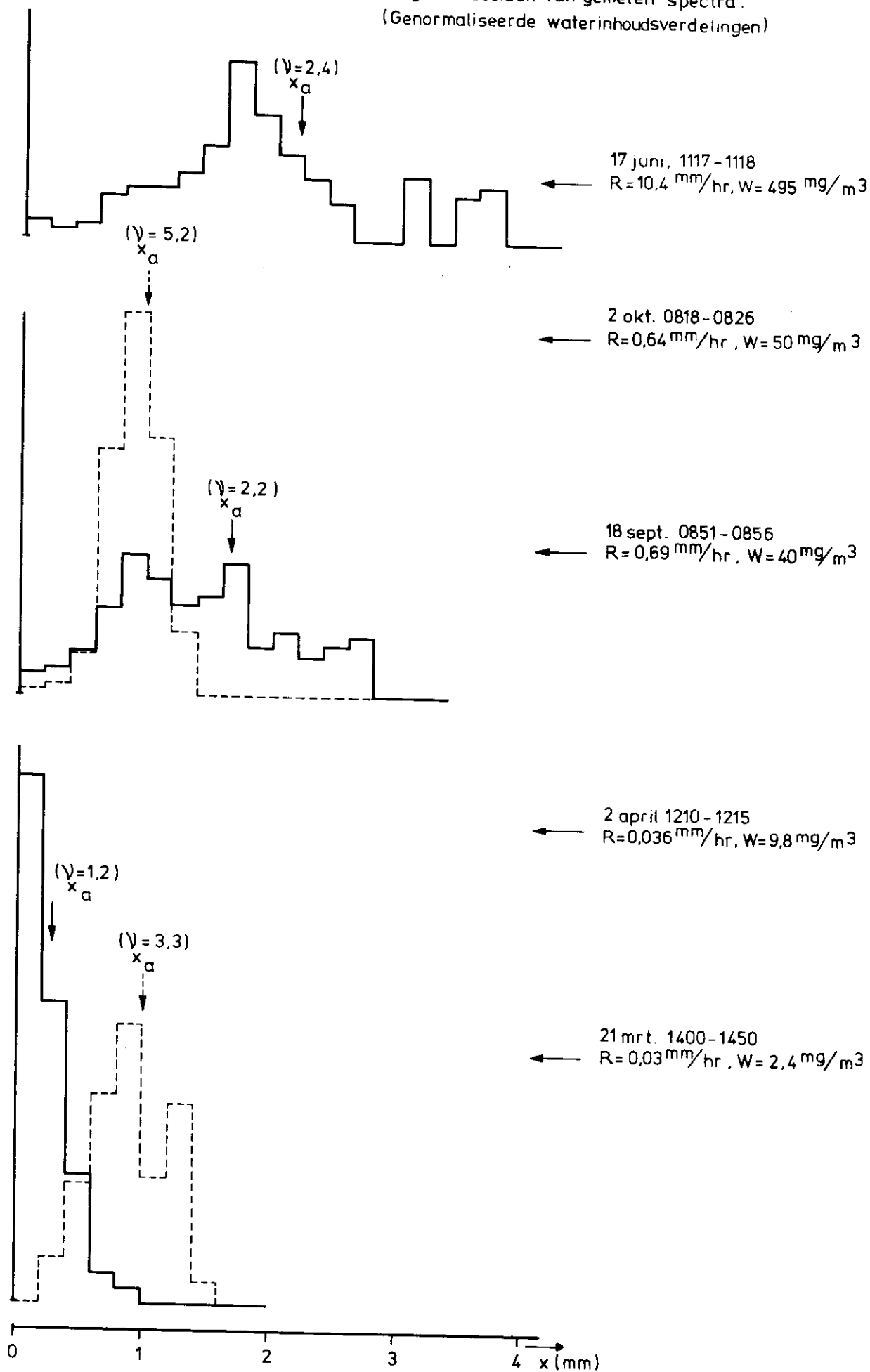


FIG. 5 VOORKOMEN VAN WAARDEN VAN v BIJ REGENS VAN VERSCHILLENDE INTENSITEIT

5 WAARNEMINGEN IN KLASSE MET BREEDE 0.2

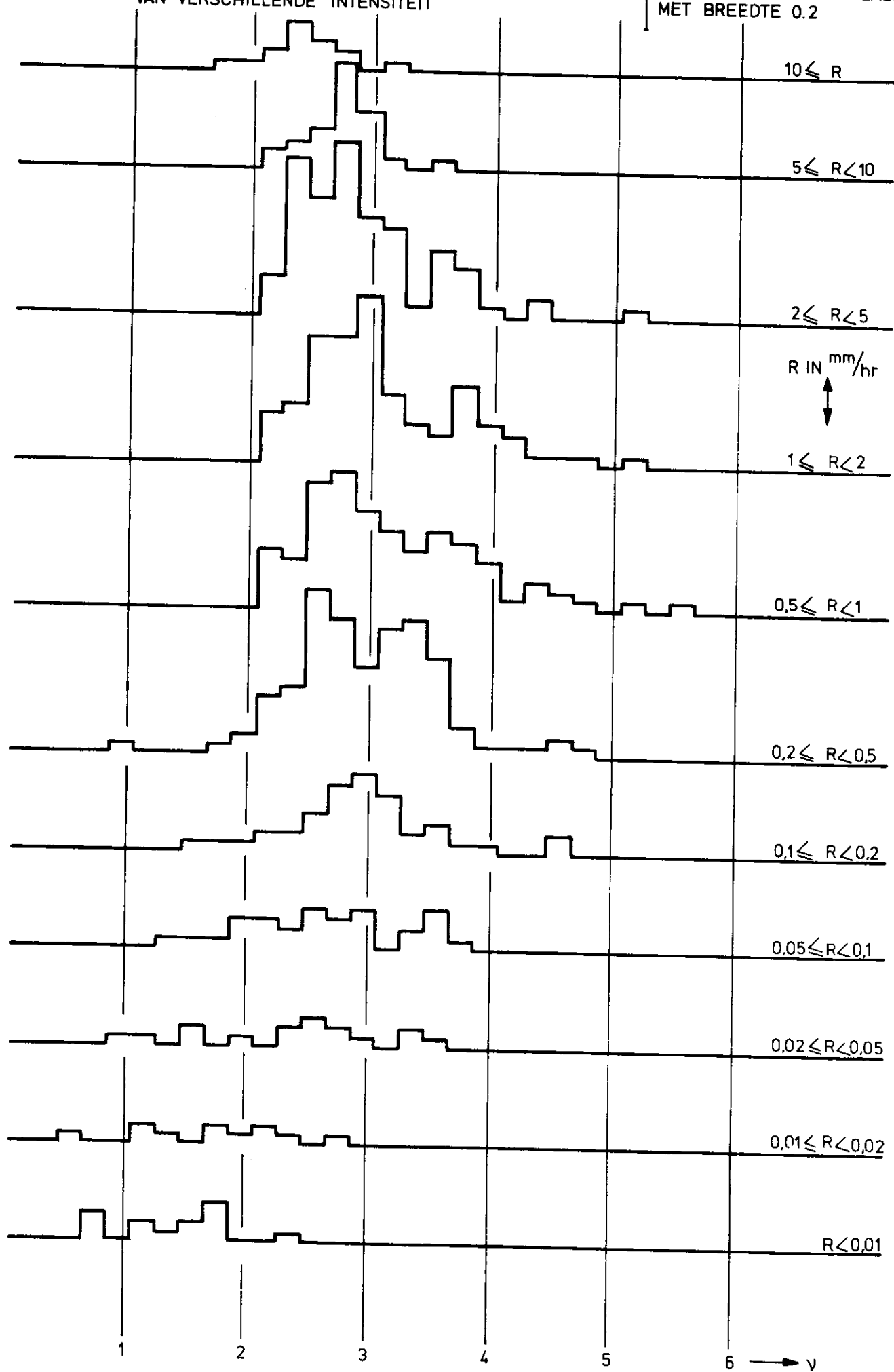
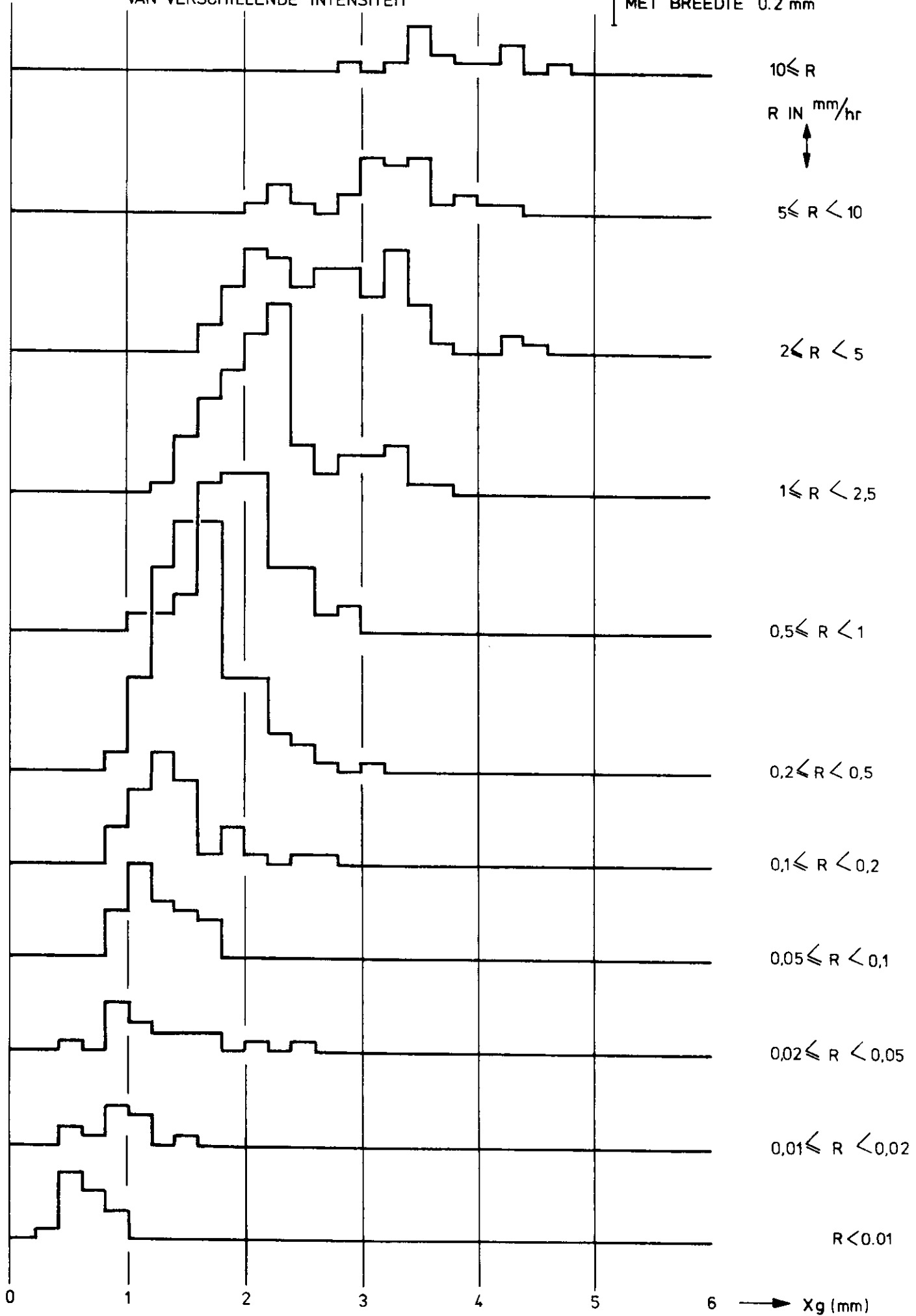


FIG. 6 VOORKOMEN VAN WAARDEN VAN X_g BIJ REGENS VAN VERSCHILLENDE INTENSITEIT

5 WAARNEMINGEN IN KLASSE MET BREEDTE 0.2 mm



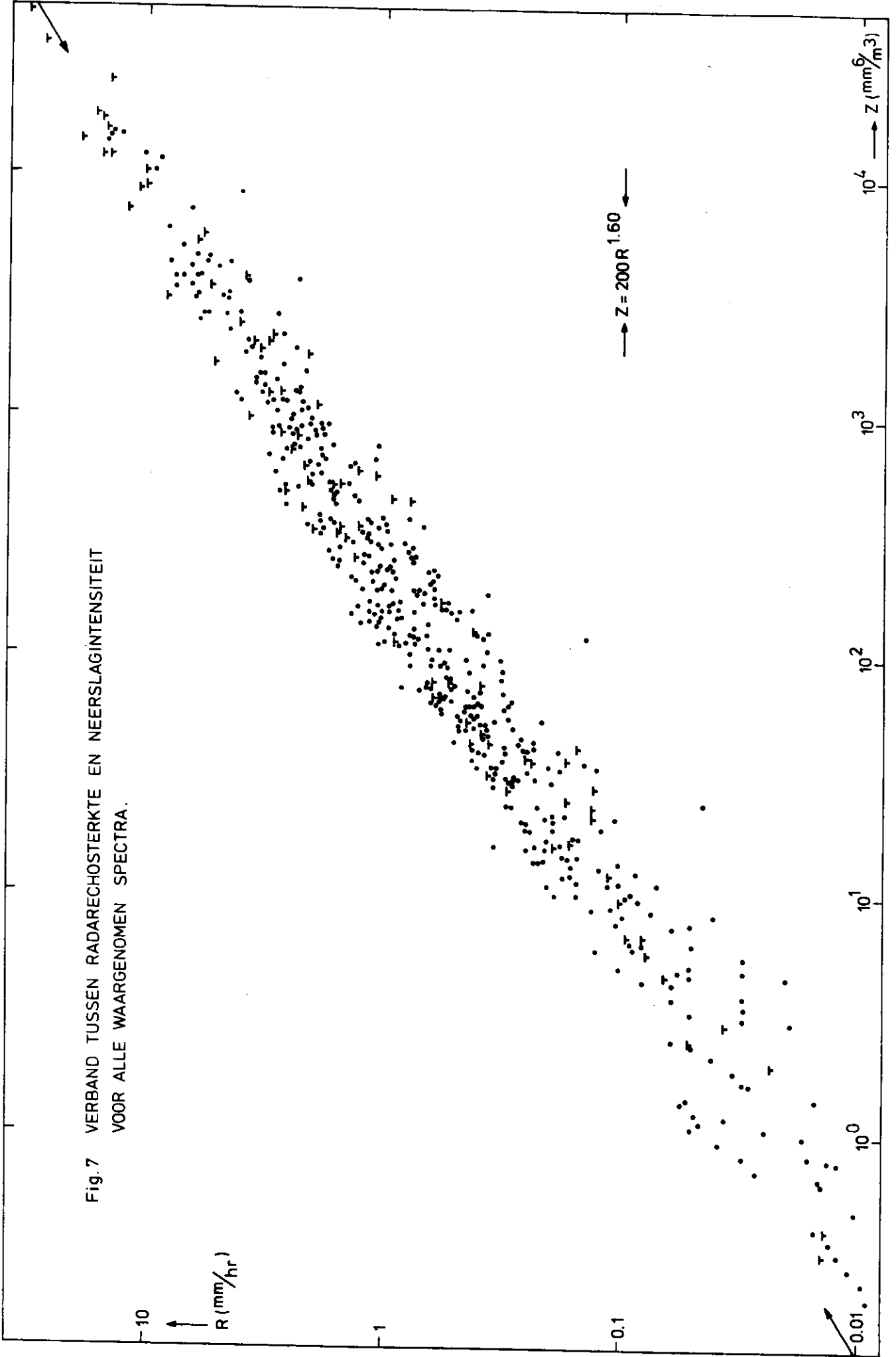


Fig.7 VERBAND TUSSEN RADARECHOSTERKTE EN NEERSLAGINTENSITEIT
VOOR ALLE WAARGENOMEN SPECTRA.

