

MEDEDELINGEN EN VERHANDELINGEN

62

DR C. LEVERT

REGENS
EEN STATISTISCHE STUDIE

★

RAINS
A STATISTICAL STUDY

1954



F 10,—

REGENS
EEN STATISTISCHE STUDIE

WILHELM ZIEGLER
: 1898
2012

PUBLICATIENUMMER: K.N.M.I. 102-62

INDEX
DECIMALIS

INDEX DECIMALIS

551.578.13:

519.2

REGENS

EEN STATISTISCHE STUDIE

Rains
A statistical study

DR C. LEVERT

1954



STAATSDRUKKERIJ- EN UITGEVERIJBEDRIJF, 'S-GRAVENHAGE

REGENS

REINSTATUISCHES STADT

1875
1876

1877

1878



1879

Pour bien savoir les choses, il en faut savoir le détail

(*La Rochefoucauld, Max. 106*)

INHOUD

Blz.			
11	0		INLEIDING
13	1		DEFINITIES VAN VERSCHILLENDE REGENTYPEN IN DE INTERNATIONALER LITERATUUR
18	2		HET UITTREKKEN VAN DE PLUVIOGRAMMEN
18	1		Typen pluviografen
23	2		Moeilijkheden bij het analyseren van bijzondere regens tengevolge van bepaalde eigenschappen van de strook en de registratie (zie ook hoofdstuk 13)
25	3		DE IN DEZE MEDEDELING EN VERHANDELING AANGEHOUDEN DEFINITIES VAN ZWARE REGEN, ZEER ZWARE REGEN, ENZ.
25	1		Definities
28	2		Opmerkingen
30	4		ALGEMEEN OVERZICHT VAN AANTALLEN, INTENSITEITEN, HOEVEELHEDEN EN DUREN VAN REGENS VAN VERSCHILLENDE TYPEN
30			Regens, ongeacht het type
30	1	1	Aantallen regens
40	1	2	Hoeveelheden en duren
50	1	3	Gemiddelde en maximale Intensiteiten
55			Zware regens
55	2	1	Aantallen
57	2	2	Duur
57	2	3	Hoeveelheid
59	2	4	Aantal zware regens per dag
59	2	5	De dagelijkse gang in het aantal zware regens
62	2	6	Frequentiekrommen
65			Stortregens
65	3	1	Aantallen
68	3	2	Duur
69	3	3	Hoeveelheid

70	4	3	4	De dagelijkse gang in het aantal stortregens
72		3	5	De duur en de grootste intensiteit
73				Hevige regens
73		4	1	Aantallen
75		4	2	Duur
77		4	3	Hoeveelheid
79		4	4	De duur en de maximum intensiteit
81				Zeer zware regens
81		5	1	Aantallen
81		5	2	Hoeveelheden
83		5	3	De duren
84		5	4	De intensiteiten
85		5	5	De dagelijkse gang in het aantal zeer zware regens
86		6		Overzicht der meest bijzondere regens uit het tijdvak 1926-1948
89		7		Regens van (zeer) lange duur
98		8		Waar binnen de ganse regen is het zware of zeer zware deel gelegen en welk aandeel heeft het in de duur en de hoeveelheid van de gehele regen?
104	5			INCIDENTELE ONDERZOEKINGEN IN VERBAND MET HET PROBLEEM BIJ WELKE REGENS HET WERK BUITEN GESTAAKT MOET WORDEN
111	6			REGENDUUR
111		1	0	Methoden van aflezing
111		1	1	1e Methode: „De regenduur is rechtevenredig met het aantal regenuurintervallen”
112		1	2	2e Methode: „Methode van Köppen”
113		1	3	3e Methode: Alle pluviogrammen volledig uittrekken
116		2		Opmerkingen bij de „Stichprobenmethode van Köppen”
119		3		De onderbrokenheid der regens
122	7			DE REGENHOEVEELHEDEN
126	8			FREQUENTIEBEREKENINGEN
126		0		Inleiding

128	8	1	Eerste methode
128		2	Tweede methode
132		3	Derde methode
135		4	Krommen van B r a a k (M.V. 34a)
137	9		DAGELIJKSE HOEVEELHEID NEERSLAG EN AANTAL REGENS PER ETMAAL
137		0	Inleiding
138		1	Met behulp van de correlatiecoëfficiënten
139		2	Zonder de hulp van de correlatiecoëfficiënt, grafisch
144		3	Met behulp van de rangcorrelatietoets van Kendall
153	10		AANTAL REGENS PER DAG, VOOR VERSCHILLENDE TYPEN REGENS
160	11		ZWARE REGENS, GEMETEN MET DE GEWONE REGENMETER
160		1	Grote gemiddelde intensiteiten
173		2	Grote maximale intensiteiten (van 2,00 mm/min en meer)
177	12		ZWARE EN ZEER ZWARE REGENS IN ENIGE STATIONS BUITEN DE BILT
177		0	Inleiding
177		1	Zware en zeer zware regens te Tilburg (1918–1947)
187		2	Zware en zeer zware regens te Den Haag (1910–1943)
192		3	Zware en zeer zware regens te Amsterdam (1925–1950)
194	13		MOEILIKHEDEN BIJ HET UITTREKKEN VAN PLUVIOGRAMMEN Een vergelijking tussen een recht en een gekromd co- ordinaten-net (vervolg op hoofdstuk 2)
198	14		VERGELIJKING DER AANWIJZINGEN VAN PLUVIOGRAAF EN GEWONE REGENMETER
205	15		NAUWKEURINGHEIDSBESCHOUWINGEN BIJ DE GEMIDDELDE INTENSITEIT VAN EEN REGEN
211	16		TOEPASSING VAN DE „THEORIE DER EXTREME WAARDEN”
211		0	Inleiding

211	16	1	Theorie
212		2	Werkschema
214		3	Toetsing; toepassing op de regens
224		4	Bevestiging van een door Brooks empirisch gevonden relatie
225		5	Interpretatiemoeilijkheden
226		6	Enige principiële opmerkingen
228	17		ENKELE VRAGEN, WAAROP DEZE MEDEDELING EN VERHANDELING GEEN ANTWOORD GEEFT
229	18		LITERATUUR
242			SUMMARY

HOOFDSTUK 0

INLEIDING

0.0 Hoewel reeds in de M.V. ¹⁾ 34a, 1930 (van de hand van B r a a k) vele gegevens over aantallen, duren en intensiteiten van zware regens stortregens, zeer zware regens, opgenomen werden, bleek het om een aantal, hierna te noemen, redenen, gewenst in een nieuwe verhandeling zo goed als uitsluitend aan een meer uitgebreide analyse der pluviogrammen aandacht te schenken.

0.1 Wetende, dat bijna geen meteorologisch element zo grillig varieert als juist de neerslag en dat dientengevolge de op korte basistijdvakken berustende gemiddelde waarden slechts beperkt representatief zijn voor zeer lange perioden, kwam het ons noodzakelijk voor de door B r a a k onderzochte periode 1899–1930 tot en met 1948 uit te breiden.

0.2 Feitelijk heeft B r a a k slechts de pluviogrammen der 5 jaren 1926–1930 volledig bewerkt. Door middel van enige voor de hand liggende kunstgrepen kon hij desondanks uitkomsten voor veel langere tijdvakken opstellen. Wij oordeelden het beter de registraties van alle 23 jaren 1926–1948 uit te trekken. Wij hebben er van af gezien ook de stroken vóór 1926 (en wel tot en met 1897) volledig te bewerken, 1° omdat, althans gedurende de jaren 1897–1903, een scherpe aflezing van de tijd bemoeilijkt werd door de grove indeling van het pluviogram-net en 2° omdat de registratie dikwijls niet goed was. Gelukkig was de onderkenning van zware regens en stortregens niet altijd volkomen onmogelijk. De in deze verhandeling besproken uitkomsten hebben aldus betrekking òf op de 50 jaren 1899–1948 (1931–1948 toegevoegd aan 1899–1930) òf op de 23 jaren 1926–1948.

0.3 Wij meenden de pluviogrammen vollediger en naar meer gezichtspunten te moeten uittrekken dan B r a a k nodig oordeelde. De laatste jaren bereikten het K.N.M.I. talrijke vragen uit de praktijk, van zulk een uiteenlopend karakter, – wij denken aan regenverletaangelegenheden, aan problemen bij regenoverstorten, aan rioleringsvraagstukken, aan de vraagstukken optredende bij de aanleg van vliegvelddrainagesystemen, enz. – dat op deze met behulp van de gegevens in M.V. 34a onvoldoende of in het geheel niet kan worden geantwoord. Kleine, incidentele onderzoeken bleken herhaaldelijk nodig. Wij zijn van mening, dat met de nieuwe verhandeling een zeer groot aantal vragen onmiddellijk kan worden beantwoord, maar wij zijn ons er tegelijkertijd van bewust, dat er toch nog problemen resteren, welker oplossing andere bewerkingen der regens vereisen.

¹⁾ M.V. staat voor Mededelingen en Verhandelingen van het K.N.M.I.

0.4 Het bleek nodig duidelijk uiteen te zetten o.m. hoe de gegevens tot stand kwamen, op welke wijze de pluviogrammen in tabellen overgenomen werden, hoe nauwkeurig de uittrekking der registraties geschiedde en welke moeilijkheden hierbij optraden. Wij menen, dat aldus de gebruiker der tabellen beter de intrinsieke waarde van de medegedeelde getallen kan beoordelen, zodat een verkeerde interpretatie wordt vermeden. Ook kan dan blijken in hoeverre het zin heeft met soortgelijke gegevens uit andere literatuur te vergelijken.

0.5 Met betrekking tot de kwestie van de definities der regentypen wilden wij niet volstaan met een verwijzing naar M.V. 34a, doch hebben wij getracht zo duidelijk mogelijk uiteen te zetten, waarin het bijzondere van een zware regen, een stortregen enz. is gelegen.

HOOFDSTUK 1

DEFINITIES VAN VERSCHILLENDE REGENTYPEN
IN DE INTERNATIONALE LITERATUUR

1.0 Meermalen wordt de vraag gesteld op welke gronden de grenswaarden gekozen zijn, welke in M.V. 34a worden gesteld ter definiëring van bepaalde regentypen (zie ook Hoofdstuk 3).

Zo drukt men vaak bij afwateringsaangelegenheden de regenintensiteiten niet in mm/min, maar in l/sec.ha uit ($1 \text{ l/sec.ha} = 0,006 \text{ mm/min}$). Een riooltechnicus bijv. heeft vooral belangstelling voor regens of regengedeelten, waarover de intensiteit, gemiddeld genomen, tenminste 30 à 40 l/sec.ha (d.i. 0,18 à 0,24 mm/min) bedraagt. Hiermede is enigszins de herkomst van de in M.V. 34a genoemde grenswaarde 0,20 mm/min verduidelijkt (zie voor de definitie van intensiteit 2.1).

Hieraan dient onmiddellijk te worden toegevoegd, dat men zich allengs meer en meer van gefixeerde grenswaarden wil losmaken, op gronden, welke behandeling buiten bestek van dit boekje valt.

Wij hebben echter besloten al het thans aanwezige materiaal nog op de door B r a a k aangegeven wijze te bewerken en de resultaten te publiceren, ook al is het waarschijnlijk, dat in de toekomst aan een gans andere analyse begonnen zal worden.

De verschillende definities van zware regen, plasregen, wolkbreuk enz., gegeven in verschillende landen en in eenzelfde land dikwijls door verschillende onderzoekers, blijken sterk uiteen te lopen. Een gemeenschappelijke basis, die tot een gemakkelijk generaliseerbare nomenclatuur zou kunnen leiden, is moeilijk te vinden. Natuurlijk zijn hier ook klimaatverschillen aan schuldig. Wij kunnen ons zeer goed voorstellen, dat wat in ons land een „wolkbreuk” heet, elders in de wereld in een zeker deel van het jaar vrij alledaags is. Toch lijkt het ons zinvol te trachten een nomenclatuur op te stellen – bijv. voor ons land alleen –, welke eenvoudig, gemakkelijk en logisch is, waarbij men niet slechts op de hoeveelheid en de duur van de ganse regen of van een intens gedeelte moet letten, maar ook en wellicht voornamelijk op de frequentie (de zeldzaamheid). Het K.N.M.I. bestudeert deze mogelijkheid. Een afgerond geheel vormen de resultaten thans nog niet. Teneinde de lezer toch enig idee te geven van de veelheid van definities van bijzondere regens, nemen wij met enige commentaar de volgende lijst op.

1.1 G o o d m a n (Rusland, 1892) spreekt van een *plasregen* (Platzregen, Regengüsse, wolkenbruchartige Güsse, heftige Güsse) als de tot een uur herleide hoeveelheid tenminste 10 mm bedraagt. De zelfregistrerende regenmeter, waarvan G o o d m a n de stroken analyseerde, mat de neerslag iedere 10

minuten. Een 10 minuten-hoeveelheid van 1,67 mm of meer acht hij zeer groot (10 mm per uur), aangezien de dagsom, als deze intensiteit 24 uren zou aanhouden, meer dan 240 mm (zeer veel!) zou bedragen [1]¹⁾.

1.2 R i g g e n b a c h (Zwitserland, 1898) stelt voor van een *plasregen* (Platzregen) eerst dan te spreken, wanneer de regen of het gedeelte van de regen gedurende tenminste 5 minuten een gemiddelde intensiteit van 0,33 mm/min (20 mm/uur) of meer heeft [2].

1.3 L e s s (Duitsland, 1900) eist, dat er in een of meer uurvakken achtereens tenminste 5 mm, gemiddeld per uurvak, gevallen moet zijn alvorens van een *plasregen* (Platzregen) sprake kan zijn. Hij stelt, na het bestuderen van een door **H e l l m a n n** uitgevoerd onderzoek (1892, vervolgd in 1901), vast, dat in „*starken Regen*” het product h.i („regenenergie” E genoemd) een grootste, van de duur onafhankelijke, waarde E_m heeft (afgerond 43 mm²/min). Op grond hiervan voelt hij veel voor een classificatie van de regens, die zich baseert op drempelwaarden, die gedeelten van E_m zijn.

Deze eigenaardige gedachtengang ontmoetten wij alleen bij **L e s s** [3].

1.4 H e l l m a n n (Pruisen, 1901) stelt een tabel op, aangevende welke hoeveelheden in een regen of deel daarvan tenminste gevallen moeten zijn alvorens van een *plasregen* (dichter Regen, Platzregen) gesproken mag worden. Wij nemen hier niet de ganse tabel op, doch vermelden als voorbeelden, dat er in 5 minuten tenminste 5,0 mm, in 20 minuten tenminste 12,2 mm, in 1 uur tenminste 24,6 mm en in 3 uren tenminste 37,8 mm gevallen moet zijn [4].

Hiermede komen overeen gemiddelde intensiteiten van tenminste resp. 1,00, 0,61, 0,41 en 0,21 mm/min. Men lette op de afnemende van deze getallen. Men zal altijd opmerken, dat het over een langere duur minder intens, gemiddeld genomen, behoeft geregend te hebben, opdat deze regen of dit regendeel toch „*plasregen*” zal heten.

Van een *wolkbreuk* spreekt **H e l l m a n n** wanneer òf de duur van het wolkbreukachtige deel van de regen (zelden de ganse regen uitmakend) 1 uur of meer is en de gemiddelde intensiteit daarbij tenminste 0,93 mm/min bedraagt òf de duur 2 uren bereikt of overtreft en de gemiddelde intensiteit een waarde 0,58 mm/min of meer bezit.

1.5 K ö p p e n (Duitsland, 1904) spreekt van een *plasregen* (Platzregen) als voor de ganse regen of voor zeker gedeelte $h \geq 6,2 \sqrt{t}$ geldt; is bovendien $h \geq 8,0 \sqrt{t}$ (of beter: $\geq \sqrt{60 t - 0,17 t^2}$), dan *buitengewone plasregen*. Hierbij is h de hoeveelheid in mm en t de duur in minuten [5].

1.6 S y m o n s (Engeland, 1908) stelt evenals **H e l l m a n n** een tabel met drempelwaarden op. Er is van een *plasregen* sprake bijv. als in 5 minuten

¹⁾ De getallen tussen rechte haken verwijzen naar de literatuurlijst, blz. 229 e.v.

tenminste 5 mm viel of in 20 minuten tenminste 13,5 mm of in 1 uur tenminste 25,4 mm of in 3 uren tenminste 32,6 mm (gemiddelde intensiteiten resp. 1,00, 0,68, 0,42 en 0,18 mm/min) [6].

1.7 Breitung (Duitsland, 1912) spreekt van een *Dauerregen*, wanneer het tenminste 6 uren achtereen (of met zeer korte regenpauzen) geregend heeft. Wanneer ook nog tenminste 6 mm gevallen is (dus tenminste 1,0 mm per uur) is er sprake van een *starker Dauerregen* [7]. Tegenwoordig eist men, zoals wij van de Deutschen Wetterdienst te Bad Kissingen vernamen, en een duur van 6 of meer uren en een intensiteit van tenminste 0,5 mm/uur voor een *Dauerregen*.

Er is sprake van een *Starkregen*, wanneer er in de regen tenminste één gedeelte aan te wijzen is, van 5 of meer minuten, waarover de gemiddelde intensiteit tenminste 40 l/sec.ha (d.i. 0,24 mm/min) bedraagt.

1.8 Fassig (Amerika, 1916) stelt eveneens een tabel op. Uit deze tabel lezen wij, dat er bij een *buitengewone regen* (excessive rain) gevallen moet zijn tenminste 6,4 mm in 5 minuten of tenminste 10,2 mm in 20 minuten of tenminste 20,3 mm in 1 uur (overeenkomende met intensiteiten van resp. 1,28, 0,51, 0,34 mm/min of meer) [8].

1.9 Boerema (Indonesië, 1918) spreekt van een *wolkbreuk* wanneer bij een duur van 5 of meer minuten de gemiddelde intensiteit in de regen of in het wolkbreukachtige deel tenminste 1,0 mm/min bedraagt [9].

1.10 Häuser (Duitsland, 1919) stelt ook een tabel op. Wij nemen over, dat bij een duur van 1 à 5 minuten de gemiddelde intensiteit tenminste 0,51, bij 45 à 60 minuten tenminste 0,21 en bij 3 uren tenminste 0,11 mm/min moet bedragen, opdat van een *Starkregen* gesproken mag worden [10].

1.11 Wüssow (Duitsland, 1922) gaat uit van vrij eenvoudige relaties tussen h en t . Wanneer $h \geq h_0 = \sqrt{5t - (t/24)^2}$, dan heet de regen of het regendeel een *Platzregen*. Is $h \geq 1\frac{1}{2} h_0$, dan een „*starker Platzregen*” en is $h \geq 2 h_0$, dan een *buitengewoon zware regen* (verheerende oder stärkste Platzregen, Regen höherer Gewalt). Volgens het Deutsches Meteorologisches Jahrbuch van 1950, Teil III, heten regens of gedeelten ervan, waarvoor $h \geq \sqrt{5t}$, *Starkregen* [11].

1.12 De Jong (Nederland, 1925) spreekt van een *stortbui* als de regen of het regendeel een gemiddelde intensiteit van tenminste 30 l/sec.ha (d.i. 0,18 mm/min) heeft bij een duur van tenminste 5 minuten [12].

1.13 Bilham (Engeland, 1936) betreft de frequentie in de definitie. Een regen of een regendeel heet òf *worthy of notice* òf *remarkable* òf *very rare*. De eerste komt voor 1 keer in gemiddeld 10 jaren; de tweede 1 keer in ge-

middeld 40 jaren en de laatste 1 keer in gemiddeld 160 jaren. Er is op basis van vele regens van vele jaren en vele stations een grafische voorstelling gemaakt, aangevende welke waarde de h bij gegeven t moet bereiken of overtreffen. In de eerste groep regens dienen de hoeveelheden h per bijv. $t = 5, 20, 60, 120$ minuten de waarden 10,9, 17,3, 24,5 en 30,4 mm te bereiken of te overtreffen; in de tweede groep 17,3, 26,8, 37,6 en 46,2 mm en in de derde groep 26,8, 40,9, 51,8 en 69,4 mm [13].

1.14 Reinhold (Duitsland, 1937): een regen of een regengedeelte heet een „*beachtlich starker Regen*” als of $h \geq 1$ mm bij $t < 10$ minuten of $i \geq 0,1$ mm/min voor regenduren $10 < t < 60$ minuten of $h \geq 6$ mm voor regenduren $60 < t < 360$ minuten of $i \geq 1$ mm/uur voor regenduren $t \geq 360$ minuten. Er is sprake van een *Schwachregen*, *Starkregen*, *Platzregen* resp. *Wolbenbruch* wanneer zich in de regen een deel bevindt, lang t minuten, waarvoor resp. $C < 9,0$, $C > 9,0$; $C > 13,5$ en $C > 18,0$ mm/min, wanneer $i = C/(t + 18)^{0,765}$ [14].

1.15 D a m m a n (Duitsland, 1938) stelt ook een tabel op voor h en t . Om enkele getallen te noemen: wanneer over 1 à 5 of 45 à 60 of 180 minuten de gemiddelde intensiteit tenminste resp. 1,00, 0,40, 0,10 mm/min bedraagt, dan is er sprake van een *plasregen*; bij tenminste resp. 2,00, 0,80, 0,30 mm/min, een *zware plasregen* [15].

1.16 M i n n a e r t (Nederland, 1941) zegt, dat een *plasregen* gedurende tenminste 5 minuten een gemiddelde intensiteit van tenminste 0,3 mm/min heeft. Wanneer er binnen een half uur 50 of meer mm valt, is er sprake van een *wolkbreek* [15]. Zie verder blz. 170.

1.17 H e l d (Oostenrijk, 1951) stelt voor eerst dan van een „*Starkregen*” te spreken als de gemiddelde intensiteit in deze Starkregen (gewoonlijk weer een deel van een langere regen) gelijk is aan of groter is dan die in een „ideale regen” van dezelfde duur en een frequentie 1 keer per gemiddeld 1 jaar (bijv. $i \geq 1,15$ mm/min over $t = 5$ minuten; $\geq 0,41$ over 30 minuten; $\geq 0,13$ over 60 minuten). Wij merken terloops hierbij op, dat aldus de nomenclatuur en aan de duur en aan de gemiddelde intensiteit (zo men wil de hoeveelheid) en aan de frequentie gekoppeld wordt [17].

1.18 In het Handbuch des Klimabeobachtungsdienstes Kapittel C, Absatz 8, (1952) lezen wij van „*Stark- und Dauerregen*” en van „*beobachtlichen Regen*”. Er wordt verschil gemaakt tussen a) een bewerking, analyse der pluviogrammen voor meteorologische doeleinden en b) een voor waterhuishoudingaangelegenheden. Bij een analyse der regens met oogmerk a) is er sprake van een Starkregen wanneer $h \geq \sqrt{5t - (t/24)^2}$ (de formule van W ü s s o w, zie onder 1.11). In deze Starkregen wordt verder onderscheiden

de „*eigentliche Starkregen*” en het meest intense deel van de Starkregen. Bij een bewerking met het oog op de waterhuishouding (geval b) wordt de door Reinhold (zie onder 1.14) in navolging van Breitung gegeven definitie van „beobachtlicher Regen” gevolgd [18].

Men bedenke wel, dat deze lijst verre van volledig is en dat wij lang niet alle artikelen gelezen hebben. Wij deden een greep uit de zeer omvangrijke literatuur, die op dit gebied bestaat. Vele auteurs hebben geprobeerd een eenvoudige en gemakkelijk hanteerbare formule op te stellen, weergevende het verband tussen de hoeveelheid, de duur en de frequentie van de regen of het bijzonder regendeel en wel omdat men in bepaalde berekeningen verder komt met formules dan met getallen alleen. Het is overigens opvallend, dat men bij deze verzameling vele begrippen als „averse, torrentielle, orage excessive, ondée, Platzregen, Wolkenbruch, Regengusz, Regen höher Gewalt, beachtlich starker Regen, Dauerregen, excessive rain, cloudburst, downpour, heavy rain, (rain)shower, burst of rain, rain in sheets, shockrain, torrential rain, wolkbreuk, plasregen, slagregen, stortregen, zware regen”, slechts zelden eist, dat de momentane intensiteit gedurende zekere tijd doorlopend een bepaald bedrag (bijv. 0,10 of 0,15 of 0,20 of 1,00 mm/min) moet bereiken of overtreffen ¹⁾.

Bij de definitie van „hevige regens” in deze M.V. hebben wij juist wel met dit bijzondere aspect willen rekening houden.

Tenslotte zij nog vermeld, dat men al wel in internationaal verband getracht heeft in de louter op visuele gronden gebaseerde nomenclatuur der regens enige eenheid te brengen. Dit is nog slechts ten dele mogen gelukken [19].

¹⁾ Henze vertelt in een artikel „Häufigkeit und Dauer einer Niederschlagsintensität von mindestens 0,2 mm in der Minute nach 32 jähriger Registrierungen in Potsdam” (in de M.Z. 50 384 1933), dat men aan het Meteorologisch Observatorium te Potsdam gewoon is iedere regencurve op het oog in rechte delen te verdelen. Van elk gedeelte, waarover de intensiteit 0,2 mm/min of meer bedroeg, werd de duur (tenminste één minuut) en de hoeveelheid genoteerd. Van de duren, hoeveelheden en intensiteiten van deze gedeelten van regens of van combinaties ervan werden statistieken samengesteld. Deze analyse is verwant met de onze ten aanzien van „hevige regens”. Overigens wordt ook in dit artikel niet duidelijk gemaakt waarom men juist bij 0,2 mm/min de drempel legt

HOOFDSTUK 2

HET UITTREKKEN VAN DE PLUVIOGRAMMEN

2.1 Typen pluviografen

In de loop der jaren 1897 tot heden zijn verschillende typen van zelfregistrerende regenmeters gebruikt. Het bleek nodig met de eigenaardigheden van elk der typen rekening te houden. Deze eigenaardigheden betreffen niet alleen het juist weergeven van wat er werkelijk aan regen valt, maar ook en vooral de nauwkeurigheid, waarmee wij de pluviocurven kunnen analyseren. In het volgende tabelletje hebben wij enige bijzonderheden verenigd.

TABEL 1
DE BILT
Soorten pluviografen en bijzonderheden van het net

Typen	Jaren	Indeling van het net		1 mm regen	1 uur	Ordinaat
		neerslag mm	tijd minuten	op papierstrook mm		
1. Tuimelbakje	1897–1903	0,1	30	7,5	12	krom
2. Vlotter	1903–1916	0,1	10	7,8	16	recht
3. Tuimelbakje	1916–1952	0,1	15	7,5	12	krom
4. Vlotter	1953	0,1	15	7,5	12	recht
5. Vlotter ¹⁾	vanaf 1954	0,1	5	7,8	16	recht

Types of pluviographs (so-called balance and floatgauges) and details of the coordinates on the strip of paper

De in deze publicatie bewerkte pluviogrammen (1926-1948) behoorden alle bij het type pluviograaf 3.

Wij mogen wel concluderen, dat een indeling in 0,1 mm regen voldoende nauwkeurig is voor de praktijk. De verdeling van de tijdas bleek dikwijls te nauw. Wanneer grote intensiteiten vrij nauwkeurig uitgemeten moeten kunnen worden, moet geeist worden bijvoorbeeld 2 à 3 minuten scherp te kunnen onderkennen. Het gebeurde echter tamelijk vaak (in de jaren na 1930 vaker dan ervoor), dat de inktcurve vrij dik was, tot soms de helft van 0,1 mm regen of 2 à 3 minuten (in vroegere jaren werden ragfijne curven van 0,02 mm regen of 1 minuut dikte opgetekend). In zulke gevallen is het zeer moeilijk, zo niet

¹⁾ Men leze [20]

onmogelijk, behoorlijk betrouwbare waarden van grote momentane intensiteiten af te lezen.

Zo kon het gebeuren, dat de pluviograaf leerde, dat het achtereen regende van ongeveer 13h 15 tot 18h 25 (dus 310 minuten), waarbij 8,4 mm regen viel, terwijl hier en daar, speciaal in de steile gedeelten, de intensiteit niet van moment tot moment te volgen was. Het kwam ook voor, dat een gedeelte van de pluviocurve ontbrak (de pen had geweigerd te schrijven), terwijl het toch op grond van andere waarnemingen zeker was, dat het ononderbroken geregend had. In zulk een geval kon de regen natuurlijk wel wat de totale hoeveelheid, de totale duur en het begintijdstip betreft afgelezen worden, maar lieten zich verdere finesses bijv. ten aanzien van zeer intense gedeelten niet vaststellen.

Teneinde nu het werk niet te omvangrijk te doen worden werd van iedere regen genoteerd het begintijdstip (t_0), de ganse hoeveelheid (h), de gehele duur t , de gemiddelde en de maximale momentane intensiteit (I , resp. i_m). Voorts werd onderzocht of zich een of meer der typen zware regen, stortregen, hevige regen of zeer zware regen (waarover in Hoofdstuk 4 meer) lieten onderkennen. Was dit het geval, dan werden ook van deze genoemde vijf grootheden overgenomen.

Een korte toelichting is hier wellicht gewenst.

Bij de zelfregistrerende regenmeter van het „tuimelbakjes-type” loopt het regenwater door een opvangtrechter in de ene helft van een in tweeën gedeeld verzamelbakje, dat op een „brievenweger” bevestigd is. Het gewicht van de opgevangen neerslag (en dus de neerslaghoeveelheid) wordt door middel van zeker hefboomstelsel door een pen opgetekend op een strook, die gespannen is om een trommel, welke door een uurwerk een keer in 24 uren rondgedraaid wordt. Het gaat ons om de geregistreeerde kromme of regencurve. Op het moment, dat het verzamelbakje gevuld is (met een hoeveelheid water, overeenstemmende met 10 mm neerslag), bereikt de pen de bovenkant van de strook. Het bakje kantelt nu en loopt leeg, terwijl de pen zeer snel op de nulstand terugvalt. De andere helft van het bakje geraakt dan onder de trechter en alles herhaalt zich.

Bij het type, kort genoemd „vlotter-type”, ook wel Hellmann-pluviograaf geheten, wordt de regenhoeveelheid op een wat andere wijze aangetekend. Het water loopt in een verzamelbak, waarin zich een drijver bevindt. De stand van deze vlotter wordt weer door een schrijfpenn op de strook rondom de trommel opgetekend. Zodra de verzamelde hoeveelheid water een bepaalde grenswaarde (meestal bij 10 mm regen) overschrijdt, loopt de bak via een hevel leeg, waardoor de drijver zeer snel tot de bodem van de bak zakt en de registratie aan de benedenzijde van de strook voortgezet wordt.

De geregistreeerde kromme stelt ons in staat direct de *hoeveelheid neerslag* h af te lezen, gevallen in het tijdsverloop t , verstreken sedert het ogenblik t_0 , waarop de curve begon te stijgen. De kromme stelt dus voor $h = h(t)$ (cumulatieve kromme). Met behulp van de curve kan men berekenen wat er viel in

een uur, in een half uur, in vijf minuten etc. De helling van de raaklijn aan de regenkromme in een punt h^* , t^* (d.i. de waarde van het differentiaalquotiënt dh/dt in t^*) heet de *momentane intensiteit* i in het punt h^* , t^* . Verder bedoelen wij met i_m de *grootste waarde van i* in de gegeven regen. De intensiteit, gemiddeld over een zeker tijdsdeel d van de regen, gelegen tussen de tijdstippen

t_1 en t_2 (derhalve $\frac{1}{d} \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt = h_d/d$, als h_d mm in d min gevallen is), noemen

wij de *gemiddelde intensiteit*, aangeduid met $\bar{i}$. Men kan $\bar{i}$ natuurlijk ook op de gehele regen betrekking doen hebben. Als er geen verwarring met de momentane intensiteit te vrezen is, laten wij het streepje boven i weg.

Van een *regen* spreken wij voor zolang de pluviocurve zichtbaar stijgt. Begint de curve zeer kort nadat ze horizontaal is geworden opnieuw te stijgen, dan begint in onze beschouwing toch een nieuwe regen. Onze definitie van „regen” staat derhalve geheel los van die van bijvoorbeeld een „bui” in de meteorologie ¹⁾.

Ook B r a k (in M.V. 34a, blz. 21) ging aldus te werk. Hij deelt daarbij mede, dat alleen die regenduur medegeteld werd, gedurende welke de registreerlijn zichtbare stijging vertoonde, waardoor lichte neerslag verwaarloosd werd. Wij hebben juist zo gehandeld, maar oordeelden het beter met wat meer systeem te werk te gaan. Wetende, dat de praktijk weinig geïnteresseerd is bij de zeer frequente regens, besloten wij al die regens buiten beschouwing te laten, waarover de gemiddelde intensiteit hoogstens 0,001 mm/min bedroeg (dat is bijv. hoogstens 0,1 mm over 100 minuten of hoogstens 0,3 mm over 5 uren of hoogstens 1,2 mm over 20 uren – „motregen” brengt wellicht $\leq 0,1$ mm/uur – ²⁾).

¹⁾ In de synoptische meteorologie hecht men een bepaalde betekenis aan het begrip „bui”: „een bui is gekenmerkt door het plotseling inzetten en vaak ook door het snel weer ophouden van de neerslag, of ook door de snelle veranderingen in neerslagintensiteit, alsmede door het uiterlijk van de hemel. De wolken zijn meestal donkere, dreigende cumulonimbi, afgewisseld door korte opklaringen, dikwijls met diepblaauwe hemel”.

De definitie steunt dus op twee „grootheden”: de intensiteit en de bewolking, van welke, zoals de ervaring leert, vooral de laatste bepalend is. Zij is bij een onderzoek van pluviogrammen zowel ondoelmatig als onbruikbaar. Ondoelmatig is zij, omdat zij, voor wie onze Mededeling bedoeld is, veel meer geïnteresseerd zijn in hoeveelheden, duren en intensiteiten dan in een verdeling der regens naar de bewolking; onbruikbaar is zij, omdat het bijna ondoenlijk (en bij gebrek aan gegevens onmogelijk) is om bij alle van de regenstroken afgelezen regens achteraf de bewolking op te zoeken (waar in een figuur „bui” staat, lezen men „regen”)

²⁾ Andere onderzoekers definiëren een regen (regenbui) als een regenval, die onafgebroken vallende, tenminste 0,1 mm in totaal geleverd heeft. Sommigen laten korte regenpauzen toe: een regen is een reeks uurvakken, elk met 0,1 mm of meer. Dergelijke definities zijn natuurlijk sterk van de persoonlijke smaak afhankelijk [21]

Verder moeten nog andere moeilijkheden vermeld worden, die zich bij het analyseren van de pluviogrammen voordeden.

Het is reeds lang bekend, dat de pluviograaf doorgaans minder neerslag registreert dan er volgens de gewone regenmeter gevallen is. Wij hebben getracht hiervoor te corrigeren. Een voorbeeld moge dit verduidelijken. Gesteld er vielen in een etmaal drie regens: een regen van 3,2 mm in 20 minuten, van 4,3 mm in 75 minuten en van 2,9 mm in 60 minuten, terwijl met de gewone regenmeter een etmaalsom van 11,0 mm werd afgetapt, dat is 0,6 mm meer dan 10,4, de som van 3,2, 4,3 en 2,9. Wij corrigeerden dan de afzonderlijke hoeveelheden met $0,6 : 10,4 = 5,8 \%$, waardoor de getallen werden 3,4, 4,5 en 3,1. Eigenlijk zou een correctie op de duren ook nodig geweest zijn. Wij hebben dus vermoedelijk niet volkomen juist gehandeld. De beste correctie is echter onbekend, aangezien – ondanks een afzonderlijk onderzoek naar de tekorten, zie Hoofdstuk 14 – nog niet voldoende duidelijk is op welke wijze deze tekorten ontstaan. Vermoedelijk zullen zij samenhangen met de grootten van de hoeveelheden en vooral met de intensiteiten, waarmede deze vielen. De uitkomsten van bedoeld onderzoek laten helaas niet toe scherpe voorschriften op te stellen, volgens welke men de correcties op de meest zinvolle wijze zou moeten aanbrengen. Een andere „oplossing” zou natuurlijk kunnen zijn, dat men de directe en dus ongecorrigeerde registraties zelf zou bewerken. Dit hebben wij niet gedaan; het leek ons toch beter op de bovenbeschreven (zij het dan vermoedelijk niet geheel juiste) wijze te corrigeren. Al met al blijft een nader (speciaal laboratorium-)onderzoek naar de tekorten zeer gewenst. Er moge hier in verband met deze tekorten nog de volgende opmerking gemaakt worden, van belang zijnde bij gebruik van de tabel 1 op blz. 7 in M.V. 34a. Gebruikelijk is de hoeveelheden, gevallen in de uurvakken 0-1, 1-2 23-24, in tabellen over te nemen. Onderstel, dat de bovengenoemde hoeveelheid 3,2 mm viel tussen 7 en 8h, de 4,3 mm tussen 10 en 12h (t.w. $1,2 + 3,1$ mm) en de 2,9 mm tussen 15 en 17h (t.w. $2,3 + 0,6$ mm). Alvorens deze hoeveelheden 3,2, 1,2, 3,1, 2,5 en 0,6 mm in de tabel worden overgenomen, worden zij met de genoemde 5,8 % gecorrigeerd tot 3,4, 1,3, 3,3, 2,6 en 0,6 mm. Ook nu handelt men wellicht niet volkomen juist door het totale tekort evenredig aan de in de natte uurvakken gevallen hoeveelheden over deze uurvakken te verdelen.

Wat de aflezing van de gemiddelde en de maximale momentane intensiteit aangaat, dient nog het volgende opgemerkt te worden. De praktijk is meestal deze: de laatste wordt berekend door te zoeken naar dat zo kort mogelijk durende rechte stukje in de regencurve, dat het sterkst helt. Men leest af bijv. 2,4 mm in 3 minuten, zodat de grootste momentane intensiteit ongeveer 0,80 mm/min (eigenlijk wat meer) bedraagt. Een doorzichtig intensiteitschaaltje bewijst hier goede diensten. Men krast op een plaatje celluloid een flink aantal, vanuit één op de nullijn gelegen punt gaande, gebogen lijnen, die

regencurven van constante intensiteit aangeven. De waarden kunnen zijn bijv. 0,01, 0,02 0,10, 0,15, 0,20, 0,30 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 mm/min. De curven komen voor grotere intensiteiten zeer dicht bij elkaar te liggen. Vanwege het kromlijnige net op de pluviogrammen (bij alle tuimelbakje-typen) zijn de krommen van gelijke intensiteit geen rechten, maar bijna rechte delen van ellipsen (zie fig. 52). Wij hebben daaraan een afzonderlijk onderzoek besteed, zie hoofdstuk 13. In genoemd voorbeeld wordt dus het doorzichtig schaalte op het pluviogram gelegd en wordt gezocht naar die, zo steil mogelijke, intensiteitscurve op het doorzichtige schaalte, welke juist raakt of „bijna raakt” aan de gegeven regencurve. Dit is vooral moeilijk als het om grote intensiteiten (bijv. 1,5 en meer mm/min) gaat.

Bovendien is het gemakkelijker op het oog te beoordelen of een rechte al dan niet (of bijna) raakt aan een gegeven curve (bij het vlotter-type pluviograaf bevat het intensiteitschaalte een verzameling uit een punt gaande rechten) dan of een gebogen kromme het doet. In het gegeven voorbeeld wordt dus, interpolerende, geschat, dat de intensiteitscurve van 0,58 de grootste waarde van de momentane intensiteit van de regencurve representeert. Het is duidelijk, dat in het bijzonder de grootste intensiteiten verre van nauwkeurig zijn. Wij hebben de resultaten van een studie van de invloed, die de afmetingen van het net op het pluviogram uitoefenen op de nauwkeurigheid van de intensiteitsmeting, in hoofdstuk 15 neergelegd.

Ook moge nog worden opgemerkt, dat de pen terugvalt zodra de regencurve de hoogte 10 mm bereikt heeft. Wanneer toevallig tijdens de omslag het meest intense deel van de regencurve voorkomt, is het wel zeer moeilijk de intensiteit langs dit deel van ogenblik tot ogenblik te volgen. Het bleek trouwens herhaaldelijk, dat de overzichtelijkheid van een zeer sterke regen wel zeer geschaad wordt als de pen vele keren van de 10,0 naar de 0,0 mm terugvalt.

Voorts gebeurt het, dat de regencurve zo steil begint, dat aan de realiteit van deze steilheid getwijfeld mag worden (hoewel het inderdaad voorkomt, dat een regen plotseling (vrij) intens, inzet – slagregens ¹⁾ –. Vermoedelijk heeft de pen dan niet de allereerste zeer zwakke regen kunnen volgen, tot hij met een schok wel mee liep, nadat het bleef doorregenen. In zulk een geval ligt het juiste beginmoment van de regen niet helemaal vast, en moet dit worden geschat (waarbij de notities van de observator van belang kunnen zijn).

Hiermede zijn de voornaamste moeilijkheden besproken, die zich voordoen bij de uittrekking der stroken. Het is niet te vermijden, dat juist hier de persoonlijke smaak meesprekt, maar wij geloven niet, dat deze gevolgen van wezenlijke betekenis gehad heeft met betrekking tot de uiteindelijke uitkomsten, die – dit zij nogmaals met nadruk gezegd – veelal meer op hun algemene strekking dan op hun feitelijke getallenwaarde beoordeeld dienen te worden.

¹⁾ Zie ook noot ¹⁾ blz. 228

2.2 Moeilijkheden bij het analyseren van bijzondere regens tengevolge van bepaalde eigenschappen van de strook en van de registratie

In de definities van zware, stort-, hevige en zeer zware regen ontmoet men steeds de woorden: „het *zo lang mogelijk* gekozen gedeelte uit een volledige regen”. De betekenis hiervan wordt nu met enkele voorbeelden toegelicht.

Op 17 Juli 1931 begon er een regen ongeveer om 8h 15, die ononderbroken aanhield tot 8h 30 en daarbij 1,6 mm opleverde. Dus bedraagt de gemiddelde intensiteit in de ganse regen $\bar{i} = 1,6 : 15 = 0,11$ mm/min. Deze regen bevatte een gedeelte, dat zwaar was. Men kan schatten, dat dit gedeelte om 8h 25 begon en 5 minuten duurde, bij een hoeveelheid van 1,4 mm, zodat de gemiddelde intensiteit 0,28 mm/min bedraagt. Om 8h 30 eindigt de steile helling van de (nogal grove) regencurve zo plotseling, dat, indien men 0,1 mm meer zou nemen (dus $h = 1,5$ mm), de duur 15 minuten (i.p.v. 5 minuten) geweest zou zijn, tengevolge waarvan over deze 15 minuten de gemiddelde intensiteit geworden zou zijn $1,5 : 15 = 0,10$ mm/min, dat is minder dan de grens 0,20 mm/min. Zo behoren dus bij deze zware regen de karakteristieken $h = 1,4$, $t = 5$, $\bar{i} = 0,28$.

Een tweede voorbeeld: in de 120 minuten durende regen (begonnen om 10h 50) op 2 Juli 1930 kan een stortregen worden onderscheiden. Deze begint al om 10h 50, duurt 13 minuten en levert op: 10,4 mm, zodat de gemiddelde intensiteit $\bar{i} = 10,4 : 13 = 0,80$ mm/min (toevallig ver boven 0,20 uitkomend). Men kan er niet 10,5 mm van maken, bij een duur van ongeveer 58 (veel meer dan 13) minuten, want daarmee zou de gemiddelde intensiteit $10,5 : 58 = 0,18$ mm/min worden, dat is minder dan 0,20.

Een derde voorbeeld: in de regen op 12 Juli 1930, begonnen om 19h 25, kan een hevige regen worden onderscheiden, want tussen 19h 25 en 19h 33 is moment voor moment de intensiteit tenminste 0,20 mm/min. Bij deze hevige regen behoort een $h = 3,9$ mm, $t = 8$ minuten, $\bar{i} = 0,49$ mm/min. Langer mag men de hevige regen niet nemen, want 0,1 mm toevoegende, neemt de duur toe tot 20 minuten, tengevolge waarvan de gemiddelde intensiteit daalt tot $4,0 : 20 = 0,20$ mm/min, hetgeen moet betekenen, dat er in die bijgekomen 12 minuten ogenblikken geweest moeten zijn, waarop de momentane intensiteit beneden de 0,20 mm/min lag.

Een vierde voorbeeld: Op 13 Juni 1931 viel er een regen van meer dan een uur. De gemiddelde intensiteit over de ganse regen was: $8,4 : 65 = 0,13$ mm/min. Vijf minuten na het begin werd de regen zeer zwaar en wel voor ongeveer 5 minuten: $h = 6,5$, $t = 5$, $\bar{i} = 1,30$ mm/min. Het is meestal moeilijk de curven bij zeer zware regens (zelfs bij zware regens) scherp af te lezen; zeker nu. Maakt men er 6,6 mm van, dan neemt t tot 9 minuten toe, waardoor de $\bar{i}$ tot 0,73 ($< 1,00$) mm/min daalt en men (qua definitie) niet meer van een zeer zware regen kan spreken.

Het ligt geheel en al aan de betrekkelijke grofheid van het net der pluviostroken (vrij fijn in de hoeveelheden, maar grof in de tijdas), dat bovenbeschreven effecten zich vooral bij stortregens en zeer zware regens voordoen en wel voornamelijk, wanneer de pluviocurve zeer abrupt steiler of vlakker gaat lopen. Een en ander wordt nog moeilijker vanwege het feit, dat de curve vaak vrij dik is en de strook niet volkomen correct rondom de trommel gespannen is (waardoor de curve, wanneer er geen neerslag valt, niet horizontaal verloopt).

Bij een ideaal-dunne registratiecurve en bij een voldoende wijd net moet het dus, indien er in een regen een zwaar gedeelte te onderkennen is, mogelijk zijn dit zware deel zódanig lang „uit te snijden”, dat de gemiddelde intensiteit over dit deel *precies* 0,20 mm/min bedraagt. Desalniettemin zijn er ook zware regens met een gemiddelde intensiteit boven de 0,20 mm/min, maar dit zijn *volledige* regens (bijv. 5,3 mm in 20 minuten of 18,5 mm in 25 minuten).

Voorts zal het duidelijk zijn, dat eenzelfde regen meer dan één zware regen, stortregen, hevige regen of zeer zware regen bevatten kan. Deze worden voor evenzovele gerekend.

HOOFDSTUK 3

DE IN DEZE M.V. AANGEHOUDEN DEFINITIES VAN
ZWARE REGEN,
ZEER ZWARE REGEN, ENZ.

3.1 Definities

3.1.0 Hoewel verwezen zou kunnen worden naar de M.V. 34 van B r a a k, hebben wij gemeend er goed aan te doen in deze paragraaf de definities van zware regen, zeer zware regen enz. opnieuw te formuleren, toegelicht met getallenvoorbeelden. Tevens zal blijken, dat wij verschil willen maken tussen zware en stortregens, terwijl Braak de begrippen door elkaar gebruikt.

3.1.1 Een zware regen (z.r.) 1) Iedere volledige regen met een gemiddelde intensiteit van 0,20 mm/min of meer. 2) Het zo lang mogelijk uitgekozen gedeelte van een regen, waarover de gemiddelde intensiteit 0,20 mm/min is of er zo dicht mogelijk (zie onder 2.2) boven ligt.

3.1.2 Een stortregen (s.r.) Een zware regen met tenminste 4 mm. Een stortregen is dus een bijzondere, d.w.z. een speciale, zware regen; niet te verwarren met een bijzonder zware regen. Zo is (zie punt V in fig. 1) een regen-deel met 4,4 mm in 22 minuten (dus $i = 0,20$) een stortregen en zo is een regen van 8,8 mm in 20 minuten (dus $i = 0,44$) een bijzonder zware (niet te verwarren met een „zeer zware”) regen en een stortregen (punt W). Het kan ook zijn, dat wij met een deelregen van 8,8 mm in 20 minuten te doen hebben (de ganse regen bevat bijv. 15,0 mm in 180 minuten), waarbij toevoeging van slechts 0,1 mm de duur van deze deelregen zou doen toenemen van 20 tot 46 minuten, waardoor de gemiddelde intensiteit zou dalen van 0,44 tot 0,19 mm/min ($< 0,20$).

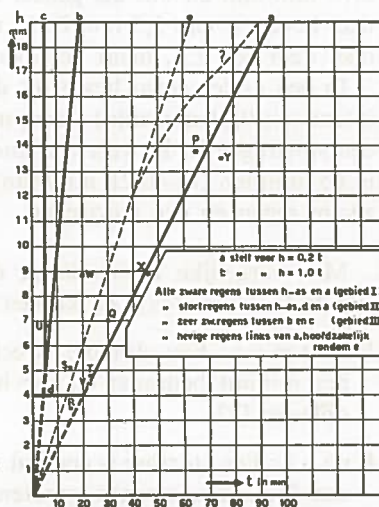
FIG. 1. a and b represent the straight lines $h = 0,2t$ and $h = 1,0t$ respectively; h = total quantity of precipitation in the rain, in mm; t = duration, in min.

All heavy rains are to be found between the h -axis and a (area I)

All downpours are to be found between the h -axis, d and a (area II)

All very heavy rains are to be found between b and c (area III)

All very intense rains are to be found at the left hand side of a, chiefly close to c



Zulk een deelregen begint uitermate steil, wordt voorafgegaan door een zeer vlak deel en eindigt uitermate steil, gevolgd door een zeer vlak deel. Terwijl dus de deelregen van 8,8 mm in 20 minuten een bijzonder zware regen en een stortregen is, is die van 8,9 mm en 46 minuten (punt X) geen van tweeën.

Het zal hiermede duidelijk zijn, dat iedere stortregen een zware regen, terwijl niet elke zware regen een stortregen is. Zware regens (althans die gedeelten van regens vormen) van minder dan 20 minuten zijn, qua definitie, slechts dan stortregens als zij tenminste 4,0 mm bevatten; hun gemiddelde intensiteiten komen dus meer boven 0,20 mm/min uit naarmate hun duur korter is. Nog anders gezegd: een stortregen van korte duur (< 20 min) is of een ganse regen (plotseling inzettend en plotseling eindigend) of een zeer steil gedeelte in een regen, die overigens van lage intensiteit is.

Wij willen nog enige voorbeelden noemen:

Zo kan een regen in totaal 30 minuten hebben geduurd, waarbij 3,9 mm viel, zodat de gemiddelde intensiteit 0,13 mm/min is. Bij nadere beschouwing blijkt er een deel van hoogstens 15 minuten te zijn (met 3,5 mm), waarin de gemiddelde intensiteit zo dicht mogelijk boven 0,20 ligt (nl. 0,23 bedraagt) (zie fig. 1, punt R). Dit deel heet dus een zware regen, maar geen stortregen (men kan natuurlijk de naam zware regen ook aan de ganse regen toekennen, hoewel wij daar minder voor gevoelen).

Een regen, waarin totaal 5,1 mm in 15 minuten viel (punt S) is *als geheel* een zware regen, met een gemiddelde intensiteit 0,34 mm/min, ver boven 0,20. Dus een bijzonder zware regen en een stortregen. Zulke regens komen zeer weinig voor; het zijn regens, die (op de pluviogrammen) steil beginnen en eindigen. Een andere regen van totaal 13,5 mm in totaal 75 minuten (gem. intensiteit 0,18 mm/min en dus als geheel nog juist geen zware regen; punt Y) kan een deel bevatten van 3,5 mm in 15 minuten (gem. intensiteit 0,23 mm/min), welk deel weer een z.r., maar geen s.r. is.

In een ander geval bevat dit deel 4,8 mm over 23 minuten (eveneens gem. intensiteit 0,21 mm/min) – zie punt T –, zodat dit deel en een zware regen en een stortregen is. In weer een ander geval komt er een deel voor van 13,8 mm in 65 minuten ($i = 0,21$ mm/min) (Zie punt P). Dit deel is dan zeker en een zware regen en een stortregen.

Men vergelijke hiermede de definities van Hartman en van Braak (zie M.V. 15 en 34a). Zij komen ons voor niet volkomen duidelijk te zijn.

Hartman: Een stortbui is een bui, waarbij de neerslag minstens 0,2 mm per minuut bedraagt en die in het geheel 4 mm of meer binnen het uur oplevert [22].

Braak: Een stortbui is een bui van minstens 0,2 mm per minuut en 4 mm per uur (ook zware regen geheten, zie blz. 18 in M.V. 34a).

3.1.3 Een zeer zware regen 1) Een gehele regen van 5 minuten of meer, met een gemiddelde intensiteit van 1,0 mm/min of meer. 2) Het zo lang mogelijk uitgekozen en tenminste 5 minuten durend deel van een regen, waarover de gemiddelde intensiteit 1,0 mm/min is of er zo dicht mogelijk boven ligt.

Zo kan in een regen totaal 25,3 mm in totaal 150 minuten vallen (gem. intensiteit 0,17 mm/min). Is er een intens gedeelte van 6,8 mm in 6 minuten, waarover de gemiddelde intensiteit dus 1,13 mm/min bedraagt, dan bevat deze regen van 150 minuten dus een zeer zware regen van 6 minuten.

3.1.4 Een hevige regen. Tenslotte meenden wij, dat het nuttig zou zijn in ons onderzoek de regens op nog een andere wijze te analyseren (enigszins analoog aan wat Brak bedoelt in § 12 van M.V. 34a). Daartoe zochten wij uit elke curve een zolang mogelijk durend deel op, waarlangs, van moment tot moment (dus doorlopend), de intensiteit tenminste 0,20 mm/min bedraagt (aanhoudend „zeer” intens). Dit zijn dus zeker zware regens en wel opnieuw bijzondere, zware regens. Wij noemden deze regens eenvoudigheidshalve *hevige regens* (een betere naam is later wellicht nog te vinden). Het is duidelijk, dat de grens 0,20 mm/min vrij willekeurig gelegd is, hij hangt namelijk slechts met de definitie van de zware regen samen, terwijl deze weer min of meer door de praktijk gegeven is. Het vergde te veel werk de regens ook naar andere drempelwaarden te analyseren (voor een afzonderlijk onderzoek, in verband met een regenverlet-kwestie, hebben wij de grens ook bij 0,02 mm/min gelegd, zie hoofdstuk 5).

3.1.5 In fig. 1 vinden de s.r. volgens de H-B-definitie geen plaats, aangezien het „tenminste 4 mm”-criterium op de ganse regen betrekking heeft en het „tenminste 0,20 mm/min”-criterium op het speciale gedeelte. De hevige regens liggen links van de rechte a en in hoofdzaak rondom de „rechte” e.

Men lette wel op de juiste interpretatie. Voorbeeld: de hoeveelheden in hevige regens van 30 (eigenlijk $30 \pm 2\frac{1}{2}$) minuten duur, bedragen gemiddeld 9 mm. De minimale hoeveelheid in zulk een h.r. is natuurlijk $6 (= 30 \times 0,2)$ mm. De hevige regens van bijv. 60 ($60 \pm 2\frac{1}{2}$) minuten bevatten, gemiddeld genomen, 18 mm (eerder wat minder) en minimaal 12 mm. Gemakshalve is in deze figuur de kromme e als een rechte lijn getekend. Eigenlijk is e een gebogen curve, welke, zeer waarschijnlijk, voor grotere durren asymptotisch tot de rechte a (0,20 mm/min) nadert. Dit hebben wij met de, met een vraagteken gemerkte, tak aangegeven. Het materiaal laat niet toe de juiste vorm van e voldoende betrouwbaar vast te stellen.

De zware regens liggen in het gebied I; voor zover zij deelregens zijn, zouden zij (althans als de registratie ideaal fijn zou zijn) precies op de rechte a moeten liggen. Vanwege het feit, dat de pluviocurven nimmer haarfijn zijn en vanwege het bestaan van zware, volledige regens, leveren de z.r. een puntenwolk in gebied I, welke zich verdicht tegen de rechte en verdunt zowel naar links als naar boven.

3.2 Opmerkingen

3.2.1 De Hartman-Braak definitie van een stortregen was aanleiding, dat wij ook een onderzoek instelden naar die zware regens, waarbij niet in het zware deel, maar wel in de ganse regen 4 mm viel, binnen of in een uur. Zie onder „Stortregens”, 4.3.1.

Dit „binnen of in” lichten wij toe met twee voorbeelden:

a. totaal 4,3 mm in totaal 30 minuten, met een zwaar deel van 3,5 mm over 15 min. Volgens onze definitie geen, volgens de gegeneraliseerde Hartman-Braak wél een stortregen (het geval „binnen”).

b. Totaal 5,2 mm over 130 minuten, met een zwaar deel van 3,4 mm over 16 min. Wanneer daarbij 4 mm viel in een ononderbroken tijdsverloop van ten hoogste 60 minuten, dan heet toch dit zware deel (3,4 mm; 16 min) een stortregen volgens Hartman-Braak, doch niet volgens onze definitie. Men bedenke wel dat het hier onderstelde geenszins noodzakelijk uit het gegeven „5,2 mm in 130 minuten” volgt. Wel is er bij een regen, waarin over de volle duur van 130 minuten een hoeveelheid van bijv. 25,2 mm valt, terwijl een zwaar deel van 3,4 mm in 16 minuten aanwezig is, beslist een één-uur-gedeelte met 4 of meer mm te vinden.

De lezer heeft ongetwijfeld opgemerkt, dat de H-B-definitie iets „tweeslachtigs” heeft: in de definitie wordt nl. gesproken èn van de deelregen zelf èn van de ganse regen of een gedeelte daarvan, dat de deelregen als deel bevat. Deze tweeslachtigheid hebben wij willen vermijden, door de definities zo te formuleren, dat de stortregens en hevige regens bijzondere types van zware regens zijn, terwijl bij Hartman en Braak de namen zware regens en stortregens door elkaar gebruikt worden.

3.2.2 Het was vroeger veelal de gewoonte de pluviocurve louter op het oog in vrijwel rechte delen te verdelen en van elk dezer de hoeveelheid en duur te noteren, alsmede het quotiënt van deze grootheden. Nu eens gelukt dit vrij goed, dan weer is het zeer moeilijk. In elk geval is dit nogal subjectief. Zo kan het gebeuren, dat men in een ganse regen van 62 mm in 55 minuten een vrij recht deel kan onderscheiden van 2,8 mm over 4 minuten (intensiteit 0,70 mm/min). In ons onderzoek gingen wij liever anders te werk en verlengden wij zulk een deel van 4 minuten naar beide kanten zoveel mogelijk, zodat er kwam bijv. 3,2 mm in 10 minuten (int. 0,32) of 3,7 mm in 15 minuten (int. 0,24) en tenslotte zelfs 3,9 mm in 20 minuten (int. 0,20). Dan werden deze $h = 3,9$ mm; $t = 20$ minuten, $\bar{i} = 0,20$ mm/min getabelleerd (en niet de eerstgenoemde 2,8 mm, 4 minuten; 0,70 mm/min).

3.2.3 In 2.2 hebben wij uiteengezet wat wij precies bedoelen met de uitdrukking „zo lang mogelijk durend”, een uitdrukking, die men in elk der definities terugvindt.

3.2.4 Het voorgaande moge duidelijk gemaakt hebben:

- a. elke stortregen is een zware regen (maar niet omgekeerd);
- b. elke zeer zware regen is een zware regen; elke zware regen met een gem. intensiteit van 1 of meer mm per min. is alleen dan een zeer zware regen als de duur 5 of meer minuten bedraagt;
- c. iedere hevige regen is een zware regen (maar niet omgekeerd).

HOOFDSTUK 4

ALGEMEEN OVERZICHT VAN AANTALLEN, INTENSITEITEN, HOEVEELHEDEN EN DUREN VAN REGENS VAN VERSCHILLENDE TYPEN

4.1 Regens, ongeacht het type

4.1.1 Aantallen

4.1.1.0 Wij bespreken eerst een groot overzicht der totale aantallen regens, ingedeeld naar de seizoenen en naar de criteria zware, zeer zware en overige regens. Zie tabel 2 ¹⁾.

De eerste splitsing is in de aantallen zware (A) en overige regens (B). Wanneer een regen noch als geheel zwaar is (d.w.z. de gemiddelde intensiteit over de totale duur blijft beneden 0,20 mm/min), noch tenminste een gedeelte, dat p.d. zwaar genoemd moet worden, bevat, valt hij onder de groep „overige regens”. Het ligt voor de hand, dat wij de groep A der zware regens (waartoe natuurlijk ook de zeer zware behoren) allereerst splitsen in de groep A_1 van zware regens, die volledige regens zijn (vooral bij deze zal men gemiddelde intensiteiten – ver – boven de 0,20 vinden) en de groep (A_2) van overige zware regens, die stuk voor stuk een gedeelte van een langere regen zijn. De groep A_1 valt dus uiteen in drie ondergroepen A_{11} , A_{12} en A_{13} (men zou ook A_{11} en A_{12} eerst samen als één ondergroep kunnen beschouwen) en wel in verband met de omstandigheid of er al of niet sprake is van een zeer zware regen bij deze zware regens. Men kan twee gevallen onderscheiden: of de zware regen is een volledige regen en wel met een gemiddelde intensiteit van tenminste 1 mm/min (en een duur van tenminste 5 minuten), in welk geval deze volledige regen en zwaar en zeer zwaar is (groep A_{11}), of de zware regen (weer een volledige regen zijnde) bevat een gedeelte, dat zeer zwaar is (groep A_{12}). Deze twee ondergroepen afgezonderd zijnde, blijft van alle zware regens van groep A_1 een restgroep A_{13} over. Deze bevat kennelijk zware regens (weer tevens volledige regens), waarin geen zeer zwaar deel te onderkennen is. Het is logisch ²⁾,

¹⁾ De kritische lezer zal opmerken, dat het totale aantal regens (per jaar, per seizoen; verschillende typen), op verschillende plaatsen in deze verhandeling genoemd, niet overal hetzelfde is. De oorzaak is, dat de regens naar zeer verschillende gezichtspunten werden geanalyseerd, waarbij een zelfde regen in de ene classificatie wel, in de andere niet mee-geteld werd (zie bijv. blz. 19). De waarde van de resultaten onderging hiervan generlei gevolgen.

²⁾ Waarom logisch? In 2.2 werd uiteengezet, dat louter vanwege de betrekkelijke grofheid van het coördinatennet op de pluviostrook een zware regen, deel zijnde van een langere regen, dikwijls een gemiddelde intensiteit boven de 0,20 mm/min (echter er betrekkelijk dicht boven) heeft, maar dat deze ook nog boven de 1,00 zou uitkomen, is zeldzaam. Alleen als de registratie ideaal fijn in een ideaal coördinatennet zou zijn, zou deze gemiddelde intensiteit precies 0,20 zijn (qua definitie van z.r.)

TABEL 2

DE BILT 1926-1948

Overzicht der totale aantallen

Schema	T Alle regens (all rains) <pre> graph TD T[T Alle regens (all rains)] --> A[zware (A) (heavy)] T --> B[overige (B) (remaining)] A --> A1[geheel (A1) z.r. (wholly heavy)] A --> A2[gedeeltelijk (A2) z.r. (partly heavy)] A1 --> A11[geh. z.z.r. (wholly very heavy) A11] A1 --> A12[ged. z.z.r. (partly very heavy) A12] A1 --> A13[ov. r. (remaining) A13] A2 --> A21[ged. z.z.r. (partly very heavy) A21] A2 --> A22[ov. z.z.r. (remaining) A22] </pre>
Jaar	<pre> graph TD 8367 --> 776 8367 --> 7591 776 --> 149 776 --> 617 149 --> 0 149 --> 21 149 --> 128 617 --> 10 617 --> 617 </pre>
Lente (Mrt + Apr + Mei)	<pre> graph TD 1613 --> 98 1613 --> 1515 98 --> 12 98 --> 86 12 --> 0 12 --> 2 12 --> 10 86 --> 2 86 --> 84 </pre>
Zomer (Jun + Jul + Aug)	<pre> graph TD 2243 --> 420 2243 --> 1823 420 --> 112 420 --> 308 112 --> 0 112 --> 17 112 --> 95 308 --> 7 308 --> 301 </pre>
Herfst (Sep + Oct + Nov)	<pre> graph TD 2594 --> 233 2594 --> 2361 233 --> 24 233 --> 209 24 --> 0 24 --> 2 24 --> 22 209 --> 1 209 --> 208 </pre>
Winter (Dec + Jan + Feb)	<pre> graph TD 1917 --> 25 1917 --> 1892 25 --> 1 25 --> 24 1 --> 0 1 --> 0 1 --> 1 24 --> 0 24 --> 24 </pre>

Survey of total numbers of rains of every type

dat aldus groep A_2 niet in drie, maar in twee ondergroepen uiteenvalt. Want een zware regen (deel zijnde van een langere regen) kan al of niet een zeer zwaar deel bevatten (resp. ondergroepen A_{21} en A_{22}).

Wij behandelen nu enige bijzonderheden, die wij op grond van deze indelingen opmerken en die meer hier dan in de overige paragrafen op hun plaats zijn.

4.1.1.1 Het merendeel van alle regens (8367 over 23 jaren) valt in de herfst; dan komt de zomer, vervolgens de winter en tenslotte de lente. De jaarlijkse gang in de aantallen is weergegeven in tabel 3.

TABEL 3

Le	Zo	He	Wi	Jr
19	27	31	23	100 %

4.1.1.2 Natuurlijk zijn de zware regens veel minder frequent dan de overige: het aantal zware regens maakt slechts een klein deel uit van dat aller regens; dat deel, overigens, is weer afhankelijk van het jaargetijde, zoals tabel 4 leert.

TABEL 4

	Le	Zo	He	Wi	Jr
a. Totale aantal regens .	1613	2243	2594	1917	8367
b. Totale aantal z.r.	98	420	233	25	776
c. b in % van a	6	19	9	1	9

4.1.1.3 De zeer zware regens zijn wéér minder frequent; zij maken een nog kleiner deel uit van het totale aantal aller regens. Dit deel (hoogstens ruim één procent) vertoont een uitermate markant seizoenefect (zie tabel 5).

TABEL 5

	Le	Zo	He	Wi	Jr
a. Totale aantal regens	1613	2243	2594	1917	8367
b. Totale aantal z.z.r.	4	24	3	0	31
c. b in % van a	0,2	1,1	1,1	0,0	0,4

4.1.1.4 Het ligt voor de hand de jaarlijkse gang in de aantallen regens van alle typen, die in de aantallen van zware regens en die in de aantallen zeer zware regens met elkaar te vergelijken. Het mag niet verbazen, dat deze juist

bij het laatste type regen het meest spreekt; wij weten uit ervaring, dat de meest intense regens in de zomermaanden vallen (zie tabel 6).

TABEL 6

Jaarlijkse gang in aantal	Le	Zo	He	Wi	Jr
Alle regens	19	27	31	23	100 %
Alleen z.r.	13	54	29	4	100 %
Alleen z.z.r.	13	77	10	0	100 %

4.1.1.5 Vervolgens berekenen wij welk gedeelte van het aantal van alle zware regens zeer zwaar is of een zeer zwaar deel bevat. Daartoe moeten wij de som van A_{11} , A_{12} en A_{21} delen op A_1 (zie tabel 7).

TABEL 7

	Le	Zo	He	Wi	Jr
a. Totale aantal z.r.	98	420	233	25	776
b. Totale aantal z.z.r.	4	24	3	0	31
c. b in % van a	4	6	1	0	4

4.1.1.6 Men vraagt wel hoe dikwijls het voorkomt, dat een regen geheel en al (dus over de volle duur) zwaar is (gemiddelde intensiteiten soms ver boven 0,20 mm/min) en of het aantal van deze bijzondere regens een grote fractie van dat van alle regens vormt. Deze vraag is gemakkelijk te beantwoorden door het aantal A_1 te delen op T (zie tabel 8).

TABEL 8

	Le	Zo	He	Wi	Jr
a. Totale aantal regens	1613	2243	2594	1917	8367
b. Totale aantal regens, die over de volle duur zwaar zijn	12	112	24	1	149
c. b in % van a	0,7	5,5	0,9	1,1	1,8

Het is duidelijk, dat men zulke bijzondere, zware regens vrijwel alleen in de zomer aantreft (op elke 18 regens gemiddeld 3 à 4 zware regens, waarvan er 1 de gehele regen beslaat).

Wij vestigen er de aandacht op, dat in de 23 jaren 1926–1948 geen regen viel, welke voor de volle duur zeer zwaar was (alle vijf aantallen A_{11} zijn nul). Zulk een merkwaardige regen (meer dan 5 minuten durende en met een ge-

middelste intensiteit van tenminste 1,0 mm/min) is blijkbaar uiterst zeldzaam (in de jaren 1899–1925 kwam er vermoedelijk maar één voor, te De Bilt althans). In hoofdstuk 5 wordt medegedeeld, dat de grootste gemiddelde intensiteit (in een volledige regen), die in het ganse materiaal gemeten werd, 0,70 mm/min bedraagt. Deze regen duurde toevallig precies 5 minuten en bracht 3,5 mm (14-7-1934).

4.1.1.7 Vervolgens merken wij op, dat slechts een klein deel van het aantal van alle zware regens een „volledige zware regen” is (een regen, welke voor de volle duur een zware regen is). 's Zomers: 27 %, 's winters: 4 %. Men vindt dit deel door A_1 op A te delen.

Een klein deel van het aantal van alle regens, die voor de volle duur een zware regen zijn, is bovendien gedeeltelijk een zeer zware regen. 's Zomers: 15 %; 's winters: 8 %. Men vindt dit deel door A_1 op A_{12} te delen. Zulke eigenaardige zware regens kwamen in de winter in het geheel niet voor.

4.1.1.8 Hoewel de frequenties der regens van de verschillende typen voor de maanden afzonderlijk ter sprake komen in de desbetreffende paragrafen, menen wij er goed aan te doen reeds nu in een enkele grafiek (fig. 2) een algeheel overzicht te geven. De figuur behoeft weinig toelichting. Wel zij nog vermeld, dat de krommen gebaseerd zijn op de gegevens in tabel 9.

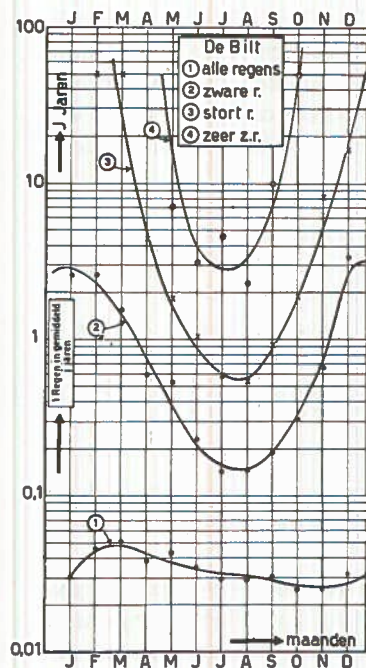


FIG. 2. Frequency of a rain of every type (1); of a heavy rain (2); of a downpour (3) and of a very heavy rain (4). The capitals J, F D represent the months of January, December. Example:

A heavy rain in May occurs once in $j = 0,4$ year. The fact is stressed, that this figure 0,4 has been obtained by dividing the total number of heavy rains in the May months of the basic period 1926–1948 by 23. It is not meant to say that a May with at least one heavy rain occurs once in 0,4 years

TABEL 9

DE BILT

Alle regens, zware regens, hevige regens, in 23 jaren (1926-1948)

Stortregens, zeer zware regens, in 50 jaren (1899-1948)

Totale aantallen

		Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Alle regens	1.	678	505	457	613	543	74	795	794	755	924	915	734
Zware regens	2.	9	9	15	39	44	102	161	157	123	75	35	7
Stortregens	3.		1	1	11	28	52	86	92	55	26	6	3
Hevige regens	4.	9	9	15	39	45	103	162	161	123	75	35	8
Zeer zware regens	5.					7	16	11	22	5	1		

Total numbers of:

1. All rains (1), heavy rains (2), very intense rains (4), in 23 years (1926-1948)

2. Downpours (3), very heavy rains (5), in 50 years (1899-1948)

De krommen 1 t/m 4 zijn zo vloeiend mogelijk tussen de corresponderende punten door getrokken. Het behoeft geen betoog, dat natuurlijk de ligging van in het bijzonder de curven 3 en 4 zeer onzeker is. Wij vestigen nogmaals de aandacht op de zeer markante jaarlijkse gang.

4.1.1.9 De dagelijkse gang

Bij ruim 8300 regens, waarvan het beginpunt scherp van de strook was af te lezen, hebben wij geteld hoevele begonnen in elk der 24 uurvakken van het etmaal en wel voor elk der vier jaargetijden afzonderlijk. Het is vrij algemeen bekend, dat intense regens een duidelijke dagelijkse gang vertonen; doch hoe is deze als wij noch op de duur, noch op de hoeveelheid, noch op het type van de regen letten? Terwijl de intense regens gevolg zijn van weersontwikkelingen, die sterk met het tijdstip van de dag samenhangen, is dit met de „gewone” regens in veel mindere mate of in het geheel niet het geval ¹⁾. Aangezien juist deze regens ver in de meerderheid zijn, verbaasde het ons niet, dat de dagelijkse gang van alle regens zeer weinig markant bleek. Toch bleek het materiaal voldoende groot om tot significantie voor de zomerregens te kunnen concluderen. Daarentegen bleek de dagelijkse gang in de aantallen regens in elk der andere jaargetijden niet statistisch zeker aanwezig (zie de figuren 3 en 4).

In figuur 3 hebben wij de krommen der vier seizoenen tezamen gebracht. Een eerste blik op deze grafiek leert reeds, dat vooral de krommen voor de

¹⁾ Men bedenke, dat onze statistiek betrekking heeft op regens ongeacht oorsprong of meteorologische type. Wij weten, dat er frontregens zijn, regens bij zeer plaatselijke weersontwikkelingen, regens bij een over het gehele land gelijke weerssituatie, enz. Een scheiding naar al deze gevallen (zo deze al voor een voldoende groot aantal jaren uitvoerbaar geweest zou zijn) zou tot een studie op zichzelf geleid hebben, waarvoor de tijd ontbroken heeft

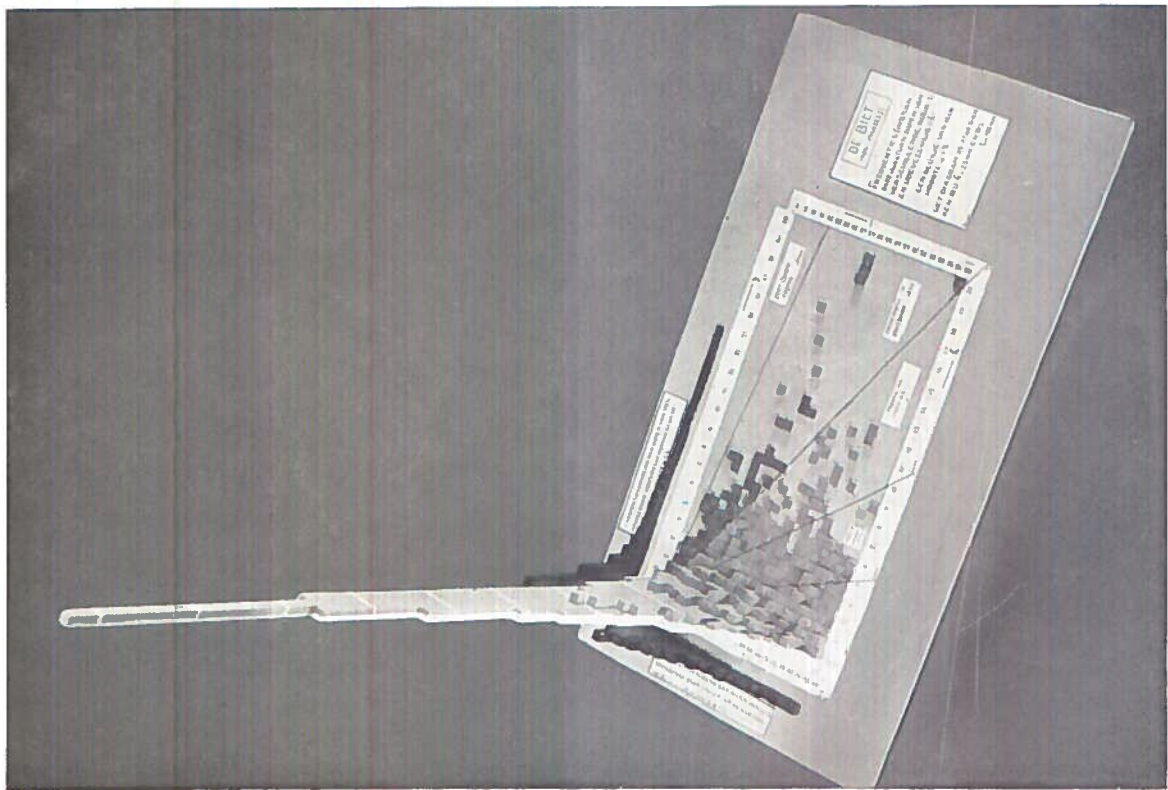
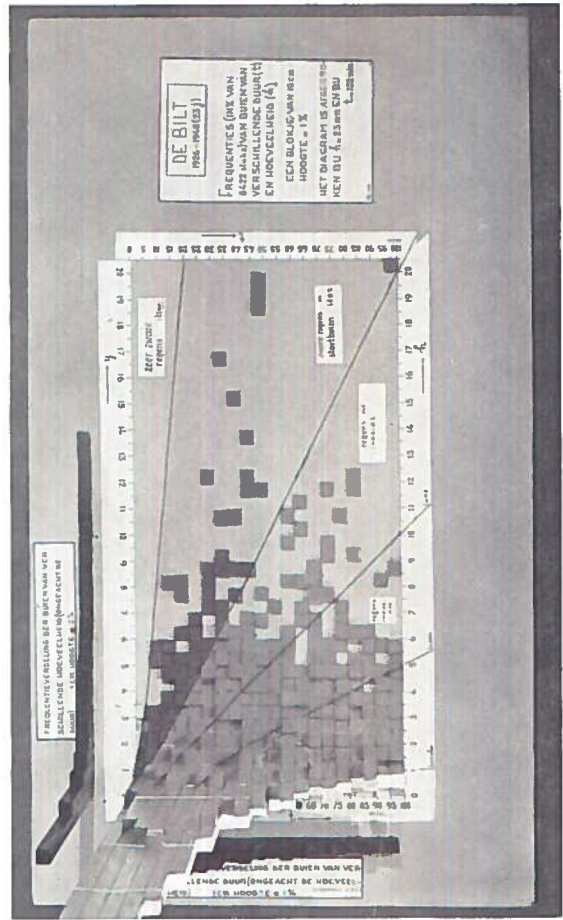
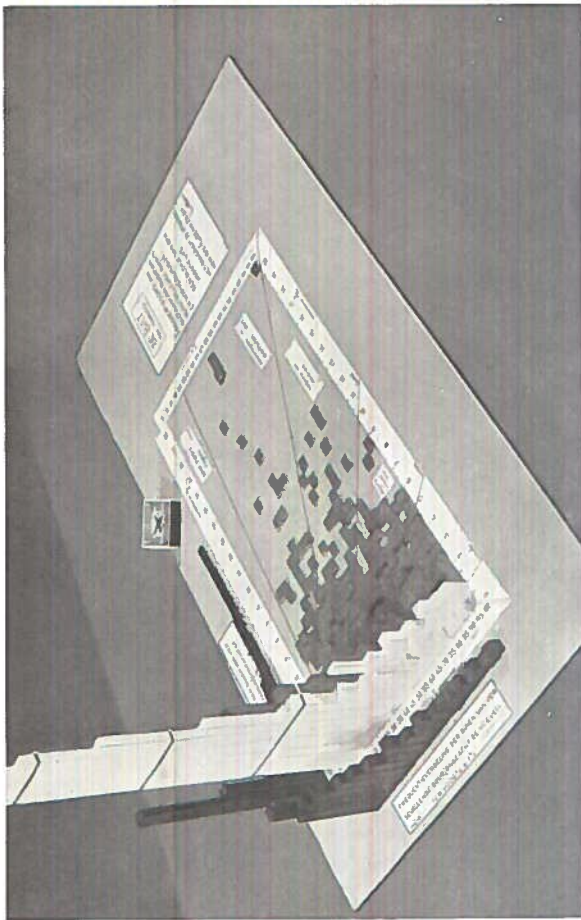


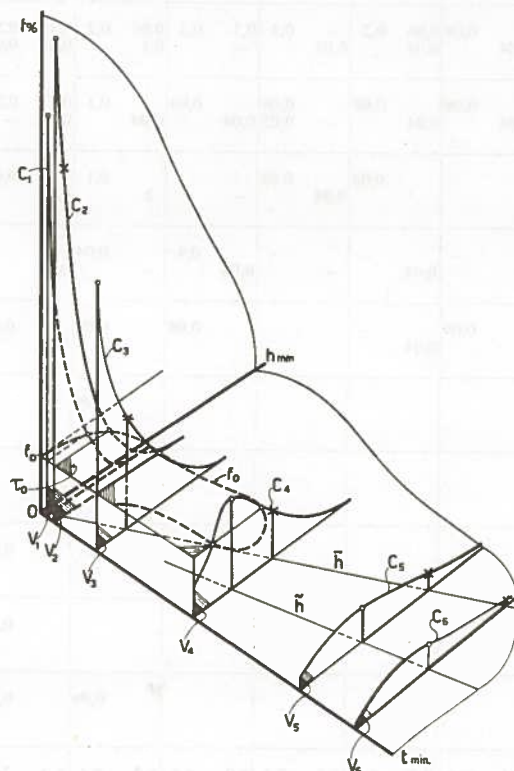
FIG. 6.

DE BILT 1926-1948

Ruimtelijke schets (louter illustratief) van het driedimensionale oppervlak $f = f(h, t)$. Betekenis: er waren $f\%$ van alle regens in de 23 jaren met een hoeveelheid $h - \frac{1}{2}$ à $h + \frac{1}{2}$ mm en een duur $t - 2\frac{1}{2}$ à $t + 2\frac{1}{2}$ min.

De ligging van het glad-gedachte f -oppervlak wordt verduidelijkt met de doorsneden $C_1, \dots, C_6$ van een 6-tal platte vlakken $v_1, \dots, v_6$, alle $\perp t$ -as. De doorsneden C_4, C_5 en C_6 hebben een „apart gelegen” top (de punten 0), de andere hebben de top in het f - t -vlak (J -vormige krommen). Elke kromme C heeft behalve een modus of top ook een gemiddelde (de punten x). De meetkundige plaats der projecties op het h - t -vlak van de modi en gemiddelden zijn de krommen $\bar{h} = \bar{h}(t)$ en $\tilde{h} = \tilde{h}(t)$.

Verder is τ_0 een plat vlak van constante frequentie f_0 (bijv. 1 op 5 jaren), dat het f -oppervlak volgens de kromme f_0 ontmoet. Men lette op de „terugkeer” van deze frequentiekromme, rechts. Het ruimtelijke oppervlak heeft namelijk een rug langs het f - t -vlak, lager wordende en zich van het f - t -vlak verwijderende met grotere t en in het f - t -vlak verdwijnend met kleinere t .



A schematical perspective drawing, which illustrates the actual shape of the model photographed in fig. 5. See text for further explanation

TABEL 10

DE BILT

Procentuele frequentieverdeling der regens van onverschillig
 t = duur in min; h = hoeveelheid in mm; totale aantallen

$t \backslash h$	1-5		6-10		11-15		16-20		21-25		26-30		31-40		41-50		51-60		61-70		71-80	
0,1- 1,0	6,5 8,3	8,9 5,1	9,8 11,5	10,7 7,6	6,8 8,7	7,7 6,3	6,8 6,9	5,8 6,7	5,0 4,7	4,5 6,4	4,6 4,0	3,9 4,5	6,0 4,6	4,9 6,6	3,4 4,2	3,0 4,9	3,4 2,5	1,2 2,8	1,8 1,0	1,1 2,0	1,6 0,8	0,8 2,3
1,1- 2,0	0,1 0,2	1,2 -	0,6 0,7	1,3 0,2	0,6 0,8	1,4 0,2	0,9 1,1	1,7 0,4	0,6 1,0	1,6 0,7	0,9 1,0	1,5 0,6	1,0 2,3	1,7 1,6	0,9 1,9	1,5 1,5	1,1 1,8	1,3 1,9	1,2 1,3	1,2 1,5	0,6 1,0	0,9 1,1
2,1- 3,0	- 0,04	0,09 -	0,06 0,2	0,3	0,2 0,2	0,4	0,2 0,2	0,5	0,06 0,3	0,8 0,1	0,3 0,3	0,6 0,10	0,6 0,4	0,6 0,2	0,3 0,7	0,8 0,4	0,8 0,6	0,9 0,4	0,4 0,7	0,9 0,7	0,5 0,4	0,6 0,4
3,1- 4,0		0,04	-	0,1	0,06 -	0,2	0,06 0,04	0,2	-	0,1 -	0,06 0,04	0,08	0,3 0,4	0,4 0,1	0,2 0,3	0,5 0,05	0,3 0,3	0,5 0,10	0,06 0,4	0,5 0,10	0,06 0,2	0,4 0,3
4,1- 5,0			-		0,09 0,04	0,06 0,08	0,2	-	0,1 0,08	0,1 -	0,1	0,1	0,06 0,1	0,2	0,1 0,08	0,5 0,05	0,2 0,08	0,2 0,05	-	0,3 -	0,2 0,2	0,1
5,1- 6,0			0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	-	0,08 0,05	0,08	0,08	-	0,1 0,04	0,1	0,1 0,1	0,2 -	0,06 0,1	0,09 -	-	0,08 -	-	0,08
6,1- 7,0							0,04	0,04	0,08	-	-	2	0,1	0,08	0,08	-	0,09	0,08	0,04	0,05	0,04	0,04
7,1- 8,0					-	0,04	-	-	-	0,04	0,4	-	0,04	0,04	-	-	0,09	0,04	0,2	-	0,08	
8,1- 9,0					0,04	0,04	-	-	-	0,08	0,09	0,04	0,04	-	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-	-	
9,1-10,0													0,04	-	0,04	-	0,04	-	-	-	0,04	
10,1-11,0													0,09	0,08		0,04	-	-	-	-	0,04	
11,1-12,0															0,09	-	-	-	0,04	-	0,04	
12,1-13,0															0,09	-	-	-	-	-	-	
> 13,0													0,09	0,3	0,04	-	-	-	0,04	-	0,04	
Som	6,6 8,5	10,2 5,1	10,5 12,4	12,4 7,8	7,6 9,8	10,0 6,6	8,0 8,4	8,6 7,1	5,7 6,1	7,3 7,2	6,0 5,4	6,4 5,2	8,0 7,8	8,4 8,5	5,0 7,5	7,0 6,8	5,8 5,4	4,5 5,2	3,5 3,8	4,0 4,4	2,9 2,7	3,2 4,1

Percentage frequency distribution of rains of every type; t = duration in minutes; h = rainfall in millimeters;

1926-1948

welk type (— als aantal $\neq 0$, doch proc. aantal $< 0,01$)

(in 23 jaren); Le: 1613; Zo: 2243; He: 2594; Wi: 1917

Le	Zo
He	Wi

80-90		91-100		101-110		111-120		121-140		141-160		161-180		181-200		201-220		221-240		> 240		Som	
1,16 0,34	0,5 0,8	1,1 0,4	0,4 0,5	0,2 0,5	0,2 0,7	0,5 0,3	0,1 0,6	0,6 0,3	0,1 0,4	0,1 0,2	— 0,4	0,06 0,08	0,04 0,05	— 0,04	— —	— —	— 0,05	— —	— —	— —	— —	59,4 59,4	53,9 58,7
1,1 0,5	0,6 1,6	0,9 0,6	0,2 0,9	0,9 0,5	0,2 1,0	0,5 0,6	0,4 1,2	1,1 0,8	0,6 1,0	1,0 0,3	0,2 0,9	0,9 0,2	0,04 0,8	0,2 0,3	— 0,3	0,2 0,2	0,09 0,2	0,06 0,1	— 0,3	0,2 0,1	0,04 0,1	15,5 17,4	17,6 18,0
0,7 0,3	0,4 0,5	0,3 0,3	0,2 0,6	0,3 0,5	0,4 0,5	0,3 0,5	0,1 0,6	0,5 0,3	0,2 0,8	0,3 0,4	0,2 0,5	0,5 0,5	0,2 0,6	0,7 0,3	0,1 0,9	0,2 0,2	0,08 0,5	0,4 0,3	0,04 0,6	0,4 0,3	0,1 0,7	7,8 7,7	8,1 9,0
0,2 —	0,2 0,2	0,6 0,3	0,08 0,25	0,3 0,3	0,4 0,15	0,3 0,2	0,2 0,2	0,5 0,3	0,5 0,3	0,7 0,3	0,2 0,5	0,4 0,2	0,2 0,3	0,2 0,08	0,2 0,65	0,4 0,08	0,08 0,45	0,2 0,3	0,2 0,25	1,0 0,4	0,2 0,9	5,4 4,2	5,5 4,8
0,2 0,3	0,04 0,1	0,3 0,08	0,2 0,2	0,06 0,2	0,09 0,05	0,06 0,1	0,1 —	0,1 0,4	0,2 0,05	0,6 0,1	0,08 0,3	0,1 0,2	0,08 0,3	0,3 0,1	0,2 0,2	0,3 0,1	— 0,4	0,4 —	0,08 0,3	0,4 0,3	0,3 0,9	3,4 2,7	3,3 2,8
0,06 —	0,1 0,05	— 0,04	0,09 0,05	— —	0,08 —	0,06 0,2	0,04 —	0,12 0,2	0,3 —	— 0,08	0,3 0,1	0,06 0,2	0,1 0,2	0,1 0,08	0,04 0,2	— 0,2	0,00 —	0,1 0,2	0,04 0,05	0,9 0,4	0,5 1,1	1,6 2,1	2,5 1,8
0,06 0,04	0,09 —	— 0,04	— —	— —	0,04 0,05	— 0,04	— 0,10	0,1 0,20	0,08 0,10	— 0,08	0,2 0,2	0,1 0,08	— 0,05	0,06 —	0,3 —	— 0,1	0,2 0,2	0,06 —	— 0,2	0,3 0,4	0,09 0,9	0,7 1,2	1,5 1,8
— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	0,2 0,08	0,04 0,08	0,06 0,08	0,1 0,1	0,1 0,05	0,08 0,05	— 0,04	— 0,05	0,1 0,08	0,04 —	— 0,04	— —	0,2 0,4	0,2 0,6	0,6 1,0	0,9 0,7
— —	— —	0,04 0,04	0,04 —	— —	— —	— —	— —	0,08 0,08	— 0,04	0,08 0,04	— 0,1	0,06 0,04	— 0,04	— 0,04	— —	0,06 0,08	— —	— 0,1	0,04 0,05	0,5 0,6	0,1 0,4	0,6 1,1	0,7 0,4
— —	0,04 —	— —	— —	— —	— —	0,04 —	0,04 —	0,04 0,04	— 0,1	— 0,08	0,04 —	0,08 —	0,09 —	0,06 0,04	0,08 0,2	— 0,08	0,0 —	0,3 0,5	0,1 0,8	0,3 1,0	0,1 0,9	0,3 1,0	0,6 0,9
— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	0,04 0,04	0,1 0,04	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— 0,05	0,04 0,05	0,3 0,4	0,1 0,2	0,3 0,5	0,4 0,2	0,4 0,2
— —	0,04 —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	0,04 0,04	0,04 —	0,04 —	0,04 —	0,04 —	— —	0,04 —	— —	— —	0,04 —	— —	— —	0,2 0,1	0,4 0,2	0,2 0,2	0,7 0,2
0,04 —	— —	— —	— —	— —	— —	0,06 —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	0,04 —	0,04 0,05	0,2 0,3	0,2 0,4	0,3 0,3	0,4 0,4	0,4 0,4
— —	0,09 —	0,06 —	2,04 —	0,1 0,04	— —	0,09 0,06	0,1 0,08	— —	0,09 —	0,1 0,08	— —	0,09 —	0,1 —	— —	0,09 0,2	— —	— —	0,04 —	0,04 —	1,0 1,0	0,8 0,08	1,2 1,5	2,0 0,8
3,4 1,5	2,0 3,2	3,2 1,8	1,3 2,4	1,7 2,0	1,5 2,4	1,7 2,0	1,1 2,7	3,3 2,9	2,3 2,6	2,4 1,8	1,6 3,0	2,4 1,7	0,9 2,4	1,5 1,1	0,9 2,4	1,2 1,3	0,7 1,8	1,2 1,1	0,5 1,8	5,8 5,3	3,3 8,0	100 100	100 100

total numbers (in 23 years), Le (spring): 1613; Zo (summer): 2243; He (autumn): 2594; Wi (winter): 1917

TABEL 11

DE BILT

Procentuele frequentieverdeling der regens, onverschillig het type

$t \backslash h$	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
0,1- 1,0	7,4	10,1	7,5	6,6	5,1	4,2	5,5	3,9	2,5	1,4	1,3
1,1- 2,0	0,4	0,7	0,8	1,1	1,0	1,0	1,8	1,9	1,5	1,3	0,9
2,1- 3,0	0,04	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6	0,5
3,1- 4,0	0,01	0,02	0,08	0,09	0,05	0,05	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
4,1- 5,0			0,04	0,1	0,06	0,08	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
5,1- 6,0		0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,07	0,1	0,07	0,06	0,04
6,1- 7,0				0,01	0,03		0,06	0,05	0,02	0,05	0,05
7,1- 8,0				0,01		0,02	0,02	0,01	0,01	0,07	0,04
8,1- 9,0			0,01	0,01		0,02	0,02	0,01	0,01	0,05	
9,1-10,0							0,01		0,01		0,02
10,1-11,0							0,02	0,02	0,01		0,01
11,1-12,0								0,02		0,01	0,01
12,1-13,0						0,01		0,02			
> 13,0							0,02	0,07	0,01	0,01	0,01
Som	7,8	11,0	8,6	8,2	6,6	5,8	8,3	7,0	5,3	3,9	3,3

Percentage frequency distribution of rains of every type

4.1.2 Hoeveelheden en uren

4.1.2.1 Frequentie, duur en hoeveelheid

Voor een eerste oriëntatie maakten wij van de regens, onverschillig het type, een procentuele frequentieverdeling naar duur en hoeveelheid tegelijk; duurintervallen van 5 minuten (1-5; 6-10 etc. minuten) en hoeveelhedsintervallen van 0,5 mm (0,1-0,5; 0,6-1,0 etc. mm). Aldus werden 5 frequentietabellen samengesteld, 4 voor de seizoenen, 1 voor het jaar. Zij zijn te omvangrijk voor een volledige publicatie. Door verbreding van de intervallen verkregen wij een 5-tal schema's, die in de tabellen 10 en 11 verenigd zijn. Aangezien de tabellen afgebroken zijn bij 4 uren en 13 mm vermelden wij in tabel 12 nog enkele aanvullende details.

Wij hebben met behulp van de basis frequentie-tabellen een ruimtelijk model gebouwd (zie de foto's in fig. 5 en fig. 6). Horizontaal ligt het h - t -vlak, langs de verticale as is de f uitgezet (f = relatieve frequentie; 10 cm stelt 1 % voor). Vielen er bijv. 1,90 % regens (d.i. $0,0190 \times 8367 = 159$ stuks in 23 jaren) van

1926-1948

 t = duur in minuten; h = hoeveelheid in mm. Totale aantal (in 23 jaren): 8367

81-90	91-100	101-110	111-120	121-140	141-160	161-180	181-200	201-220	221-240	> 240	Som
0,6	0,6	0,4	0,3	0,3	0,1	0,06	0,01	0,01			57,9
0,9	0,5	0,7	0,7	0,9	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,01	17,5
0,5	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3	8,0
0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	4,5
0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	3,1
0,06	0,07	0,02	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,5	2,0
0,05	0,01	0,02	0,03	0,1	0,1	0,05	0,08	0,4	0,05	0,5	1,4
				0,06	0,03	0,1	0,02	0,08	0,01	0,4	0,9
	0,02	0,01		0,02	0,03	0,02	0,01	0,04	0,05	0,3	0,6
0,01		0,01	0,01	0,02	0,04	0,03	0,04	0,06	0,03	0,4	0,7
		0,01		0,01	0,03			0,01	0,02	0,3	0,4
0,01				0,01		0,01	0,01	0,02		0,2	0,3
0,01		0,01		0,01				0,01		0,2	0,2
0,04	0,02	0,02	0,04	0,07	0,02	0,09	0,09	0,06	0,02	1,0	1,5
2,4	1,8	2,1	1,9	2,7	1,9	1,7	1,6	1,3	1,1	5,0	100

 t = duration in minutes; h = rainfall in millimeters. Total number: 8367

6 à 10 minuten en 0,6 à 1,0 mm, dan wordt deze frequentie in het model voorgesteld door een staafje van 19 cm lengte. Aan dit ruimtelijke model kunnen wij verschillende dingen opmerken. Zo is het „oppervlak” nog verre van glad. Dit is te begrijpen: het materiaal van 23 jaren is nog te klein. Verder steekt de staaf boven 0,1-0,5 mm en 6-10 min ver boven de naburige staven uit, d.w.z. de regens van deze zeer korte duur en zeer kleine hoeveelheid zijn zeer markant het meest frequent. Het is jammer, dat wij niet kunnen bewijzen, dat regens van 6-10 min en 0,1-0,5 mm statistisch reëel meer voorkwamen dan die van 1-5 min en dezelfde hoeveelheden. De kwestie is n.l., dat hier-toe vereist zou zijn, dat wij van alle regens de duur tot op een minuut nauwkeurig zouden hebben kunnen aflezen en dat was, zoals meermalen gezegd werd, in talrijke gevallen niet mogelijk. Wij lazen echter in artikelen van verschillende onderzoekers [23], dat niet de regens van de „allerkortste” duur het meest frequent zijn, zodat onze uitkomsten daarmee (doch onder genoemd voorbehoud) in overeenstemming zijn. Als wij ons nu door de bovenzakjes der staven een glad oppervlak denken, wat merken wij dan verder op? In iedere

TABEL 12

 DE BILT 1926-1948
 Regens onverschillig het type

	Le	Zo	He	Wi	Jr
1. Langste duur in min	1610	875	1070	1415	1610
2. Grootste hoeveelheid in mm	51,8	48,3	32,2	48,7	51,8
3. Totale aantal regens van langer dan 4 uren	94	73	137	153	457
4. Totale aantal regens met meer dan 13 mm	20	45	38	15	118
5. Totale aantal regens en van langer dan 4 uren en met meer dan 13 mm	16	18	26	15	75

Rains of any type whatever.

1. longest duration in minutes

2. largest amount of precipitation in mm

3. total number of rains lasting more than 4 hours

4. total number of rains with more than 13 mm

5. total number of rains lasting more than 4 hours and with more than 13 mm

richting, vertrekkende uit de oorsprong ($h = t = 0$), daalt het f -oppervlak, maar in de verschillende richtingen zeer verschillend. De regens „hoppen zich op” langs de t -as (dus voor kleine hoeveelheden) en worden natuurlijk minder frequent bij toenemende duur. De daling in de h -richting is zeer steil. Wij kunnen ons op tenminste 4 wijzen platte vlakken dwars door het model aan-gebracht denken: a) een vlak $\perp t$ -as, in een waarde $h = h^*$; b) een vlak $\perp h$ -as, in een waarde $t = t^*$; c) een vlak, dat de f -as bevat; zulk een vlak behoort bij een gegeven waarde i^* ; d) een vlak $\perp f$ -as, regens bevattende van een gegeven frequentie f^* . Wij geven thans bij elk dezer gevallen enige commentaar, om er later dieper op in te gaan.

a. *Een vlak $\perp t$ -as.* De doorsnede met het f -oppervlak (een kromme f tegen h , bij gegeven t^*) geeft weer hoe de frequentie van een regen van t^* minuten met toenemende hoeveelheid verandert. Deze krommen lijken voor kleine t^* veel op elkaar; echter hebben zij voor duren, groter dan ongeveer 25 minuten, een top, welke zich beter schijnt af te tekenen bij regens van een langere duur. Wij hebben dan te maken met een meest frequente hoeveelheid $\tilde{h}$ en een gemiddelde hoeveelheid $\bar{h}$ (terwijl $\tilde{h} < \bar{h}$), die beide met toenemende t^* toenemen. Het verband tussen $\tilde{h}$ en t is ongeveer $0,24 \sqrt{t}$, dat tussen $\bar{h}$ en t is moeilijk te berekenen, aangezien de $\tilde{h}$ onmogelijk nauwkeurig te bepalen is (zie fig. 7).

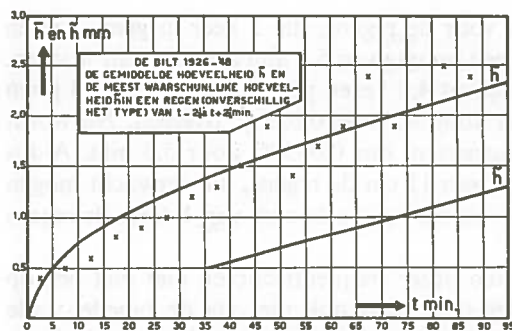


FIG. 7. The mean amount of precipitation h and the most probable one $\bar{h}$ in a rain (of any type whatever) of a duration $t - \frac{1}{2}$ up to $t + \frac{1}{2}$; h in mm; t in min (mind the differences with h and $\bar{h}$ in diagram 64, pg. 221)

b. Een vlak $\perp h$ -as. De doorsnede met het f -oppervlak geeft weer hoe de frequentie van een regen met toenemende duur (en gegeven h^*) verandert. Nu behoort bij elke h^* een frequentiecurve met een meest waarschijnlijke duur $\bar{t}$ en een gemiddelde duur $\bar{i}$ ($\bar{i} < \bar{t}$), beide toenemend met h^* . Ruw genomen neemt $\bar{i}$ toe met de $\frac{3}{4}$ -macht van h . Het verband is ongeveer $\bar{i} = 50,0 h^{0,76}$ (zie fig. 8).

c. Een vlak, dat de f -as bevat. De doorsnede met het f -oppervlak geeft weer de frequentie van regens van een gegeven intensiteit i^* . Dit zijn regens van verschillende h en t , mits $h : t = i^*$. De i^* -waarde hangt samen met de hoek tussen het vlak in kwestie en dat door de h - en f -as (hoe kleiner deze hoek, hoe groter de i^*). Zo kunnen wij een vlak $i^* = 0,01; 0,1; 0,2; 1,0$ mm/min aanbrengen. Dat voor $i^* = 0,02$ heeft betrekking op de zware regens (let wel de regens, die voor de volle duur zwaar waren; daarvan waren er 149 stuks in de jaren 1926–1948; men bedenke wel, dat er veel meer zware regens waren, die elk een deel van een regen vormen, zie tabel 2). Het vlak voor $i^* = 1,0$ mm/min zou een frequentiecurve voor regens, die voor de volle duur zeer zwaar zijn, uit het f -oppervlak snijden (zoals gezegd in 4.1.1.6) kwamen die in de periode 1926–1948 niet voor, in het tijdvak 1899–1925 wellicht 1 of 2 keren).

d. Een vlak $\perp f$ -as. De doorsnede met het f -oppervlak geeft weer hoe de hoeveelheid en de duur van regens van een gegeven frequentie f^* samenhangen.

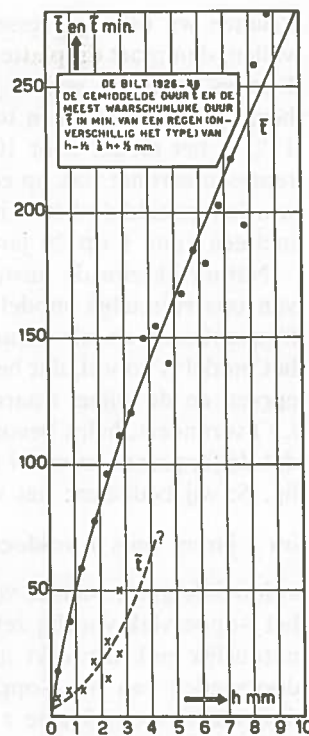


FIG. 8. The mean duration $\bar{i}$ and the most probable duration $\bar{t}$ of a rain (of every type) of $h - \frac{1}{2}$ up to $h + \frac{1}{2}$; h in mm; t in min. It is difficult to compute $\bar{i}$ for $h > 3$. (in figure legend $\frac{1}{2}$ should be read as $\frac{1}{4}$)

Zouden wij bijv. interesse hebben voor de regens, die 1 keer in gem. 5 jaren vallen, dan moet dit platte vlak op een hoogte van 5,5 mm aangebracht worden. Immers 1 keer in gem. 5 jaren betekent 4,6 keren per 23 jaren. Deze 23 jaren bevatten 8367 regens in totaal, dus komt 4,6 met 0,055 % overeen. Nu wordt 1 % in het model door 10 cm aangegeven, dus 0,055 % door 5,5 mm. Aldus representeert het vlak op een hoogte van 11 cm de regens, die verwacht mogen worden gemiddeld 1 keer in 1/4 jaar en dat op een hoogte van 1,4mm de regens met een kans 1 op 20 jaren.

Natuurlijk zijn de juiste gedaanten dezer frequentiecurven niet met behulp van ons ruimtelijk model te vinden (trouwens ook niet via de tabellen; alle frequentiecurven zijn maar benaderingen van de ware), maar het voordeel van het model is vooral, dat het ons op een simpele wijze het inzicht in de vorm der curven en de wijze, waarop deze zich wijzigt, als een der 4 variabelen (h , t , i , f) verandert, helpt bevorderen. Zo willen wij wijzen op de merkwaardigheid, dat de frequentiecurven h tegen t (gegeven f) rechts „terugkeren”, zie de schets fig. 6; wij bedoelen: het schijnt, dat er bij regens van een frequentie 1 keer op j jaren, mits j voldoende groot is $\left(\text{te bedenken: } j = \frac{23}{83,67} \cdot \frac{1}{f} \right)$, bij elke voldoende grote waarde van t twee waarden van h behoren. Dit komt doordat het f -oppervlak voorbij zekere t -waarde een „rug” blijkt te hebben, welke zich natuurlijk ook uitwerkt in de reeds beschreven verandering in vorm van de doorsneden van het f -oppervlak met platte vlakken $\perp t$ -as (het feit, dat deze doorsneden voor kleine t geen, voor grote wel een „apart gelegen” top bezitten). De „werkelijke” vorm van deze en verwante frequentiecurven leiden wij af in hoofdstuk 8.

4.1.2.2 De gemiddelde hoeveelheid en de duur

Het spreekt vanzelf, dat de hoeveelheid in een regen afhangt van de duur van deze. Het verband is niet gemakkelijk vast te stellen; de kwestie is n.l., dat de hoeveelheden in regens van een gegeven duur (of met een duur in een gegeven nauw interval) aanzienlijk kunnen uiteenlopen. Wel neemt, gemiddeld genomen, de hoeveelheid met de duur duidelijk toe. Wij geven dit in tabel 13 weer. Tevens worden de aantallen regens genoemd en de minimale en maximale hoeveelheid, die in de loop der 23 jaren gemeten werd. Het heeft weinig zin om tot duren langer dan $1\frac{1}{2}$ uur te gaan, aangezien de aantallen zo klein worden, dat van een voldoende betrouwbare $\bar{h}$ geen sprake meer is.

Wij hebben de waarden $\bar{h}$, $h_{\min}$, $h_{\max}$, in één grafiek bijeen gebracht (fig. 9). Men ziet hoe groot het verschil tussen $h_{\max}$ en $\bar{h}$ bij grote t wordt. Bij elke t behoort een frequentieverdeling van hoeveelheden. Men vraagt dikwijls in welke mate de hoeveelheid in een regen groter is als de regen langer duurt. Het is duidelijk, dat de vraag scherper gesteld dient te worden. Wij weten wel dat $\bar{h}$ met t toeneemt; doch hoe? Het verband tussen $\bar{h}$ en t kunnen wij met

TABEL 13

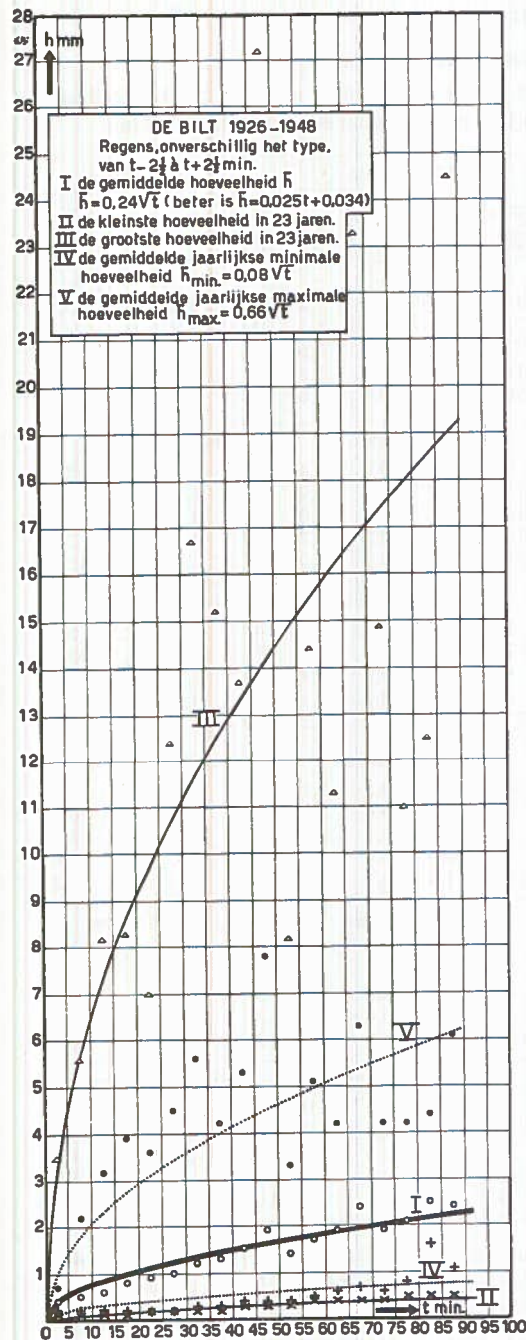
DE BILT 1926-1948

Alle regens (niet gelet op type)

Voorbeeld: er waren in de 23 zomers 72 regens van 36 à 40 minuten. De hoeveelheden daarvan liepen uiteen tussen 0,3 en 15,2 mm, rondom een gemiddelde 1,7 mm

Seizoenen en jaar	t = 1-5 minuten				6-10 minuten				11-15 minuten			
	aantal buien	h	min. h	max. h	aantal buien	h	min. h	max. h	aantal buien	h	min. h	max. h
Le	112	0,3	0,1	1,6	171	0,5	0,1	2,8	115	0,6	0,1	3,9
Zo	229	0,5	0,1	3,5	269	0,6	0,1	5,1	238	0,8	0,1	8,2
He	223	0,4	0,1	2,4	324	0,5	0,1	5,6	256	0,6	0,1	5,6
Wi	89	0,3	0,1	0,7	144	0,4	0,1	1,8	115	0,5	0,2	2,0
Jr	653	0,4	0,1	3,5	908	0,5	0,1	5,6	724	0,6	0,1	8,2
16-20 minuten				21-25 minuten				26-30 minuten				
Le	129	0,7	0,1	4,1	90	0,6	0,2	2,4	102	0,9	0,2	5,0
Zo	185	1,1	0,2	6,1	159	1,2	0,2	6,9	146	1,4	0,2	12,4
He	224	0,8	1,0	8,3	149	0,9	0,2	7,0	146	0,9	0,2	8,0
Wi	115	0,5	0,1	2,0	140	0,7	0,2	5,7	97	0,6	0,2	2,5
Jr	653	0,8	0,1	8,3	538	0,9	0,2	7,0	491	1,0	0,2	12,4
31-35 minuten				36-40 minuten				41-45 minuten				
Le	73	1,4	0,2	16,7	59	1,2	0,3	7,8	48	1,3	0,3	5,6
Zo	112	1,6	0,2	9,2	72	1,7	0,3	15,2	111	2,1	0,3	13,7
He	134	1,2	0,2	10,9	84	1,4	0,2	10,7	114	1,3	0,3	8,9
Wi	81	0,8	0,2	33,1	64	0,8	0,2	3,3	67	0,9	0,3	4,3
Jr	400	1,2	0,2	16,7	279	1,3	0,2	15,2	340	1,5	0,3	13,7
46-50 minuten				51-55 minuten				56-60 minuten				
Le	36	1,2	0,3	5,4	44	1,0	0,3	4,1	50	1,6	0,4	5,3
Zo	61	3,7	0,3	27,2	47	2,1	0,4	5,9	58	2,4	0,4	10,6
He	73	1,5	0,3	7,6	55	1,7	0,3	7,4	87	1,5	0,4	14,2
Wi	58	1,0	0,3	3,9	43	0,9	0,3	2,2	53	1,3	0,4	4,0
Jr	228	1,9	0,3	27,2	189	1,4	0,3	8,2	248	1,7	0,4	14,2
61-65 minuten				66-77 minuten				71-75 minuten				
Le	28	1,4	0,4	10,5	33	2,5	0,4	23,3	29	1,1	0,4	3,0
Zo	44	2,5	0,4	11,3	43	3,1	0,4	14,0	43	3,2	0,5	14,9
He	47	1,8	0,4	4,7	43	2,4	0,4	7,6	33	1,8	0,4	7,6
Wi	37	1,5	0,4	6,9	41	1,4	0,4	3,0	32	1,0	0,4	3,3
Jr	156	1,9	0,4	11,3	160	2,4	0,4	23,3	137	1,9	0,4	14,9
76-80 minuten				81-85 minuten				86-90 minuten				
Le	18	2,5	0,5	7,1	20	2,1	0,5	6,0	36	2,1	0,6	13,5
Zo	30	2,5	0,5	11,0	19	3,3	0,5	12,0	29	4,1	0,5	24,5
He	40	2,2	0,5	6,1	22	2,9	0,6	12,5	17	1,7	0,5	4,6
Wi	37	1,4	0,5	3,7	18	1,2	0,6	3,7	37	1,7	0,6	5,7
Jr	125	2,1	0,5	11,0	79	2,5	0,5	12,5	119	2,4	0,5	24,5

All rains of every type. For instance: In 23 summers there were 72 rains of 36 up to 40 minutes. The amounts of precipitation in these rains vary between 0,3 and 15,2 mm; the average amount was 1,7 mm



verschillende functies $\bar{h} = \psi(t)$ benaderen. Men leest dikwijls van een rechtevenredigheid met $\sqrt{t}$. Welnu, kiest men $\psi(t) = c\sqrt{t}$, dan komt er $\bar{h} = 0,24\sqrt{t}$. Beter is echter $0,28\sqrt{t} - 0,31$ en nog beter is $0,025t + 0,034$. Men kan ook andere functies aanpassen; het heeft echter weinig zin, wanneer men niet op andere dan louter mathematisch-statistische gronden iets meer af weet van de vorm van ψ .

De punten $h_{\max}$, t liggen zeer onregelmatig, hetgeen natuurlijk niet te verwonderen is. Misschien is $2\sqrt{t}$ een aardige aanpassing. (De factor 2 kan echter ook wel 2,8 of 1,3 zijn). De minimumhoeveelheden liggen ongeveer op de rechte $h = 0,006t$. Wij moeten echter met grote nadruk toevoegen, dat eigenlijk de minimale hoeveelheid 0,0 mm is, onverschillig de duur, en dat kleine hoeveelheden in regens van langere

FIG. 9. Rains of every type.

- I. the mean amount of precipitation $\bar{h}$ (mm); see also $\bar{h}$ in fig. 7; $\bar{h} = 0,24\sqrt{t}$ (better is $\bar{h} = 0,025t + 0,034$); t = duration in min
- II. the smallest amount in the basic period of 23 years
- III. the largest amount
- IV. the mean annual smallest amount; $h_{\min} = 0,08\sqrt{t}$
- V. the mean annual largest amount; $h_{\max} = 0,66\sqrt{t}$

The fact is stressed that III exceeds I for many times and that $\bar{h}$ increases slowly with t

duur minder waarschijnlijk zijn, terwijl er geen werkelijk maximale hoeveelheid bestaat (tenzij op zuiver fysische gronden). Dit alles wordt uitvoerig bij de behandeling van de constructie der frequentiekrommen uiteengezet.

In dezelfde figuur zijn nog twee curven getrokken, die eigenlijk niet in dit hoofdstuk thuis behoren; wij bespreken ze bij de toepassing van de „Theorie der Extreme Waarden” (zie hoofdstuk 16). De ene kromme (IV) geeft weer hoe de gemiddelde waarde van de gedurende een reeks jaren in ieder jaar opgezochte kleinste hoeveelheid in een regen van een duur t min toeneemt met de duur t ; de andere (V) idem voor de jaarlijks grootste hoeveelheid. Voor IV vonden wij een verband $\bar{h}_{\min} = 0,08 \sqrt{t}$, voor V: $\bar{h}_{\max} = 0,66 \sqrt{t}$.

Men houde het verschil tussen II en IV en dat tussen III en V goed in het oog. De krommen II en III bestaan eigenlijk niet, de krommen IV en V daarentegen zijn wel zinvol. De punten, die tot curve IV leiden, hebben elk een gewicht 23, want elk is het gemiddelde van 23 getallen; elk jaar leverde één hoeveelheid. Deze éne hoeveelheid is de minimale van alle hoeveelheden, die in regens van t minuten (gegeven t) in het jaar in kwestie vielen. Deze regens worden minder frequent met toenemende t (het kan natuurlijk voorkomen, dat een bepaald jaar meer regens van 2 uren had, dan een ander jaar regens van $\frac{1}{2}$ uur). Naar grotere t -waarden toe wordt dus de ligging van de bij IV behorende punten minder nauwkeurig, echter door een ietwat andere oorzaak dan bij de punten, die tot de kromme I leiden. Bij de laatste is het gewicht geheel rechts veel kleiner dan dat der bij lage t -waarden behorende punten. Tabel 13 leert bijv., dat het punt $t = 86$ à 90 minuten, $\bar{h} = 2,4$ mm een gewicht 119 heeft (er waren in totaal 119 regens van deze duur), terwijl het punt $t = 6$ à 10 minuten, $\bar{h} = 0,5$ mm gebaseerd is op 908 regens. Wij vermelden deze aangelegenheden om daarmee de lezer duidelijk te maken:

1. hoe moeilijk het is op basis van de gegevens van slechts 23 jaren tot een voldoende betrouwbare ligging van genoemde krommen te komen,
2. dat het dus weinig zin heeft om de curven tot voorbij bijv. $1\frac{1}{2}$ à 2 uren door te trekken en
3. dat het zeer moeilijk vast te stellen is of de ene aanpassingsformule werkelijk beter is dan de andere.

4.1.2.3 De duur en de intensiteit

Er wordt wel beweerd, dat de gemiddelde intensiteit in een regen kleiner is als de regen langer geduurd heeft. Wij hebben dit onderzocht.

Wij hebben de intensiteiten afgerond op honderdsten en daarna een frequentieverdeling gemaakt voor de intervallen 0,01–0,05, 0,06–0,10, 0,11–0,15, 0,16–0,20 en 0,21–0,25 mm/min. De weinig talrijke regens met een intensiteit, groter dan 0,25 mm/min, werden buiten beschouwing gelaten. De eerste groep is dusdanig dicht bezet, dat wij nog kunnen opsplitsen. Zie tabel 14.

TABEL 14

DE BILT 1926-1948

Totale aantal regens, van onverschillig welk type, van een intensiteit $\bar{i}$.
De gemiddelde duur $\bar{t}$ en de maximum duur in de basisperiode

$\bar{i}$ mm/min	Totale aantal	% van 8367	Gemiddelde duur $\bar{t}$ minuten	Maximum duur in 23 jaren
0,01	2064	24,6	91	
0,02	2155	25,7	83	
0,03	1251	14,9	72	
0,04	937	11,2	55	
0,05	411	4,9	56	
0,01-0,05	6818	81,6	77	1610
0,06-0,10	993	11,9	36	875
0,11-0,15	199	2,4	32	200
0,16-0,20	108	1,3	28	195
0,21-0,25	45	0,5	21	190

Total number of rains of every type whatever of an intensity $\bar{i}$. The mean duration $\bar{t}$ and the maximum duration in the basic period

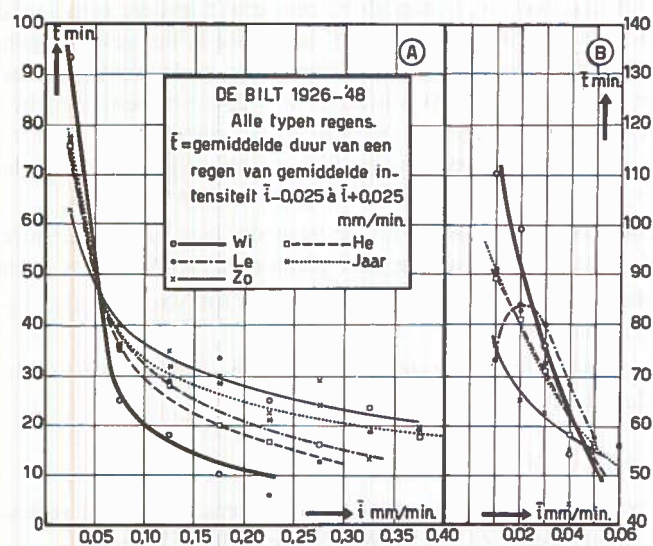


FIG. 10. Rains of every type

$\bar{t}$ = mean duration of a rain, which has a mean intensity ($\bar{i} = h/\bar{t}$) between $\bar{i} - 0,025$ and $\bar{i} + 0,025$ mm/min. Five curves: Wi = winter; Le = spring; Zo = summer; He = autumn; Jaar = year. Figure B gives details for $\bar{i} \leq 0,05$ mm/min

Met behulp van een schema, waarin de aantallen regens van genoemde intensiteiten en van duren oplopend met 5 minuten werden genoteerd, is de tabel 15 samengesteld.

TABEL 15

DE BILT 1926-1948

Procentuele aantallen regens, naar duur (t minuten) en intensiteit (i mm/min); 6818 regens van 0,01-0,05 mm/min; 993 regens van 0,06-0,10 mm/min; 199 regens van 0,11-0,15 mm/min; 108 regens van 0,16-0,20 mm/min; 45 regens van 0,21-0,25 mm/min

$t \backslash i$	6818	993	199	108	45
	0,01-0,05	0,06-0,10	0,11-0,15	0,16-0,20	0,21-0,25
1- 15	22,8	50,0	48,3	53,7	60,0
16- 30	20,2	19,5	15,6	17,6	22,2
31- 45	13,1	8,9	16,1	7,4	6,7
46- 50	8,5	7,0	6,0	2,8	4,4
61- 75	5,9	3,7	5,5	2,8	0,0
76- 90	4,3	2,2	2,5	0,9	2,2
91-105	3,4	1,5	0,5	-	-
106-120	3,5	0,5	2,0	0,9	-
121-135	2,5	1,4	1,0	0,9	-
136-150	2,2	0,7	-	1,9	-
151-165	1,7	0,8	1,5	0,9	-
166-180	1,3	0,5	-	0,9	-
181-195	1,3	-	-	0,9	2,2
196-210	1,2	0,8	0,5	-	-
211-225	1,4				
226-240	1,0				
241-255	0,6				
rest	5,0	2,9			2,3
som	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Percentage numbers of rains of t minutes and i mm/min. There were 6818 rains of 0,01-0,05; 993 rains of 0,06-0,10; 199 rains of 0,11-0,15; 108 rains of 0,16-0,20 and 45 rains of 0,21-0,25 mm/min

Hier volgen enige opmerkingen bij tabel 15.

Natuurlijk komen (zeer) langdurige regens in alle i -waarden voor, maar relatief duidelijk meer in intervallen van kleine dan in die van grote i -waarden. Zo hebben 30 % der regens van $i = 0,01$ à 0,05 mm/min een duur boven $1\frac{1}{2}$ uur; het percentage is voor de regens van 0,06 à 0,10 mm/min maar 9 %; bij 0,11 à 0,15 mm/min: 6 %; bij 0,16 à 0,20 mm/min: 15 %; bij 0,21 à 0,25 mm/min: 4 %. In overeenstemming daarmee is natuurlijk het feit, dat de

gemiddelde duur van een regen groter is als zijn gemiddelde intensiteit lager ligt. Regens, korter dan een half uur, komen in het interval 0,01–0,05 mm/min voor 38 % voor, in het interval 0,21–0,25 mm/min voor 82 %. Het verband tussen $\bar{t}$ en $\bar{i}$ is op dubbellogaritmisch papier vrijwel lineair; er komt aldus $\bar{t} = \Phi(\bar{i}) = 8,32 \bar{i}^{0,66}$; interpretatie: de gemiddelde duur aller regens (wanneer ook in het jaar gevallen) van een gemiddelde intensiteit $\bar{i} - 0,025$ à $\bar{i} + 0,025$ mm/min is $t = \Phi(\bar{i})$ minuten.

Het verband tussen de duur t en de gemiddelde intensiteit van een regen is sterk van het seizoen afhankelijk. Een en ander is in figuur 10 in beeld gebracht. Wij hebben er van afgezien voor elk der seizoenkrommen een formule te zoeken. Het is duidelijk, dat de ligging van de curven boven bijv. $\bar{i} = 0,25$ mm/min zeer onzeker is, wij hebben ze dus niet verder dan tot deze waarde getrokken.

4.1.3 Gemiddelde en maximale intensiteiten

4.1.3.1 Frequentieverdeling der maximum intensiteiten

TABEL 16

DE BILT 1926–1948 ¹⁾

Procentuele frequentieverdeling der maximale intensiteiten

Max. intensiteit in mm/min	Le	Zo	He	Wi	Jr
0,00–0,20	89,7	75,0	87,7	97,1	85,9
0,21–0,40	7,6	14,8	8,9	2,4	9,2
0,41–0,60	2,2	5,6	1,9	0,5	2,8
0,61–0,80	0,1	2,1	0,8	–	1,0
0,81–1,00	0,1	1,1	0,5	–	0,5
1,01–1,20	–	0,4	0,2	–	0,2
1,21–1,40	–	0,3	–	–	0,1
1,41–1,60	0,2	0,4	–	–	0,2
1,61–1,80	0,1	0,3	–	–	0,1
1,81–2,00	–	–	–	–	–
2,01–2,20	–	–	–	–	–
2,21–2,40	–	0,0	–	–	–
2,41–2,60	–	–	–	–	–
Som	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Totale aantal	830	1464	1441	865	4600

Percentage frequency distribution of the maximum intensities grouped in intervals of 0,20 mm/min

¹⁾ In de zomer is voor de intervallen 2,21–2,40 en 2,41–2,60 mm/min 0,0 genoteerd (en niet een –) vanwege het feit, dat er één keer een $i_m = 2,23$ en één keer een 2,57 voorkwam

Bij het uittrekken der pluviogrammen werd, zoals in Hoofdstuk 2 werd verteld, in elke regen, voor zover mogelijk, de maximale intensiteit opgezocht. Bij 4600 stuks (1926–1948) van de totaal ruim 8400 regens gelukte dit volkomen betrouwbaar. Deze maximale intensiteiten, die uiteenliepen tussen 0,01 en 2,58 mm/min, hebben wij ingedeeld in groepjes van 0,20 mm/min en tevens naar de 4 seizoenen. In elk der 4 seizoenen hebben wij de frequentieverdelingen procentueel opgesteld, teneinde ze vergelijkbaar te maken.

Wij lezen uit deze tabel, dat in de winter zo goed als alle maximale intensiteiten kleiner dan 0,20 mm/min zijn. In de herfst en lente is dit in iets minder sterke mate het geval, maar juist in de zomer dient men de grote maximale intensiteiten (zegge boven 1,00 mm/min) te zoeken. Zie ook tabel 110.

Men kan het ook a.v. onder woorden brengen: In de lente komt het 3 op de 1000 keren voor, dat de maximale intensiteit boven de 1,0 mm/min uitkomt; in de zomer 14 keer; in de herfst en winter geen enkele keer.

Vervolgens gaan wij na hoe de procentuele frequentieverdeling der maximale intensiteiten over de 4 seizoenen met de intensiteiten zelf samenhangt, teneinde ook op deze wijze te doen uitkomen hoe de jaarlijkse gang markanter wordt naarmate i_m hoger ligt. Wij groeperen daartoe de i_m -waarden opnieuw op vrijwel dezelfde wijze.

TABEL 17
DE BILT 1926–1948
Procentuele verdeling der maximale intensiteiten

Max. intensiteit in mm/min	Le	Zo	He	Wi	Som	Totale aantal
0,00–0,20	18,8	27,8	32,0	21,3	100,0	3947
0,21–0,40	14,3	50,8	29,9	4,9	100,0	425
0,41–0,60	13,8	62,4	21,6	2,3	100,0	130
0,61–2,60	6,1	71,4	22,5	–	100,0	98
Alle waarden	18	32	31	19	100,0	4600

Annual variation in the frequency distribution of the maximum intensities grouped in intervals of 0,20 mm/min

Terwijl binnen het interval 0,00–0,20 mm/min de i_m -waarden zich hoofdzakelijk concentreren in de herfst (op de voet gevolgd door de zomer), gaat bij hogere waarden van de maximale intensiteiten de zomer steeds meer de boventoon voeren.

4.1.3.2 De maximum intensiteit en de duur van een regen

Er wordt wel beweerd, dat in regens van langere duur de maximale intensiteit, althans in het algemeen genomen, lager is of wel dat de korte regens tevens

de meest felle zijn. Wij hebben getracht dit te onderzoeken. De bewering blijkt ten dele waar, ten dele niet waar te zijn. Toetsen wij haar voor *gedeelten* van regens, waarover de gemiddelde intensiteit een voorgeschreven waarde moet bereiken of overschrijden (wij kozen de drempelwaarden 0,2 en 1,0 mm/min, doch meer waarden zijn nodig), dan is de stelling zeer waarschijnlijk waar (zie bij de stortregens, zware en zeer zware regens), maar voor de volledige regens is het verband tussen i_m en t (i_m = maximum intensiteit; t = duur) onduidelijk.

Wij hebben, omdat een markant seizoen effect verwacht mocht worden, in elk der 4 jaargetijden in regens van elk der duren 1 à 5, 6 à 10, 11 à 15 minuten

TABEL 18

DE BILT 1926-1948

De gemiddelde waarde van de maximum intensiteit (i_m), in volledige regens van t minuten en de grootste i_m in alle 23 jaren

t	i_m mm/min					max. i_m mm/min				
	Le	Zo	He	Wi	Jr	Le	Zo	He	Wi	Jr
1- 20	0,064	0,107	0,077	0,044	0,078	0,44	0,97	0,22	0,22	1,08
21- 40	0,068	0,129	0,078	0,042	0,083	2,57	1,40	1,20	1,30	2,57
41- 60	0,062	0,160	0,084	0,044	0,082	0,58	2,23	1,04	0,42	2,23
61- 80	0,080	0,155	0,093	0,035	0,092	1,72	1,48	0,66	0,52	1,72
81-100	0,087	0,158	0,082	0,045	0,091	1,54	1,42	0,50	0,17	1,54
101-120	0,061	0,139	0,081	0,040	0,076	0,48	1,05	0,77	0,25	1,05
121-140	0,088	0,163	0,123	0,034	0,099	0,84	1,70	0,75	0,13	1,70
141-160	0,054	0,144	0,081	0,048	0,077	0,24	0,59	0,32	0,16	0,59
161-180	0,097	0,227	0,145	0,050	0,118	1,46	1,62	1,00	0,14	1,46
181-200	0,053	0,264	0,058	0,045	0,092	0,17	1,44	0,35	0,14	1,44
301-220	0,060	0,153	0,129	0,043	0,089	0,20	0,50	0,73	0,18	0,73
221-240	0,049	0,087	0,059	0,042	0,055	0,13	0,21	0,28	0,10	0,28
241-260	0,076	0,070	0,094	0,046	0,069	0,17	0,23	0,25	0,12	0,35
261-280	0,061	0,118	0,080	0,036	0,074	0,16	0,62	0,17	0,11	0,62
281-300	0,040	0,107	0,093	0,058	0,078	0,09	0,28	0,26	0,14	0,28
301-320	0,051	0,192	0,062	0,059	0,084	0,60	0,36	0,10	0,13	0,60
321-340	0,088	0,088	0,129	0,129	0,094	0,21	0,15	0,42	0,16	0,42
341-360	0,063	0,230	0,105	0,043	0,083	0,19	0,67	0,43	0,11	0,67
361-380	0,044	0,185	0,064	0,057	0,081	0,05	0,16	0,12	0,12	0,16
381-400	0,075	0,205	0,049	0,050	0,060	0,30	0,28	0,12	0,20	0,30
401-420	0,083	0,050	0,072	0,076	0,075	0,18	0,05	0,16	0,26	0,26
421-440	0,057	0,190	0,105	0,070	0,102	0,15	0,26	0,14	0,09	0,26
441-460	0,035	-	0,110	0,062	0,075	0,06	-	0,20	0,08	0,20
461-480	0,023	0,011	0,097	0,071	0,105	0,40	0,04	0,16	0,15	0,40

The mean value of the maximum intensity (i_m) in rains of t minutes and the highest i_m in the basic period

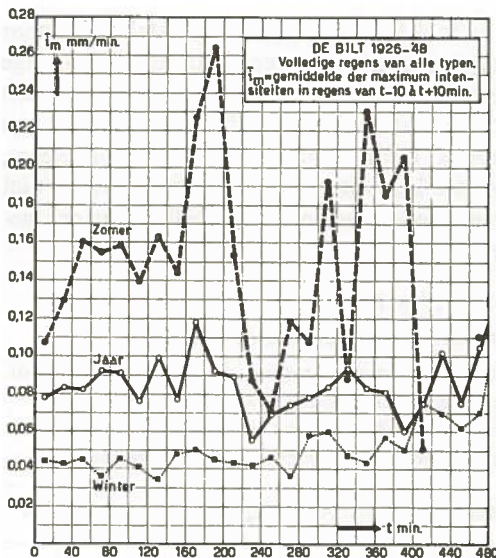


FIG. 11. Rains of any type whatever;
 i_m = maximum intensity in a rain
 $\bar{i}_m$ = mean maximum intensity in a rain
 of $t - 10$ up to $t + 10$ min.
 Zomer = summer; Jaar = year; Winter
 = winter. The figure does not illustrate
 that $\bar{i}_m$ decreases or increases with t if
 one considers rains of every type

enz., de maximum intensiteit genoteerd en deze daarna per groep gemiddeld ($\bar{i}_m$). De volledige tabel kunnen wij niet publiceren. In plaats daarvan nemen wij tabel 18 op, die wij afbreken bij 8 uren, omdat regens van langere duur zo weinig frequent zijn, dat de gemiddelde maximum intensiteit zeer onnauwkeurig wordt. Met

behulp van deze tabel is fig. 11 geconstueerd. Wij hebben ter wille van de overzichtelijkheid alleen de zomer-, winter- en jaarcurven getekend. Wij constateren, dat er van een duidelijk verband tussen $\bar{i}_m$ en t in geen der seizoenen sprake is.

4.1.3.3 De „maximale” maximum intensiteit

De maximale maximum intensiteit in regens van een gegeven duur per seizoen (bijv. in elke van alle 23 lentes der jaren 1926–1948, voor regens van 16 à 20 minuten) kunnen worden gebruikt bij toepassing van de in hoofdstuk 16 te bespreken Theorie der Extreme Waarden. Wij kunnen dan antwoord geven op een vraag als: „om de hoeveel jaren, gemiddeld genomen, valt er in de lente een volledige regen van 16 à 20 minuten met een maximum intensiteit van tenminste 0,30 mm/min?” (waarbij natuurlijk bedacht dient te worden, dat zulk een intensiteit doorgaans hoogstens enkele minuten aanhoudt!)

Aangezien in bedoeld hoofdstuk het werkschema voldoende duidelijk is uiteengezet, hebben wij, om ruimte te besparen, de betreffende berekeningen in deze M.V. niet opgenomen; wel vermelden wij nog, eveneens in tabel 18, de grootste waarde van de maximum intensiteit in alle 23 jaren in regens van $t = 1-20, 21-40 \dots$ minuten, voor elk der seizoenen. Wanneer men deze getallen overziet kan men zich niet onttrekken aan de indruk, dat de maximum intensiteit in een regen van kortere duur groter is. Zo ziet men in geen enkele der ongeveer 600 regens van 200 en meer minuten (op totaal rond 8400 regens) een maximum intensiteit van 1 of meer mm/min. Wij moeten dus concluderen,

dat er wel enige aanwijzing is voor de in 4.1.3.2 gesuggereerde „stelling”, maar dat de maximum intensiteiten in regens, zelfs wanneer zij dezelfde volledige duur hebben en in hetzelfde seizoen vielen, zo sterk kunnen uiteenlopen, dat een veel groter materiaal nodig is om een statistisch significante afneming van i_m met toenemende t te kunnen aantonen. Daar komt nog bij, dat het probleem, naar onze mening, meer praktische betekenis heeft als het gesteld wordt niet voor *volledige* regens, doch voor *regengedeelten*, en wel gedeelten, die een gegeven gemiddelde intensiteit hebben.

TABEL 19

DE BILT 1926-1948

Regens van alle typen, aantal en grootste gemiddelde intensiteit

- Voorbeeld 1. In alle 23 Juni-maanden tezamen kwamen 45 regens van 11-15 minuten voor.
De grootste van de 45 gemiddelde intensiteiten was 0,55 mm/min.
2. In alle 23 jaren tezamen kwamen 325 regens van 31-35 minuten voor.
De grootste van de 325 gemiddelde intensiteiten was 0,48 mm/min

t minuten	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jr
1-5	20 0,12	13 0,14	26 0,08	24 0,18	25 0,32	30 0,24	80 0,70	79 0,40	66 0,48	74 0,26	40 0,24	37 0,12	514 0,70
6-10	42 0,18	33 0,14	19 0,09	63 0,16	37 0,28	71 0,51	64 0,35	68 0,25	93 0,56	98 0,28	71 0,11	52 0,10	711 0,56
11-15	31 0,09	25 0,07	23 0,26	38 0,13	18 0,18	45 0,55	67 0,33	59 0,23	73 0,37	74 0,17	58 0,09	36 0,13	547 0,55
16-20	35 0,04	29 0,06	23 0,16	39 0,10	38 0,15	38 0,30	51 0,28	58 0,26	54 0,42	62 0,20	63 0,64	36 0,10	526 0,64
21-25	34 0,06	37 0,12	22 0,10	26 0,06	24 0,07	33 0,28	42 0,25	47 0,19	38 0,18	32 0,17	51 0,28	48 0,08	434 0,28
26-30	23 0,06	16 0,08	25 0,05	21 0,17	31 0,17	46 0,29	44 0,41	30 0,09	34 0,20	40 0,27	46 0,11	35 0,06	391 0,41
31-35	27 0,07	18 0,04	19 0,04	23 0,09	20 0,47	19 0,12	40 0,26	29 0,48	26 0,31	38 0,15	38 0,15	28 0,09	325 0,48
36-40	24 0,04	10 0,03	17 0,06	15 0,08	16 0,20	14 0,14	13 0,38	26 0,09	30 0,27	15 0,06	25 0,04	23 0,08	228 0,38
41-45	20 0,06	21 0,10	20 0,07	9 0,12	11 0,07	17 0,14	40 0,30	32 0,28	19 0,05	37 0,11	32 0,05	21 0,04	279 0,30

Rains of every type. Total numbers in first row and highest mean intensity in second row. For instance: in all 23 Junes there were 45 rains of 11 up to 15 minutes. The highest of the 45 mean intensities was 0,55 mm/min

4.1.3.4 De „maximale” gemiddelde intensiteit

Met het oog op vragen van de vorm: „welke is de waarde, die de gemiddelde intensiteit in een volledige regen van t minuten gemiddeld 1 keer in (de komende) j jaren bereikt of overtreft”, hebben wij in regens van verschillende duren maand voor maand en jaar voor jaar de grootste gemiddelde intensiteit opgezocht. Wij kunnen hier niet de volledige tabel opnemen. Wel vermelden wij in tabel 19 welke, in elk der twaalf maanden, de grootste gemiddelde intensiteit in 23 jaren, in regens van een 9-tal duurintervallen was.

Met deze gegevens zou verder kunnen worden gewerkt met behulp van de in hoofdstuk 16 te bespreken Theorie der Extreme Waarden, teneinde tot tabellen en grafieken te komen, met behulp waarvan een antwoord zou kunnen worden geformuleerd op een vraag gelijk of analoog aan de in de aanvang gestelde.

Voor een bewerking van soortgelijke gegevens van registraties van de zelf-registrerende regenmeter te Den Haag met de T.d.E.W. zij verwezen naar ons artikel, getiteld „Toepassing van de Theorie der Extreme Waarden op de berekening van de grootte en de periodiciteit van extreme hoeveelheden neerslag in regens van verschillende duur”, dat verscheen in het blad „Publieke Werken” [24].

4.2 Zware regens

4.2.1 Aantallen

Een zware regen (z.r.) is een zo lang mogelijk gekozen deel van een regen (soms ook de ganse regen zelf), waarin de gemiddelde intensiteit boven 0,2 mm/min ligt of precies deze waarde heeft.

Voor een eerste oriëntatie hebben wij de z.r. ingedeeld naar de duur t (groepjes van 5 minuten) en de hoeveelheid h (groepjes van 0,5 mm). Aangezien de ruimte ontbreekt om deze tabel in zijn geheel op te nemen, hebben wij een grovere indeling gemaakt en wel naar 2 mm- en 10 minuten-intervallen, zie tabel 20.

De niet in de tabel opgenomen z.r. zijn: één in de Le: $t = 160$, $h = 31,6$; en drie in de Zo: $t = 150$, $h = 31,0$; $t = 180$, $h = 34,9$ en $t = 190$, $h = 43,2$.

De langdurigste zware regen, welke tevens de ganse regen uitmaakte, duurde 190 minuten en bracht 43,2 mm, dus de gemiddelde intensiteit was 0,23 mm/min; de maximale intensiteit in deze bui was 1,07 mm/min (2-8-1948).

De langdurigste zware regen (7-5-1931), een gedeelte zijnde van een langer geduurd hebbende regen, duurde 160 minuten; dit zware deel bevatte 31,6 mm, de gemiddelde intensiteit was derhalve toevallig precies 0,20 mm/min. De hoofdregen duurde 580 minuten en bracht 51,8 mm, dus de gemiddelde intensiteit was 0,09 mm/min. De i_m bedroeg 0,32 mm/min. Deze hoeveelheid (51,8 mm)

TABEL 20

DE BILT 1926-1948

Totale aantallen zware regens; t in minuten; h in mmLe Zo
He Wi

$\frac{h}{t}$	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120	121-130	Som	Procentuele jaar- aantallen
0,1- 2,0	49 192 123 17													49 192 123 17	50
2,1- 4,0	10 48 21 3	18 58 30 2												28 106 51 5	25
4,1- 6,0	5	6 25 17 1	5 15 12 2											11 45 29 3	11
6,1- 8,0		2	1 11 6	1 8 5										2 21 12	5
8,1-10,0		1	4	1 5	1 3 4									2 13 5	3
10,1-12,0		1		2	7 1 3									1 10 6	2
12,1-14,0			1		3		3							7	1
14,1-16,0			1		1		1	1						1 3 1	0,6
16,1-18,0				1 1			1							1 2	0,4
18,1-20,0					4				1					5	0,6
20,1-22,0										1				1	0,1
22,1-24,0							1	1	2	1	1	1		2 5 1	1,0
> 24,1					1				1				1	1 2	0,4
Som	58 245 145 20	24 87 49 3	6 32 18 2	3 16 7	2 18 6	2 5	1 4 1	3	4	2	1	1	1	98 412 231 25	
Procentuele jaar- aantallen	61	21	8	3	3	0,9	0,6	0,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1		100 %

Total numbers of heavy rains of t minutes and h mm

is tevens de grootste, die ooit (voor zover we weten) in een enkele regen viel ¹⁾.

In totaal waren er dus 770 z.r. in 23 jaren ofwel gemiddeld ongeveer 34 stuks per jaar, waarvan 4,3 stuks in de lente, 18,4 stuks in de zomer, 10,0 stuks in de herfst en 1,1 stuks in de winter.

Zoals wij mochten verwachten, leert de tabel, dat zowel met toenemende duur als met toenemende hoeveelheid de z.r. minder frequent worden en wel in elk der seizoenen.

De jaarlijkse gang blijkt duidelijk uit tabel 21.

TABEL 21 DE BILT 1926-1948
Totale aantal z.r.

	Le	Zo	He	Wi	Jr
Aantal	99	415	231	35	780
In %	13	54	30	3	100

Total numbers of heavy rains

4.2.2 Duur

Voor de gemiddelde duur van een zware regen (ongeacht de hoeveelheid) zie tabel 22.

TABEL 22 DE BILT 1926-1948
Gemiddelde duur van een z.r. in minuten

Le	Zo	He	Wi	Jr
14,2	15,4	12,2	7,2	14,0

The mean duration of a heavy rain in minutes

Het is duidelijk (statistisch significant), dat 's zomers een z.r., gemiddeld genomen, het langst duurt (rond 15 minuten) en 's winters het kortst (rond 7 minuten).

4.2.3 Hoeveelheid

Voor de gemiddelde hoeveelheid in een zware regen (ongeacht de duur) verwijzen wij naar tabel 23.

¹⁾ Wij deelden hierover reeds een en ander mede in Hemel en Dampkring 51 154 1952. Tijdens zware slagregens in de avond van 3 Juli 1952 werd een nieuw record gevestigd; toen viel te De Bilt een zware regen van 4 uren en 20 minuten (samen met onweer van enige uren)

In overeenstemming met tabel 22 blijkt de z.r. 's zomers, gemiddeld, ongeveer 2 keer zo veel te leveren dan 's winters.

TABEL 23 DE BILT 1926-1948
Gemiddelde hoeveelheid in een z.r., in mm

Le	Zo	He	Wi	Jr
3,8	3,8	3,1	1,9	3,6

The mean amount of precipitation of a heavy rain, in mm

Natuurlijk dienen wij te bedenken, dat met toenemende duur de hoeveelheid, gemiddeld beschouwd, toeneemt. Wij hebben dit in tabel 24 verduidelijkt.

TABEL 24 DE BILT 1926-1948
Gemiddelde hoeveelheid $\bar{h}$ (in mm) bij een duur t minuten

t	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40
Le	1,1	1,7	3,4	4,5	5,0	5,9	16,3	8,3
Zo	1,2	2,2	3,5	4,3	4,8	7,5	8,3	8,8
He	1,1	1,9	3,4	4,6	5,1	6,8	7,6	10,7
Wi	1,0	1,8	3,6	—	5,4	—	—	—
Jr	1,2	1,9	3,5	4,4	5,0	5,5	8,5	9,0

The mean amount ($\bar{h}$ mm) of precipitation of a heavy rain of t minutes

De tabel is bij $t = 38$ minuten afgebroken, aangezien regens van grotere duren vooral in de Le, He en Wi zo weinig voorkwamen, dat de $\bar{h}$ -waarden onbetrouwbaar zijn.

Er kunnen twee oorzaken genoemd worden, waardoor de $\bar{h}$ niet lineair met t toeneemt:

1°. Bij een zware regen, die een gedeelte is van een langer geduurd hebbende regen, zou het bij een optimaal scherpe registratie en een voldoende tijdnet op de strook mogelijk zijn het zware deel zo lang te kiezen, dat de $\bar{h} = h : t$ exact 0,20 mm/min is. Aangezien deze ideale toestand nooit verwezenlijkt is, komen vrij vele intensiteiten van z.r. boven 0,20 uit, in een mate, die geheel en al met het bijzondere karakter van de z.r. samenhangt (zie Hoofdstuk 2).

2°. Er zijn regens, die van begin tot einde zwaar zijn, dus met intensiteiten altijd boven 0,20, van keer tot keer anders. Al met al behoeven wij dus niet te verwachten, dat de punten $\bar{h}$, t dicht tegen de rechte $\bar{h} = 0,20 t$ zouden liggen. Wij zien dit wel gebeuren voor de eerste categorie regens alleen, omdat de zeer abrupt beginnende en abrupt eindigende zware regens (met een $\bar{h}$, vrij

veel groter dan 0,2) meestal van korte duur zijn. De punten $\bar{h}$, t voor deze groep z.r. zullen met toenemende t geleidelijk dichter bij de rechte $\bar{h} = 0,2 t$ liggen.

Teneinde te doen uitkomen hoe sterk bij een gegeven totale duur de hoeveelheid in de z.r. nog uiteenliep in de bestudeerde 23 jaren nemen wij nog tabel 25 op, waarin wij de kleinste en grootste hoeveelheid (h_1 en h_2) onder elkaar plaatsen, tezamen met de gemiddelde hoeveelheid $\bar{h}$ (die men ook in tabel 24 vindt).

Enige toelichting: De verschillen tussen h_1 en h_2 zijn vooral bij kleine t relatief zo groot vanwege het niet ragfijn-zijn der registratiecurve. Nogmaals: de zware regens, die zeer abrupt zwaar beginnen of eindigen, hebben meestal korte duren. Voor grotere duren (bijv. meer dan drie kwartier) hebben de h_2 's meestal betrekking op regens, die voor de ganse duur zwaar waren en aldus een $\bar{h}$ leverden (ver) boven 0,20. Zo behoort de 27,2 mm onder $t = 48$ minuten bij een regen, welke in totaal 50 minuten duurde en 27,2 mm bracht, zodat de $\bar{h} = 27,2 : 50 = 0,54$ mm/min (en deze regen zeker een zware is).

4.2.4 Aantal z.r. per dag

Het aantal zware regens per dag vindt men genoemd in de tabellen 26 en 27.

4.2.5 De dagelijkse gang in het aantal zware regens

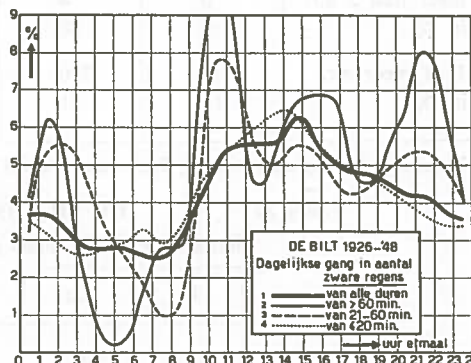
Wij hebben geteld hoeveel zware regens er begonnen in elk der 24 uurvakken van het etmaal, en wel voor elk der seizoenen. Daarbij werden tegelijkertijd de z.r. gegroepeerd naar hun duur (intervallen van 10 minuten).

In de volgende tabel 28 vermelden wij de totale aantallen per uurvak, waarbij de regenduren in drie brede intervallen ondergebracht zijn. Bovendien zijn de percentages twee keer vereffend, volgens het principe $1/4 (a + 2b + c)$.

De dagelijkse gang is in fig. 12 in beeld gebracht. Hij is, niet gelet op de regenduren, zeer reëel. Wij hebben hem getoetst met de χ^2 -toets¹⁾. De

FIG. 12. Diurnal variation (in %) in the number of heavy rains grouped in 4 duration intervals.

1: all durations; 2: duration > 60 min; 3: duration 21–60 min; 4: duration ≤ 20 min. The hours of the day are plotted on the horizontal axis



¹⁾ Wij zijn in het algemeen geen voorstander van het zeer gebruikelijke vereffenen. Is de bedoeling de grilligheid van ligging der punten wat te verminderen, dan is er weinig bezwaar tegen. Statistische methoden (aanpassing van krommen; gebruiken van toetsen, e.d.) kunnen beter op het onvereffende materiaal toegepast worden. Het valt buiten het kader van deze M.V. dieper op deze kwestie in te gaan

TABEL 25

DE BILT 1926-1948

h_1 = minimale hoeveelheid; h_2 = maximale hoeveelheid, voorgekomen in deze 23 jaren in een z.r. van een duur t minuten; $\bar{h}$ = gem. hoef.

t	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60
h_1	0,4	1,2	2,3	3,2	4,3	5,5	6,2	7,6	8,9	9,4	11,3	10,1
h_2	3,5	5,6	10,4	8,3	7,0	15,1	16,7	10,9	14,5	27,2	13,4	14,2
$\bar{h}$	1,2	1,9	3,5	4,4	5,0	7,4	8,5	9,0	11,1	14,4	12,4	11,9
Aantal	275	195	104	62	35	23	19	7	12	14	2	6

h_1 = smallest rainfall and h_2 = largest rainfall, which occurred in a heavy rain of t minutes

TABEL 26

DE BILT 1926-1948

Aantal dagen met zware regens

Totale aantal dagen met	Le	Zo	He	Wi	Jr
1 z.r.	86	246	154	23	509
in %	17	48	30	5	100
2 z.r.	6	54	27	1	88
in %	7	61	31	1	100
3 z.r.	0	16	7	0	23
in %	0	69	31	0	100
meer dan 3 z.r.	0	4	1	0	5
in %	0	80	20	0	100
1 of meer z.r.	92	320	189	24	625
in %	15	51	30	4	100

Total numbers of days with 1, 2, 3, more than 3 and one or more heavy rains

TABEL 27

DE BILT 1926-1948

Gemiddeld aantal dagen per seizoen met k z.r.

	Le	Zo	He	Wi	Jr
$k = 1$	3,7	10,7	6,7	1,0	22,1
2	0,3	2,3	1,2	0,04	3,8
3	0,0	0,7	0,3	0,0	1,0
≥ 1	4,0	13,9	8,2	1,0	27,2

Mean number of rains (per season) with k heavy rains

TABEL 28

DE BILT 1926-1948

Totale aantallen zware regens (ongeacht seizoeneffect)

Uur in etmaal	$t = 1-20$			21-60			> 60 minuten			Alle duren		
	aantal	%	% 2 keer vereff.	aantal	%	% 2 keer vereff.	aantal	%	% 2 keer vereff.	aantal	%	% 2 keer vereff.
0- 1	30	4,7	3,5	4	3,3	3,8			4,2	34	4,4	3,7
1- 2	21	3,3	3,2	3	5,4	6,2	3	13,6	6,2	27	3,5	3,7
2- 3	13	2,0	2,7	12	5,6	6,4	1	4,5	4,8	26	3,4	3,3
3- 4	17	2,7	2,6	3	4,6	5,3			2,0	20	2,6	2,8
4- 5	16	2,5	2,8	3	3,3	3,8			0,3	19	2,4	2,7
5- 6	21	3,3	2,9	4	2,6	3,0			0,3	25	3,2	2,8
6- 7	19	3,0	3,3	2	1,9	2,2			1,7	21	2,7	2,6
7- 8	13	2,0	2,9	1	1,0	1,1	1	4,5	2,8	15	1,9	2,5
8- 9	24	3,8	3,4		1,4	1,6			2,8	24	3,1	3,0
9-10	23	3,6	4,4		4,5	5,2			7,1	23	3,0	4,0
10-11	39	6,1	5,1	19	7,8	8,9	4	18,2	11,6	52	6,7	5,1
11-12	35	5,5	5,6	6	7,4	8,5			8,5	41	5,3	5,5
12-13	33	5,2	6,0	5	5,4	6,2	1	4,5	4,5	39	5,0	5,6
13-14	46	7,2	6,4	4	5,0	5,7			5,1	50	5,4	5,6
14-15	44	6,9	6,4	8	5,5	6,3	2	9,1	6,6	54	7,0	6,2
15-16	37	5,8	5,8	6	5,4	6,2			6,8	43	5,5	5,7
16-17	29	4,5	5,2	6	4,8	5,5	2	9,1	6,8	37	4,8	5,1
17-18	33	5,2	4,9	4	4,2	4,9			5,1	37	4,8	4,8
18-19	30	4,7	4,8	4	4,4	5,1	1	4,5	4,5	35	4,5	4,7
19-20	32	5,0	4,4	8	5,0	5,7	2	9,1	5,4	42	5,5	4,5
20-21	18	2,8	4,0	4	5,3	6,1			6,6	22	2,8	4,2
21-22	28	4,4	3,7	8	5,4	6,2	3	13,6	8,0	41	5,3	4,2
22-23	22	3,4	3,4	6	5,0	5,7	2	9,1	6,8	30	3,9	3,8
23-24	15	2,4	3,4	4	4,1	4,7			4,0	19	2,4	3,6
Som	638	100	100	116	100	100	22	100	100	776	100	100

Total number of heavy rains per 1-hour period of the day for three duration intervals (t minutes). Diurnal variation

dagelijkse gang der duren 1-20, 21-60 is het ook. Voor grotere duren wordt het materiaal te klein, evenals voor de kortere duren wanneer wij splitsen naar de seizoenen. Wij mogen op grond van de resultaten van dit onderzoek besluiten, dat de zware regens meer in de middag dan in de ochtend vallen en vermoedelijk vroeger in de middag (of zelfs vóór 12 uur het meest) naarmate hun duren groter zijn.

4.2.6 Frequentiekrommen

Wij deelden reeds mede, dat zware regens gemiddeld 34 keren per jaar voorkomen. Thans willen wij de frequentie in meer details onderzoeken om te komen tot een aantal grafische voorstellingen, die het verband tussen de frequentie f , de duur t en de intensiteit i van een z.r. in beeld brengen. Het bleek ons herhaaldelijk, dat de gebruikers van deze gegevens een stelsel krommen prefereren boven een aantal tabellen. Zie de figuren 13, 14 en 15. Wij willen de constructie van deze nomogrammen wat toelichten. Het zal wel direct duidelijk zijn, dat de vloeiende curven slechts na veel „schaven en fatsoeneren” tot stand gekomen zijn. Wij gingen daarbij als volgt te werk:

Eerst werden alle z.r. ingedeeld naar hun duur in intervallen van 5 minuten (1-5; 6-10; 11-15 etc.). Onder elk duurinterval werden alle intensiteiten i genoteerd. Het aantal daarvan neemt natuurlijk snel met toenemende duur af; het is voor duren boven 30 minuten reeds kleiner dan 23 (deze z.r. komen dus minder dan gemiddeld 1 keer per jaar voor). Vervolgens werden deze i 's in elk der duurintervallen in volgorde van grootte gezet, de grootste bovenaan.

In de volgende tabel vindt men de grootste 5 genoemd (voor zover er althans 5 waren, anders het werkelijk aanwezige aantal).

TABEL 29 DE BILT 1926-1948
De grootste 5 intensiteiten i mm/min in regens (van elk type) van t minuten

$t =$ 1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-50	51-55	56-60	61-65
0,70	0,73	0,80	0,42	0,29	0,54	0,48	0,28	0,35	0,54	0,24	0,24
0,70	0,66	0,59	0,40	0,28	0,40	0,47	0,27	0,30	0,40	0,22	0,21
0,55	0,56	0,55	0,35	0,28	0,31	0,32	0,23	0,28	0,39		0,21
0,55	0,52	0,50	0,32	0,26	0,29	0,31	0,22	0,27	0,39		0,20
0,50	0,51	0,39	0,30	0,26	0,26	0,30	0,20	0,26	0,38		0,19

The highest 5 intensities i mm/min in rains (of every type) of t minutes

Het gaat ons nu om de grootste 23 stuks in elk duurinterval. Deze i 's werden uitgezet als punten in een grafiek (A) (i verticaal; t horizontaal). Daarna werd geprobeerd zulk een curve te trekken, dat deze in elk der duurgroepen eenzelfde aantal punten (bijv. 2) boven zich laat. Zulk een curve behoort vloeiend te dalen, maar doet het niet, aangezien de punten sterk spreiden. Trekken wij haar toch vloeiend (in fig. 13 niet getekend), dan laat ze in ieder interval niet eenzelfde aantal punten boven zich, bijv. in de intervallen 1-5, 6-10 41-46 minuten de aantallen 2, 2, 3, 0, 2, 2, 0, 2, 5 ofwel gemiddeld 2,0 stuks per duurinterval.

Deze curve draagt dan in eerste instantie de naam „2 stuks per 23 jaren”

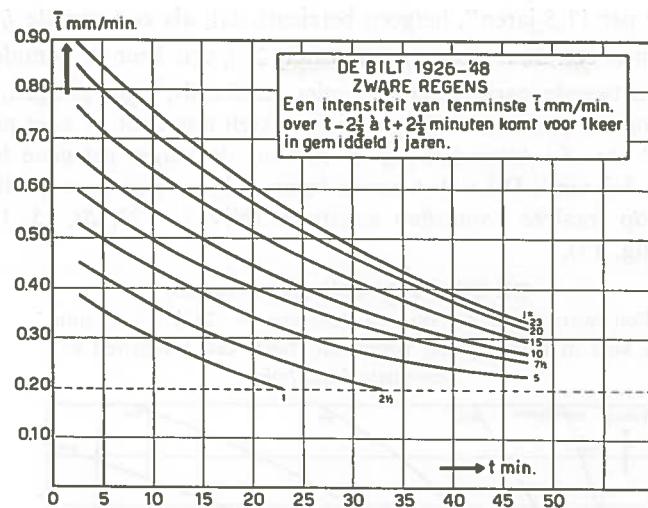


FIG. 13. Heavy rains. The frequency (once in j years) is a function of the mean intensity I (in mm/min) and the duration t (in min). Example: a heavy rain of $15 - 2\frac{1}{2}$ up to $15 + 2\frac{1}{2}$ min ($t = 15$) and with $I \geq 0,50$ mm/min occurs once in $j = 10$ years. Therefore $I = I(t)$, with j as parameter

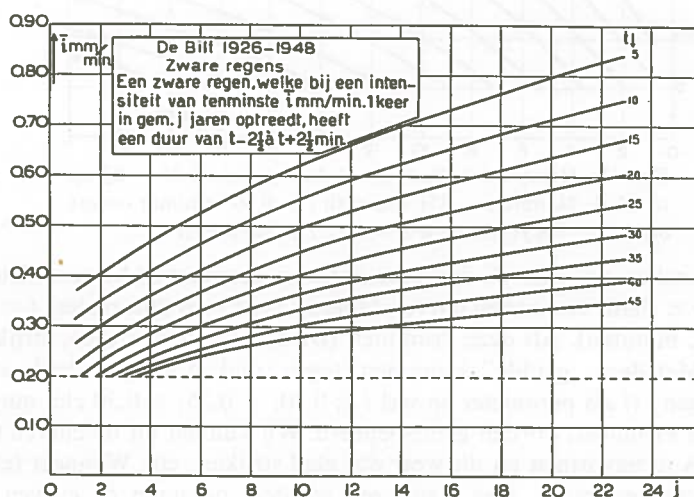


FIG. 14. Heavy rains. Example: a heavy rain of $10 - 2\frac{1}{2}$ up to $10 + 2\frac{1}{2}$ min ($t = 10$) and with $I \geq 0,50$ mm/min occurs once in $j = 15$ years. Now $I = I(j)$; t as parameter

ofwel „1 keer per 11,5 jaren”, hetgeen betekent, dat, als een waarde i_t behoort bij t , een z.r. met een duur t en een intensiteit $\geq i_t$ één keer in gemiddeld 11½ jaren valt. Een tweede curve (hier ook niet getekend), lager gelegen, laat gemiddeld 4,1 punten per interval boven zich en stelt dus voor „1 keer per 23/4,1 = 5,6 jaren” etc. Zo tekenden wij 5 curven; de laagst gelegene betekent: „1 keer per 1,3 jaren”. Dit is het eerste begin. Thans moeten wij fatsoeneren en het liefst op fraaiere j -waarden aansturen (bijv. $j = 23, 20, 15, 10, 7\frac{1}{2}, 5, 2\frac{1}{2}, 1$, als in fig. 13).

DE BILT 1928-1948 (zware regens)

Een zware regen, die bij een duur van $t - 2\frac{1}{2}$ à $t + 2\frac{1}{2}$ min.
1 keer in gem. j jaren voorkomt, heeft een intensiteit van
tenminste i mm/min

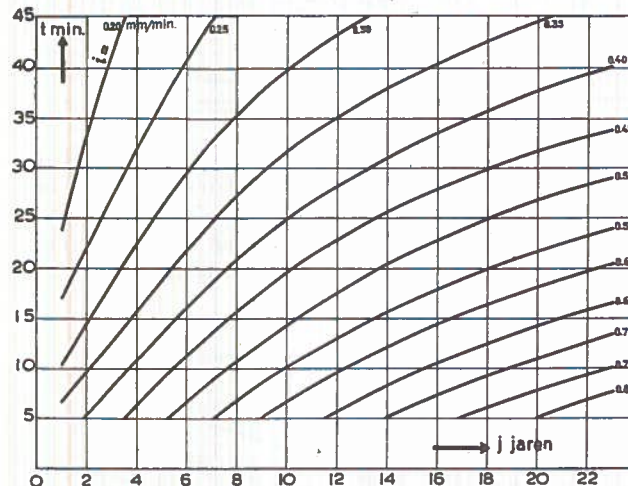


FIG. 15. Heavy rains. Example: a heavy rain of $35 - 2\frac{1}{2}$ up to $35 + 2\frac{1}{2}$ min ($t = 35$) and with $i \geq 0,30$ mm/min occurs once in $j = 8$ years. Now $t = t(j)$; i as parameter

Hiertoe stellen wij met de bovenbeschreven krommen (A) een nieuw stel samen, d.w.z. thans een aantal curven i tegen j (met t als parameter; $t = 1$ à 5; 6 à 10 minuten). Als deze krommen (B) niet vloeiend liggen, strijken wij wat glad. Met deze „gladde” krommen i tegen j maken wij een derde stel (C) en wel t tegen j (i als parameter en wel $i \geq 0,20$; $\geq 0,25$; $\geq 0,30$ etc. mm/min).

Ook deze krommen worden gefatsoeneerd. Wij kunnen uit de curven C weer de curven A terugvormen en die weer wat glad strijken, etc. Wanneer tenslotte „mooie” waarden van i , t en j gekozen worden, ontstaan de curven in de figuren 13, 14 en 15. Het is nodig deze curven juist te interpreteren. Voorbeeld:

1. Een z.r. van $t = 7\frac{1}{2}$ à $12\frac{1}{2}$ minuten en een $i \geq 0,44$ mm/min (dus een $h \geq 4,4 \pm 1,1$ mm) komt 1 keer in gemiddeld 5 jaren voor. Een van $t =$

- 1 à 5 en een $\bar{t} \geq 0,53$ eveneens, waaruit volgt (hetgeen wij uit tabel 20 ook reeds wisten), dat de z.r. zeldzamer wordt zowel bij langere duur als grotere $\bar{t}$.
2. Een z.r. met een $\bar{t} \geq 0,60$ mm/min en een $t = 18$ à 22 minuten is zeer zeldzaam: de frequentie is 1 keer in gemiddeld ongeveer 22 jaren; maar wenst men dezelfde $\bar{t}$ -drempel bij een kortere duur, bijv. slechts 1 à 5 minuten, dan 1 keer in gemiddeld 8 jaren.

Met een materiaal van 23 jaren is het natuurlijk moeilijk en zeer gevaarlijk iets te zeggen over zware regens met een frequentie 1 op j jaren, met $j > 23$. Wij mogen wel wat extrapoleren (in de figuren 14 en 15) maar liefst niet verder dan bijv. 30 jaren. Wij hebben er van af gezien formules $\varphi(\bar{t}, t, j) = 0$ aan te passen. Tenslotte is ook met zulk een formule een verre extrapolatie buiten het eigenlijke j -traject riskant.

4.3 Stortregens

4.3.1 Aantallen

Definitie: een stortregen (s.r.) is een zware regen met tenminste 4 mm.

In 3.1.2 wezen wij reeds op de iets andere definitie van Braak en Hartman. Wij achtten het gewenst het materiaal, welks bewerking in de M.V. 34a gepubliceerd werd (zie tabel 19; 1899–1929), ook op de aan onze definitie gehoorzame stortregens te onderzoeken. De resultaten nemen wij samen in tabel 30.

TABEL 30
DE BILT 1899–1929
Totale aantallen stortregens volgens I en II ¹⁾

	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Le	Zo	He	Wi	Jr
I				5	16	25	42	56	22	8	3	3	21	123	33	3	180
II		1	1	3	11	17	12	14	10	8	2		15	43	20	1	79
Som		1	1	8	27	42	54	70	32	16	5	3	36	166	53	4	259

Total numbers of downpours according to definitions I and II (see text)

- I. zware regens met 4 mm of meer (bij een duur van 20 of meer minuten bevat natuurlijk elke z.r. 4 of meer mm)
- II. zware regens van minder dan 1 uur en met minder dan 4 mm, echter deeluitmakend van een regen, die of hoogstens een uur duurde en tenminste 4 mm bevatte of meer dan 1 uur duurde, terwijl er 4 mm gevallen moet zijn in enig één-uur-gedeelte.

¹⁾ Na een hertelling kwamen wij tot wat andere aantallen dan in M.V. 34a genoemd worden. Belangrijke consequenties brengt dit niet mee

B r a a k vermeldt de som der aantallen I en II in tabel 19, M.V. 34a.

Men verbaast er zich misschien over, dat het totale aantal achter I (180) dat achter II (79) ver overtreft, terwijl men toch meent meer s.r. te kunnen verwachten, wanneer wij niet aan de s.r. zelf een extra eis stellen, maar aan de regen, waarvan hij deel uitmaakt. Tabel 30 geeft echter een ietwat „oneerlijk” beeld: men doet beter alleen de z.r. van een duur korter dan 20 minuten te beschouwen en hen te verdelen in twee groepen:

- de z.r. met tenminste 4 mm (s.r. naar onze definitie) en
- de z.r. met minder dan 4 mm, doch deelsluitmakend van een regen met 4 mm of meer in of binnen een uur (definitie van H a r t m a n - B r a a k). Zie tabel 31.

TABEL 31
DE BILT 1926-1948
Totale aantallen zware regens, korter dan 20 minuten

	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Le	Zo	He	Wi	Jr
a				1	2		4	4	1				3	8	1		12
b		1	1	3	11	16	10	13	9	7	1		1	15	39	17	72
Som		1	1	4	13	16	14	17	10	7	1		4	23	40	17	84

Total numbers of heavy rains shorter than 20 minutes

a) heavy rains with at least 4 mm (downpours)

b) heavy rains containing less than 4 mm, although the whole rain deposited at least 4 mm within one hour

Wij wijzen met nadruk op het feit, dat nu wel b veel groter is dan a. Door de definitie van s.r. min of meer „soepel” te maken (op de wijze van B r a a k) telt men veel meer s.r. dan volgens onze definitie, natuurlijk in het bijzonder voor korte duren.

Voor een eerste orientatie hebben wij de z.r. ingedeeld naar de duur t in groepjes van 5 minuten en naar de hoeveelheid h in groepjes van 0,5 mm. Wij maken echter, teneinde ruimte te besparen, in tabel 32 de intervallen 10 minuten en 2 mm breed.

Er waren: 1 s.r. in de lente van 146 à 150 min en 28,3 mm en 2 s.r. in de zomer van 146 à 150 min en 31,0 mm en van 186 à 190 min en 43,2 mm.

Wij kunnen het 31-jarige, door B r a a k bestudeerde, tijdvak (1899-1929), voegen bij dat der 19 jaren (1930-1948). Aldus komen wij tot tabel 33.

Een stortregen valt dus gemiddeld 7,2 keren per jaar, waarvan 0,8 keren in de lente, 5,7 keren in de zomer, 1,7 keren in de herfst en 0,1 keren in de winter.

De jaarlijkse gang blijkt duidelijk uit tabel 34.

TABEL 32

DE BILT 1926-1948

Totale aantal stortregens; t in min.; h in mmLe Zo
He Wi

t h	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120	121-130	> 30	Som	Procentuele jaaraan- tallen
4,0		3	1												1	12
4,1- 6,0	5	4 25	4 16												3	4
	1	15	12												8 46	4
6,1- 8,0		2	1 11	1 8											2 21	17
		1	6	5											12	
8,1-10,0		1	4	4	1 3										2 12	9
		1			4										5	
10,1-12,0		1	1	2	7 3	2									2 11	9
					1	3	2 2								6	4
12,1-14,0			1	1	1	2									3	2
14,1-16,0			1	1	1	1	1								1 3	1
16,1-18,0			1	1				1							1 2	1
18,1-20,0			1		4				1						6	3
20,1-22,0					1					1					2	1
22,1-24,0						1	1	1	2	1	1				2 5	4
24,1-26,0												1			1	1
26,1-28,0					1										1	0,5
28,1-30,0														1	1	0,5
> 30															2	1
Som	5	4 30	5 35	3 15	2 19	2 5	1 3	3 1	4	2	1 1	1	1	1	20 119	3
	1	20	18	7	6	5									58 4	
Procentuele jaaraan- tallen	3	27	30	12	13	3	2	2	2	1	0,5	0,5	0,5	2		100 %

Total numbers of downpours of t minutes and h mm

TABEL 33

DE BILT 1899-1948
A. totale aantal stortregens
1 keer per gemiddeld B jaren een s.r.

	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Le	Zo	He	Wi	Jr
A		1	1	11	28	52	86	92	55	26	6	3	40	230	87	4	361
B	?	50	50	4,5	1,8	1,0	0,6	0,5	0,9	1,9	8,3	16,7	1,2	0,2	0,6	12,5	0,14

A = total numbers of downpours; a downpour occurred once in B years

TABEL 34

DE BILT
Totale aantal s.r. in 50 jaren

	Le	Zo	He	Wi	Jr
Aantal	40	230	87	4	361
In %	11	64	24	1	100

Total numbers of heavy rains per season

4.3.2 Duur

De gemiddelde duur van een s.r. (ongeacht zijn hoeveelheid) vindt men in tabel 35.

TABEL 35 DE BILT 1926-1948
Gemiddelde duur van een s.r. in minuten

Le	Zo	He	Wi	Jr
47	35	28	22	34

Mean duration (in minutes) of a downpour

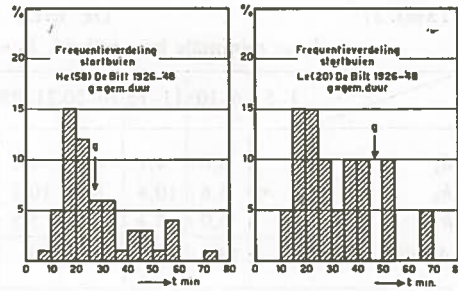
De frequentieverdelingen der durren in de lente en de herfst zijn in beeld gebracht in fig. 16.

Voor elk der seizoenen is de frequentieverdeling scheef, d.w.z. de meest frequente duur is kleiner dan de gemiddelde. Een statistisch onderzoek naar de significantie van deze scheefheid en naar de realiteit van het verschil in scheefheid tussen de lente- en herfst distributie (wij krijgen de indruk, dat de verdeling in de herfst het meest asymmetrisch is, zodat vooral in dit seizoen met een groot verschil tussen de gemiddelde en waarschijnlijkste duur gerekend zou moeten worden) heeft weinig zin vanwege de kleinheid van het materiaal. Om dezelfde reden is het voorlopig moeilijk te concluderen, dat bij s.r. de

FIG. 16. Percentage frequency distributions of downpours of various durations;
Left: autumn; the total number of downpours is 58 (1926-1948)

Right: spring; the total number of downpours is 20 (1926-1948)

g = mean duration. The autumn has more downpours than the spring and these downpours are shorter



gemiddelde duur het grootst zou zijn in de lente (47 minuten), daarentegen bij z.r. in de zomer (54 minuten).

Een ander verschil met de z.r. valt ons sterk op: er waren in totaal 275 z.r. van 1 à 5 minuten; géén enkele daarvan was een s.r. Van de 195 z.r. van 6 à 10 minuten waren er maar 6 stuks een s.r.; van de 104 z.r. van 11 à 15 minuten 18 stuks; 62 z.r. van 16 à 20 minuten, met 37 s.r. etc. Natuurlijk zijn het vooral de langer durende z.r., die vaak tevens s.r. zijn. Boven een uur is iedere z.r. zeker een s.r.

4.3.3 Hoeveelheid

Natuurlijk neemt met toenemende duur de hoeveelheid, gemiddeld genomen, toe. Zie daarvoor tabel 36.

TABEL 36 DE BILT 1926-1948
Stortregens. Gemiddelde hoeveelheid $\bar{h}$ mm bij een duur t minuten

t	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60
Le			5,5	4,6	5,0	5,9	16,3	8,3	12,0		11,3	
Zo		4,9	5,9	5,2	5,9	8,1	8,6	8,8	11,6	16,0		
He		5,6	4,7	4,9	5,1	6,8	7,6	7,6	10,7	10,8	13,4	12,5
Wi			4,2		5,4							
Jr		5,0	5,3	5,0	5,5	7,6	8,7	9,0	11,1	15,0	12,4	12,5

Mean amount of precipitation $\bar{h}$ mm in a downpour of t minutes

De tabel is bij een uur afgebroken, aangezien s.r. van nog grotere duur (3 stuks in alle 23 lentes; 15 in de 23 zomers; 1 in de herfst en 0 in de winters) zo weinig voorkwamen, dat de $\bar{h}$ -waarden zeer onbetrouwbaar worden. Het verband is ongeveer $\bar{h} = 0,25 t + 0,20$.

Teneinde te doen uitkomen hoe sterk bij een gegeven totale duur van de s.r. de hoeveelheid nog uiteenliep in de bestudeerde 23 jaren nemen wij in tabel 37 de kleinste en de grootste hoeveelheid (h_1 en h_2 in mm), tezamen met de gemiddelde hoeveelheid ($\bar{h}$) en het aantal s.r., op en wel ongeacht het seizoen.

TABEL 37

DE BILT 1926-1948

 h_1 = minimale hoeveelheid, h_2 = maximale hoeveelheid in mm

t	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60
h_1		4,6	4,1	4,0	4,3	5,5	6,2	7,5	8,9	9,4	11,3	11,3
h_2		5,6	10,4	8,3	10,2	15,1	16,7	10,9	14,5	27,2	13,4	14,2
h		5,0	5,3	5,0	5,5	7,6	8,7	9,0	11,1	15,0	12,4	12,5
Aantal		18	37	38	23	18	7	12	15	2	5	5

h_1 = smallest and h_2 = largest amount of precipitation in a downpour of t minutes; h = mean value

De absolute maxima nemen met de duur toe ongeveer volgens $2,5 \sqrt{t}$. De opmerkingen, die wij maakten ten aanzien van de grote verschillen tussen h_1 en h_2 bij de bespreking der z.r. (blz. 59) gelden ook nu.

4.3.4 De dagelijkse gang in het aantal stortregens

Wij hebben geteld hoeveel s.r. begonnen in elk der 24 uurvakken van het jaar, teneinde, evenals B r a a k dat deed, te komen tot de dagelijkse gang (zie M.V. 34a, tabel 8, blz. 18).

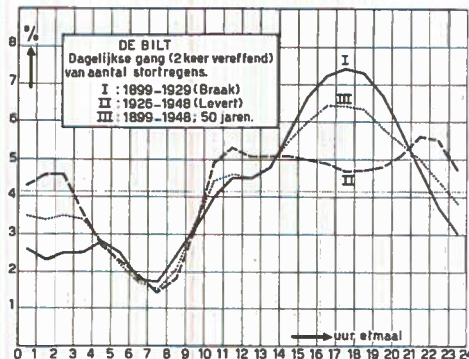


FIG. 17. Diurnal variation of the number of downpours (after smoothing twice).

Horizontal axis: hours of the day; we have considered 3 basic periods. Obviously the afternoon (15-20 h) has three times as many downpours as the morning (5-9 h)

herfst zijn significant (zie fig. 18), de overige zijn het niet. Het lijkt wel of er drie gedeelten van het etmaal zijn, waarin de meeste zomer-s.r. beginnen (2 à 3; 11 à 12 en 21 à 22 uur), terwijl deze drie relatieve maxima in de herfst naar later gelegen uren verschuiven. Helaas is het materiaal te gering om te kunnen toetsen of alle drie toppen reëel zijn en of de dagelijkse gang in de

In fig. 17 geven wij de dagelijkse gang weer in een drietal tijdperken I: 1899-1929 (zie bij B r a a k), II: 1926-1948, III: 1899-1948.

De percentages zijn twee keer vereffend (volgens het beginsel $1/4 (a + 2b + c)$). Zij berusten op totale aantallen resp. 260, 201 en 433. De dagelijkse gang is zeer significant (de χ^2 -toets levert een ver beneden 0,1 % gelegen overschrijdingskans). Rondom 16 à 18 uur beginnen 2 à 3 keer zoveel s.r. als rondom 6 à 8 uur.

De dagelijkse gang is 's zomers anders dan in de herfst. Wij hebben hem in alle jaargetijden met de χ^2 -toets onderzocht. Die in de zomer en in de

herfst significant markanter is dan die in de zomer. Voorlopig mogen wij slechts van indrukken spreken.

Evenals bij de zware regen hebben wij ook onderzocht of en zo ja, in welke mate, de dagelijkse gang der s.r. nog met de duur samenhangt. Wij verrichtten dit onderzoek ongeacht het seizoen. In tabel 38 zijn de resultaten verenigd en in fig. 19 grafisch weergegeven. Alleen de dagelijkse gang van de s.r. van 1-20 en 21-60 minuten is significant. De s.r. van lange duren (meer dan een uur) kwamen zo weinig voor (21 keer in 23 jaren), dat toepassing van de χ^2 -toets niet mogelijk is. We mogen concluderen, dat de stortregens meer in de middag dan in de morgen vallen en vermoedelijk wat later (daarentegen bij de zware regens wat vroeger) in de middag naarmate hun duren groter zijn.

Wanneer wij het aantal en de dagelijkse gang van de stortregens te Den Haag (1910-1930), te Tilburg (1918-1931) te De Bilt (1899-1948) en te Nijmegen (1912-1929) met elkaar vergelijken¹⁾ (ongeacht seizoen) menen wij de volgende conclusies te mogen maken:

1. het gemiddelde aantal stortregens per jaar neemt af met toenemende afstand tot de Noordzeekust (Den Haag 10,6, Tilburg 9,7, De Bilt 7,2 en Nijmegen 7,2);
2. het aantal stortregens is, gemiddeld genomen, 's middags groter dan 's morgens en wel relatief markanter bij toenemende afstand tot de kust. In Den Haag schijnen zelfs 's morgens meer stortregens te vallen dan 's middags;

¹⁾ Zie M.V. 34a

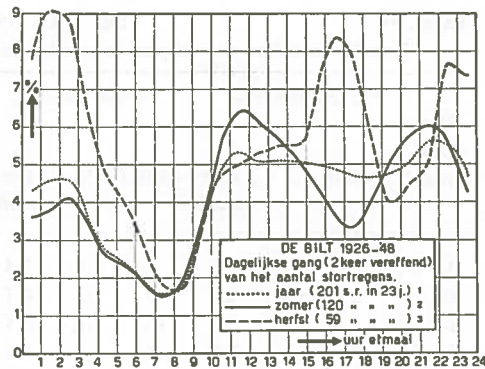


FIG. 18. Diurnal variation of the number of downpours (after smoothing twice)

1: year (201 downpours in 23 years); 2: summer (120 downpours in 23 years); 3: autumn (59 downpours in 23 years)

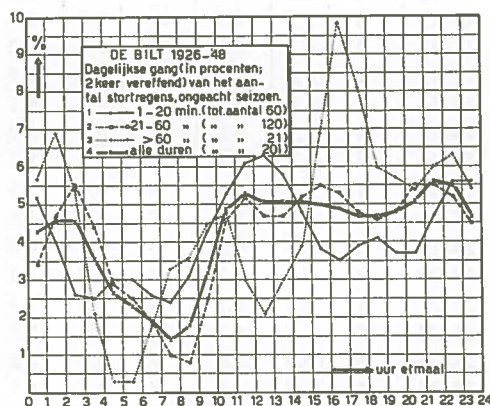


FIG. 19. Diurnal variation of the number of showers (after smoothing twice)

1: duration 1 up to 20 min (total number 60); 2: duration 21 up to 60 min (total number 120); 3: duration 60 min and longer (total number 21); 4: all durations (total number 201)

TABEL 38

DE BILT 1926-1948

Totale aantallen stortregens (ongeacht seizoeneffect) voor verschillende duren

Uur van etmaal	$t \leq 20$ minuten			21-60 minuten			> 60 minuten			Alle duren		
	aantal	%	% 2 keer vereff.	aantal	%	% 2 keer vereff.	aantal	%	% 2 keer vereff.	aantal	%	% 2 keer vereff.
0-1	5	8,3	5,2	4	3,8	3,4			5,7	9	4,5	4,3
1-2	2	3,3	4,0	3	5,5	4,7	3	14,3	6,9	8	4,0	4,6
2-3			2,6	12	7,8	5,5	1	4,8	5,4	13	6,5	4,6
3-4	2	3,3	2,5	4	5,2	4,4			2,1	6	3,0	3,6
4-5	2	3,3	3,0	1	2,8	2,9			0,3	3	1,5	2,7
5-6	2	3,3	3,0	5	3,3	2,5			0,3	7	3,5	2,3
6-7	1	1,7	2,6	2	2,5	1,9			1,8	3	1,5	1,9
7-8			2,4	1	1,0	1,0	1	4,8	3,3	2	1,0	1,4
8-9	3	5,0	3,1		0,2	0,8			3,6	3	1,5	1,8
9-10	2	3,3	4,3		2,5	2,5	1	4,8	4,5	3	1,5	3,2
10-11	3	5,0	5,3	10	6,5	4,6	2	9,5	4,8	15	7,5	4,9
11-12	5	8,3	6,1	66	6,8	5,2			3,0	11	5,5	5,3
12-13	2	3,3	6,3	5	5,2	4,7			2,1	7	3,5	5,1
13-14	7	11,7	5,8	5	5,5	4,7	1	4,8	3,0	13	6,5	5,1
14-15	1	1,7	4,8	7	6,5	5,2	1	4,8	3,9	9	4,5	5,1
15-16	3	5,0	3,8	7	6,8	5,5			6,9	10	5,0	5,0
16-17	1	1,7	3,5	6	6,5	5,3	3	14,3	9,9	10	5,0	4,9
17-18	3	5,0	3,9	7	5,8	4,8			8,1	10	5,0	4,7
18-19	2	3,3	4,1	3	5,2	4,6	2	9,5	6,0	7	3,5	4,7
19-20	4	6,7	3,7	8	5,8	4,8	1	4,8	5,7	13	6,5	4,8
20-21	1	1,7	3,7	4	6,5	5,5	1	4,8	5,4	6	3,0	5,1
21-22	2	3,3	4,7	10	7,5	5,5	1	4,8	6,0	13	6,5	5,6
22-23	6	10,0	5,6	6	6,5	5,2	2	9,5	6,3	14	7,0	5,5
23-24	1	1,7	5,6	4	4,5	4,5	1	4,8	5,4	6	3,0	4,7
Som	60	100	100	120	100	100	21	100	100	201	100	100

Total numbers of downpours of t minutes per 1-hour period. Diurnal variation

3. de top in de dagelijkse gang schijnt voor langere stortregens naar een later uur (naar de avond) te verschuiven.

4.3.5 De duur en de grootste intensiteit

Wij hebben verder een poging gedaan het verband tussen de maximale momentane intensiteit in en de duur van een stortregen in een formule vast te leggen. Eerst onderzochten wij met behulp van een variantie-analyse of het verband statistisch reëel was. Er resulteerde een markante significantie. Daartoe liepen wij nog eenmaal de door B r a a k samengestelde lijsten door

en noteerden wij bij iedere stortregen (een stortregen volgens de hier gegeven definitie) de duur t en de grootste intensiteit i_m . Aan het tijdvak 1899–1929 voegden wij de jaren 1930–1948 toe. Aldus kwamen wij tot de in tabel 39 neergelegde gegevens (zie fig. 20).

Wij willen er nadrukkelijk op wijzen, dat hier van een stochastisch¹⁾ verband sprake is. Bij stortregens van een duur van bijv. 41 à 60 minuten lopen de waarden van i_m sterk uiteen; de gemiddelde waarde is 0,93 mm/min. Het verband tussen i_m en t is ongeveer $i_m = 0,28 t^{0,23}$.

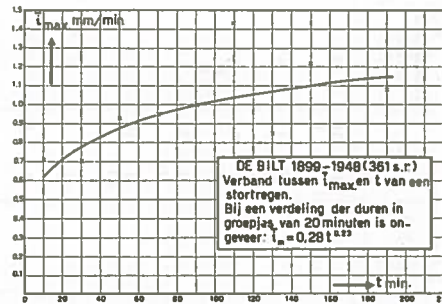


FIG. 20. Relation between $i_{\max}$ and t of a downpour. The durations have been grouped in intervals of 20 minutes.

$i_m = 0,28 t^{0,23}$. Now $i_{\max}$ increases with t . This conclusion could not be made on basis of all rains, see fig. 11

TABEL 39

DE BILT 1899–1948

t = duur van de s.r. in minuten; A = totale aantal s.r.; i_m = gemiddelde van alle i_m -waarden (mm/min) in betreffende t -interval

t	1–20	21–40	41–60	61–80	81–100	101–120	121–140	141–160	161–180	181–200	Alle duren
A	97	155	64	17	15	6	1	4	1	1	361
i_m	0,71	0,70	0,93	0,94	1,00	1,43	0,84	1,22	2,5	1,1	0,79

Total number (A) and mean maximum intensity (i_m mm/min) of downpours of t minutes

Voorbeeld: In een stortregen van 3 kwartier valt, gemiddeld genomen, ongeveer $0,25 \times 45 + 0,20 = 11,5$ mm; maximaal valt er ongeveer $2,5 \times \sqrt{45} = 16,8$ mm, terwijl de grootste momentane intensiteit, gemiddeld genomen, ongeveer $0,28 \times 45^{0,23} = 0,85$ mm/min bedraagt.

4.4 Hevige regens

4.4.1 Aantallen

Een hevige regen is een zo lang mogelijk gekozen deel van een regen (soms ook de gehele regen zelf), waarin, van moment tot moment, de intensiteit tenminste 0,2 mm/min bedraagt.

¹⁾ D.w.z. bij iedere waarde van t behoort niet één enkele i_m -waarde, maar een verzameling van i_m -waarden, die aan een waarschijnlijkheidsverdeling gehoorzamen, waarvan de karakteristieken (zoals de i_m) functies van t zijn

Le Zo
He Wi

TABEL 40
DE BILT 1926-1948
Totale aantallen hevige regens; t in minuten; h in mm

t h	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	Som	Procentuele jaaraan- tallen
0,1- 2,0	50 210 132 8											50 210 132 8	52
2,1- 4,0	15 64 33 5	14 49 21 1										29 113 44 6	26
4,1- 6,0	3 16 4	7 19 17 2	3 3 1									13 38 22 2	10
6,1- 8,0		12 8 8	2 8 2	2								2 22 9	4
8,1-10,0	1	3 1 3	1 8 3	1 2 1	1							1 10 10	3
10,1-1,20		2 2 2	2 1 2	1 1 1	3							1 7 3	1,4
12,1-14,0		1 1 1	1 2 1	3			1					1 7 1	1,0
14,1-16,0			1			1						1 3 1	0,5
16,1-18,0		3	1					1				1 4 1	0,6
18,1-20,0			2 1	1					1			4 4	0,5
20,1-22,0					2			1				1 3 1	0,5
22,1-24,0					1			1 1				1 2 1	0,4
> 24,0					1						1	2 2	0,2
Som	67 291 172 23	22 87 41 3	6 27 15	1 5 3 1	10	1	1 1 1	1 2 1	1 1 1	1	1	99 426 233 26	
Procentuele jaaraan- tallen	71	20	6	1,5	1,5	0,1	0,2	0,4	0,2		0,1		100

Total numbers of very intense rains of t minutes and h mm

De definitie van de hevige regen (h.r.) brengt met zich mede, dat de gemiddelde intensiteit (d.i. de hoeveelheid gedeeld door de duur) nooit kleiner dan 0,2 kan zijn; verder constateerden wij, dat zij, in het gemiddelde genomen, minder van 0,2 verschilt bij lang dan bij kort durende h.r.; de ervaring is n.l., dat het vooral de kortdurende h.r. zijn, die abrupt beginnen en abrupt eindigen, daarmede (zo goed als) de gehele regen vormen, zodat er een gemiddelde intensiteit resulteert, die „ver” boven de 0,2 uitkomt.

Voor een eerste overzicht hebben wij de h.r. ingedeeld in groepen van 5 minuten (1-5; 6-10; 11-15 enz.) en in groepen van 0,5 mm (0,1-0,5; 0,6-1,0; enz.). Het is niet mogelijk dit frequentieschema, betrekking hebbende op alle 784 h.r. in de 23 jaren 1926-1948, hier volledig op te nemen. Wij delen daarom in naar groepen van 10 minuten en 2 mm. Zie tabel 40.

Zoals wij mochten verwachten, geeft de tabel te zien, dat zowel met toenemende duur als met toenemende hoeveelheid de frequentie van de h.r. afneemt. De hevige regens concentreren zich vooral rondom 1 à 10 min en 0,1 à 2,0 mm.

Tegelijkertijd blijkt hoe sterk de jaarlijkse gang is. Immers waar de vakjes leger geraken, vindt men de h.r. nog bijna alleen in de zomer (gevolgd door de lente). Zowel de bijzonder lang durende h.r. (zegge met een duur boven 1 uur) als de bijzonder veel levende h.r. (zegge boven 10 mm) vindt men alleen in de zomer en de lente.

Tabel 41 geeft een duidelijk beeld van de markante jaarlijkse gang, waarbij niet gelet is op de duur of de hoeveelheid.

TABEL 41 DE BILT 1926-1948
Totale aantal h.r. in 23 jaren

Le	Zo	He	Wi	Jr
99	426	233	26	784
13	54	30	3	100%

Total number of very intense rains

4.4.2 Duur

Voor de gemiddelde duur van een h.r. (waarbij niet op de hoeveelheden gelet is), zie men tabel 42.

Men moet natuurlijk weer niet veel waarde hechten aan de eerste decimaal.

De tendens, dat in de lente of in de zomer een hevige regen zeker langer duurt (ongeveer twee keer zo lang) dan in de winter, zal wel reëel zijn.

In tabel 43 geven wij weer hoe de gemiddelde duur van een h.r. met de hoeveelheid toeneemt.

Het spreekt vanzelf, dat alleen bij grote aantallen de $\bar{t}$ vrij betrouwbaar is;

TABEL 42 DE BILT 1926-1948
Gemiddelde duur $\bar{t}$ van een h.r. in minuten

Le	Zo	He	Wi	Jr
10,4	10,5	8,8	5,7	9,6

Mean duration of a very intense rain in minutes

TABEL 43

DE BILT 1926-1948

N = aantal h.r. in het betreffende h -interval (h in mm)
 $\bar{t}$ = gemiddelde duur (afgerond op hele minuten)

N	h	$\bar{t}$	N	h	$\bar{t}$	N	h	$\bar{t}$
6	0,1-0,5	3	5	8,6- 9,0	26	2	17,1-17,5	55
110	0,6-1,0	3	7	9,1- 9,5	20		17,6-18,0	
192	1,1-1,5	4	4	9,6-10,0	22		18,1-18,5	
102	1,6-2,0	6	1	10,1-10,5	13	2	18,6-19,0	53
72	2,1-2,5	8	6	10,6-11,0	30	2	19,1-19,5	30
50	2,6-3,0	10	1	11,1-11,5	33	1	19,6-20,0	33
49	3,1-3,5	11	3	11,6-12,0	41		20,1-20,5	
31	3,6-4,0	14	3	12,1-12,5	33	1	20,6-21,0	68
27	4,1-4,5	13		12,6-13,0			21,1-21,5	
22	4,6-5,0	14		13,1-13,5		3	21,6-22,0	56
14	5,1-5,5	11	5	13,6-14,0	37		22,1-22,5	
12	5,6-6,0	15	1	14,1-14,5	23	1	22,6-23,0	73
12	6,1-6,5	23	1	14,6-15,0	58		23,1-23,5	
4	6,6-7,0	22	1	15,1-15,5	28	2	23,6-24,0	58
9	7,1-7,5	24	1	15,6-16,0	23		24,1-24,5	
8	7,6-8,0	16	2	16,1-16,5	31	-	24,6-25,0	
6	8,1-8,5	17	1	16,6-17,0	13	2	$\geq 25,1$	78

N = total number of very intense rains of h mm; $\bar{t}$ = mean duration (in minutes) of rains of h mm

TABEL 44

Gemiddelde duur van een h.r. en zijn hoeveelheid

N	h mm	$\bar{t}$ minuten
742	0,1-10,0	8,0
21	10,1-15,0	30,5
21	15,1 en meer	48,6
alle	0,1 en meer	9,6

Mean duration $\bar{t}$ (in minutes) of a very intense rain of h mm; N = total number of such rains of h mm

nog niet bekend is. Men zou een indeling in 3 groepen kunnen maken, zie het tabelletje 44.

De langst durende h.r. duurde 108 minuten (6 Juni 1943, begonnen om 11.05 h.); deze h.r. bracht 27,8 mm in 108 minuten (dus $\bar{t} = 0,26$ mm/min);

zodra de N met toenemende h beneden bijv. 10 gedaald is, mag aan de gevonden getallenwaarde van de $\bar{t}$ niet veel betekenis gehecht worden. Al met al is duidelijk, dat $\bar{t}$ met toenemende h toeneemt en wel omdat (louter vanwege de definitie) bij een duur t de hoeveelheid zeker tenminste $0,2 t$ moet zijn, waarmede intussen de vorm van de functie $\bar{t} = f(h)$

de ganse regen, waarvan deze h.r. een deel was, duurde 715 minuten en bracht 49,0 mm ($\bar{i} = 0,07$ mm/min) (Zie 4.6.).

De h.r. met de grootste hoeveelheid bracht 27,8 mm; dat hij dezelfde is als bovengenoemde, is louter toeval.

Hoe sterk een en ander met de lengte van het tijdvak kan samenhangen, moge blijken uit een vergelijking van onze resultaten (1930–1948) met die van B r a a k (1899–1929), zie M.V. 34a, tabel 20, blz. 29. B r a a k noemt niet in elk der duurrubrieken de totale aantallen h.r., maar voor duren, boven de 30 minuten kunnen deze uit tabel 20 worden afgeteld. Zie de volgende tabel.

TABEL 45

DE BILT

Aantallen hevige regens van een duur t

t minuten	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100	101–110
1899–1929	4	2						
1930–1948	9	12	1	2	3	2		1

Total numbers of very intense rains of t minutes. Two basic periods

4.4.3 Hoeveelheid

Wij kunnen ook de gemiddelde hoeveelheid per h.r. berekenen zonder op de duur te letten (Zie tabel 46).

TABEL 46

Gemiddelde hoeveelheid $\bar{h}$ van een h.r., in mm

Le	Zo	He	Wi	Jr
3,1	3,4	2,7	1,8	3,0

Mean rainfall $\bar{h}$ in mm in a very intense rain

In overeenstemming met tabel 42 blijkt een h.r. 's zomers ongeveer twee keer zoveel te leveren als 's winters.

Wij gaven in tabel 44 weer hoe de gemiddelde duur van een h.r. met de hoeveelheid samenhangt. Omgekeerd kan ook kennis omtrent de hoeveelheid in afhankelijkheid van de duur van de h.r. van belang zijn. In verschillende beschouwingen treedt dit verband op; wij hebben er van afgezien naar de analytische vorm van dit verband te speuren. Het is natuurlijk duidelijk,

dat de relatie voor grote t meer en meer naar $\bar{h} = 0,2 t$ tendeert. Tabel 47, die tevens aangeeft hoe uitermate sterk de hoeveelheden in h.r. van eenzelfde duur kunnen uiteenlopen, bevat voldoende gegevens, zodat daarmee, indien men dat wenst, de bedoelde betrekking numeriek bepaald kan worden.

Het heeft geen zin de tabel verder dan tot 60 minuten te laten gaan.

TABEL 47

DE BILT 1926-1948

De hoeveelheden neerslag in hevige regens (totale aantal N in 23 jaren) van t minuten liepen uiteen tussen $h_{\min}$ en $h_{\max}$ mm, met een gemiddelde $\bar{h}$ mm

t minuten	N	$\bar{h}$ mm	mm		t minuten	N	$\bar{h}$ mm	mm	
			$h_{\min}$	$h_{\max}$				$h_{\min}$	$h_{\max}$
1-5	Le 35	1,2	0,4	2,9	31-35	Le 1	19,9	19,9	19,9
	Zo 169	1,4	0,4	5,1		Zo 5	10,3	6,2	19,1
	He 105	1,2	0,6	2,7		He 3	9,5	8,6	10,7
	Wi 15	1,2	0,6	3,2		Wi			
	Jr 324	1,3	0,4	5,1		Jr 9	11,7	6,2	19,9
6-10	Le 32	2,3	1,2	5,9	36-40	Le			
	Zo 122	2,5	1,2	8,1		Zo			
	He 67	2,2	1,2	8,5		He			
	Wi 8	1,9	1,2	2,7		Wi			
	Jr 229	2,4	1,2	8,5		Jr			
11-15	Le 19	4,5	2,7	5,8	41-45	Le 1	10,8	10,8	10,8
	Zo 62	4,3	2,3	17,3		Zo 4	15,1	10,9	23,6
	He 28	4,2	2,7	9,9		He			
	Wi 3	4,1	3,3	4,8		Wi			
	Jr 112	4,2	2,3	17,3		Jr 5	14,3	10,8	23,6
16-20	Le 3	7,0	3,6	13,6	46-50	Le			
	Zo 25	5,6	3,4	16,5		Zo 6	18,0	11,8	27,2
	He 13	4,6	3,2	8,2		He 1	9,4	9,4	9,4
	Wi					Wi			
	Jr 41	5,4	3,2	16,5		Jr 7	16,8	9,4	27,2
21-25	Le 5	9,1	4,8	15,9	51-55	Le			
	Zo 18	8,6	4,8	19,0		Zo			
	He 7	7,2	6,3	10,9		He			
	Wi					Wi			
	Jr 30	8,2	4,8	19,0		Jr			
26-30	Le 1	6,0	6,0	6,0	56-60	Le			
	Zo 9	12,0	6,3	19,2		Zo 1	14,6	14,6	14,6
	He 8	8,2	6,5	12,0		He			
	Wi					Wi			
	Jr 18	9,8	6,0	19,2		Jr 1	14,6	14,6	14,6

The rainfalls in very intense rains (which occurred N times in the basic period) of t minutes varied between $h_{\min}$ and $h_{\max}$ mm. The average value is $\bar{h}$ mm

De tabel leert, dat met toenemende duur de gemiddelde hoeveelheid in een h.r. toeneemt, echter geenszins rechtevenredig. Enig idee hierover krijgt men door de $\bar{h}$ (niet gelet op seizoeneffect) te delen door het midden t^* van het duurinterval, waarmede zo iets als een gemiddelde intensiteit verkregen wordt (tabel 48).

TABEL 48

DE BILT 1926-1948

De duur en de hoeveelheid in een hevige regen

t	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	41-45	46-50	56-60	minuten
t^*	3	8	13	18	23	28	33	43	48	58	minuten
$\bar{h}$	1,3	2,4	4,2	5,4	8,2	9,8	11,7	14,3	16,8	14,6	mm
$\bar{h} : t^*$	0,43	0,30	0,32	0,30	0,36	0,35	0,36	0,33	0,35	0,26	mm/min

The mean rainfall $\bar{h}$ mm in a very intense rain of t minutes and the diminution of $\bar{h} : t^$ with increasing t^* (t^* is the middle of the interval)*

De getallen 0,43; 0,30; dalen geleidelijk naar 0,2 mm/min.

4.4.4 De duur en de maximum intensiteit

Terwijl de gemiddelde intensiteit, althans gemiddeld beschouwd, voor langer durende h.r. kleiner is, is met de maximale momentane intensiteiten i_m vermoedelijk het tegengestelde het geval. Anders gezegd: het is alsof de grote maximale momentane intensiteiten juist in de langer durende h.r. gezocht moeten worden (dit vonden wij bij de stortregens ook). Een nauwkeurige meting van de maximale momentane intensiteit i_m eist evenwel een ragfijne pluviocurve; de kromlijnigheid van het net op het pluviogram is zeer hinderlijk, een feit, waarover reeds uitvoerig gesproken is. Men diene derhalve de volgende getallen met de nodige voorzichtigheid te beschouwen. Wij groeperen de h.r. nu in 10 minuten-intervallen en gaan niet verder dan tot een duur van 50 minuten (zie tabel 49).

TABEL 49

DE BILT 1926-1948

De gemiddelde en de grootste waarde van de i_m van alle h.r. van een duur t

t	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	minuten
Gem. i_m	0,32	0,50	0,64	0,79	1,10	mm/min
Grootste i_m	1,47	1,80	2,57	1,72	1,62	mm/min

Mean and highest value of the maximum intensity of very intense rain

De h.r. met de grootste gemiddelde intensiteit ($\bar{i} = 1,31$ mm/min) viel op 1 Juni 1927; deze bracht 17,0 mm in 13 minuten. De hoofdregen duurde 50 minuten en leverde 19,0 mm ($\bar{i} = 0,38$ mm/min) en was dus, als geheel nog wel, zwaar.

De h.r. met de grootste maximale momentane intensiteit ($i_m = 2,57$ mm/min) viel op 10 Mei 1948; 15,9 mm in 22 minuten, $\bar{i} = 15,9 : 22 = 0,72$ mm/min.

Deze 2,57 mm/min is ook de grootste momentane intensiteit, die tot nu toe in het ganse materiaal van alle regens, van welke aard ook, geregistreerd door de pluviograaf in De Bilt, gevonden is. De regen, waarvan bedoelde h.r. een deel vormde, leverde in totaal maar 0,4 mm meer en duurde toch 13 minuten langer.

Uit het voorgaande (tabel 40) is reeds gebleken, dat de h.r. van grote hoeveelheden minder frequent zijn dan die van kleine hoeveelheden. Het seizoen-effect hierbij is zeer markant. In de volgende tabel willen wij dit nog eens tot uitdrukking brengen.

TABEL 50

DE BILT 1926-1948

Totale aantallen h.r.

<i>h</i> mm	Le	Zo	He	Wi	Jr
0,0- 2,0	50	210	132	18	410
2,1- 4,0	29	113	54	6	202
4,1- 6,0	11	38	24	2	75
6,1- 8,0	2	22	9		33
8,1-10,0	1	11	10		22
10,1-12,0	1	7	3		11
12,1-14,0	1	7			8
14,1-16,0	1	3			4
16,1-18,0	1	4			5
18,1-20,0	1	4			5
20,1-22,0	1	3			4
22,1-24,0		2	1		3
24,1-26,0					
26,1-28,0		2			2

*Total numbers of very heavy rains of *h* mm*

Men ziet, dat de schaarse Wi-h.r. zich uitsluitend tot kleine hoeveelheden (ten hoogste 6,0 mm) beperken, maar dat van de h.r. in de zomer (en ook enigszins in de lente) enkele zelfs meer dan 20,0 mm geleverd hebben.

4.5 Zeer zware regens

4.5.1 Aantallen

In 50 jaren (het tijdvak 1899–1929 werd onderzocht door Braak; 1930–1948 door ons) kwamen in totaal 62 zeer zware regens (z.z.r.) voor. De frequentie is dus ongeveer 1,2 stuks per jaar.

De verdeling over de beide tijdvakken en die over de maanden van het jaar ziet men in tabel 51.

TABEL 51
DE BILT
Totale aantallen z.z.r.

Tijdvak	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Le	Zo	He	Wi	Jr
1899–1929					3	10	6	12	2				3	28	2		33
1930–1948					4	6	5	10	3	1			4	21	4		29
1899–1948					7	16	11	22	5	1			7	49	6		62

Total numbers of very heavy rains in two basic periods

De jaarlijkse gang is zeer markant. De z.z.r. vallen voor bijna 80 % in de zomer (in de 50 winters kwam zelfs geen enkele z.z.r. voor).

4.5.2 Hoeveelheden

Het aandeel, dat de zeer zware regens in de totale hoeveelheid neerslag hebben, is wel zeer gering en kleiner dan men meestal denkt.

Wij moeten wel bedenken, dat de gemiddelde intensiteit weliswaar zeer hoog ligt (louter qua definitie), veel hoger dan doorgaans bij een regen het geval is, maar dat de aantallen z.z.r. relatief zeer klein zijn (men bestudere het frequentie-schema in 4.1.1) terwijl ook de duur kort is. Zie tabel 52.

TABEL 52
DE BILT
Gemiddelde over 1899–1948

	Le	Zo	He	Wi	Jr
a. Hoeveelheid neerslag op rekening van z.z.r.	1,3	10,1	0,9		12,3 mm
b. Hoeveelheid neerslag op rekening alle van regens	155	218	211	175	759 mm
a/b in %	0,8	4,6	0,4		1,6

The mean rainfall in mm caused by very heavy rains (a) and caused by all rains of any type whatever (b)

Tabel 53 beantwoordt de vraag hoe sterk de hoeveelheden neerslag in de z.z.r. uiteenlopen en of dit wellicht in het ene seizoen anders is dan in het andere. Vanwege de definitie van z.z.r. is de kleinste hoeveelheid, die een z.z.r. bevatten kan, 5 mm.

De tabel leert ons, dat z.z.r. met kleine hoeveelheden veel frequenter zijn dan die met grote. Die met zeer grote hoeveelheden (bijv. ≥ 25 mm) vallen uitsluitend in de zomer. Ongeveer 30 % aller z.z.r. komt boven de 12 mm uit.

TABEL 53

DE BILT 1899-1948
Totale aantallen over 50 jaren

<i>h</i>	4,1-8,0	8,1-12,0	12,1-16,0	16,1-20,0	20,1-24,0	24,1-28,0	28,1-32,0mm	Som
Le	3	2	2					7
Zo	24	13	2	6	2		2	49
He	4	1		1				6
Wi								
Jr	31	16	4	7	2		2	62

Total numbers of very heavy rains of h mm

De gemiddelde hoeveelheid per z.z.r. (hierbij niet lettende op de duur) en de gemiddelde duur (hierbij niet lettende op de hoeveelheid) worden genoemd in tabel 54.

TABEL 54

DE BILT 1899-1948
Gemiddelde hoeveelheid neerslag en gemiddelde duur van een z.z.r.

	Le	Zo	He	Wi	Jr
Gem. hoeveelheid $\bar{h}$ per z.z.r.	9,3	10,5	9,2		10,2 mm
Gem. duur $\bar{t}$ per z.z.r.	9,0	10,3	8,2		10,0 min
Aantal	7	49	6		62

Mean amount of precipitation ($\bar{h}$ in mm) and mean duration ($\bar{t}$ in minutes) of a very heavy rain

Een meer gespecificeerde indeling der aantallen z.z.r., ingedeeld èn naar duur èn naar hoeveelheid, wordt gegeven in tabel 55.

TABEL 55

DE BILT 1899-1948

Frequentieverdeling der z.z.r. naar duur (t min) en hoeveelheid (h mm)

$t \backslash h$	5	6-10	11-15	16-20	21-26	26-30	Som
5,0	9						9
5,1- 5,5	7						7
5,6- 6,0	1	2					3
6,1- 6,5	1						
6,6- 7,0		4					4
7,1- 7,5		2					2
7,6- 8,0		5					5
8,1- 8,5	1	2					3
8,6- 9,0		1					1
9,1- 9,5							
9,6-10,0		4					4
10,1-10,5		1					1
10,6-11,0		2	1				3
11,1-11,5		1	1				2
11,6-12,0			2				2
12,1-12,5							
12,6-13,0							
13,1-13,5			2				2
13,6-14,0							
14,1-14,5							
14,6-15,0			2				2
15,1-15,5							
15,6-16,0							
16,1-16,5			1	1			2
16,6-17,0				1			1
17,1-17,5				2			2
17,6-18,0							
18,1 en meer				2	2	2	6
Som	19	24	9	6	2	2	62

Total numbers of very heavy rains of t min and h mm

4.5.3 De duren

Het aandeel, dat de z.z.r. hebben in de totale regenduur is veel en veel kleiner dan de fractie, die zij, voor wat de hoeveelheid betreft, voor hun rekening nemen (zie tabel 56).

Natuurlijk mag de betekenis van de z.z.r. niet beoordeeld worden aan het aandeel, dat hij heeft in de duur van alle regens. Van meer belang is het feit,

TABEL 56

DE BILT
Gemiddelde over 1926-1948

	Le	Zo	He	Wi	Jr
a. Gem. regenduur z.z.r.	0,029	0,156	0,016	—	0,201 uren
b. Gem. regenduur aller regens	90	88	126	120	424 uren
a : b in %	0,03	0,18	0,01	—	0,05

Mean annual duration of rain caused by very heavy rains (a) and caused by all rains of every type (b) in hours

dat hij een zeer aanzienlijke intensiteit heeft. Enige kortdurende, doch zeer intense, regens kunnen meer goed of kwaad doen dan vele langdurende zwakke.

Het spreekt vanzelf, dat de kortdurende z.z.r. frequenter zijn dan de langdurende. De volgende tabel illustreert dit.

TABEL 57

DE BILT 1899-1948
Totale aantallen z.z.r.; *t* in min

Duur <i>t</i>	5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	alle duren
Aantal	19	24	9	6	2	2	62

*Total numbers of very heavy rains of *t* minutes*

De z.z.r. hebben voor 70 % een duur 5 à 10 minuten. De 5-minuten-z.z.r. is zeer sterk vertegenwoordigd (voor ruim 30 %), gedeeltelijk vanwege de definitie van een z.z.r.

4.5.4 De intensiteiten

Wij hebben de z.z.r. naar hun gemiddelde intensiteit in klassen van 0,10 mm/min ingedeeld en in elke klasse de gemiddelde duur uitgerekend, zie tabel 58.

TABEL 58

DE BILT 1899-1948
Frequentieverdeling van de intensiteiten van z.z.r.

Intensiteit <i>i</i>	1,00	1,01-1,10	1,11-1,20	1,21-1,30	1,31-1,40	1,41-1,50	1,51-1,60	1,61-1,70 mm/min
Aantal	29	23	4	4	1			1
Gem. duur	10,3	10,7	6,6	7,8	8,0			5 min

*Total numbers of very heavy rains of mean intensity *I* mm/min*

Wij vermelden nogmaals nadrukkelijk, dat eigenlijk *alle* z.z.r. een gemiddelde intensiteit van precies 1,00 mm/min zouden moeten hebben, louter en alleen

vanwege de definitie, doch dat het meestal niet ragfijne diagram er oorzaak van is, dat toch nog 53 % een $i \geq 1,01$ heeft. Regens die van begin tot eind zeer zwaar waren en op grond daarvan zeer zeker een $i \geq 1,00$ zullen hebben, kwamen zeer waarschijnlijk in alle jaren, die wij onderzochten, niet voor; m.a.w. elke zeer zware regen vormt een deel van een langere regen.

Het is vanwege het geringe materiaal moeilijk te concluderen, dat de gemiddelde duur van een zeer zware regen met toeneming van zijn intensiteit significant zou dalen, hoewel de getallen hier enigszins op wijzen. Als deze daling reëel is, beduidt zij, dat een zeer zware regen korter duurt naarmate hij meer abrupt begint en meer abrupt eindigt (tengevolge waarvan er een $\bar{i}$ boven 1,00 komt). Een voorbeeld vormt de zeer zware regen van 2 Juli 1930; de ganse regen duurde toen 135 minuten en bracht 12,0 mm, derhalve was de $\bar{i}$: 0,09; het zeer zware deel duurde 5 minuten en bracht 8,5 mm ($\bar{i} = 1,70$ mm/min). Zie fig. 22.

Een geheel ander beeld biedt de zeer zware regen (fig. 21) van 9 Juli 1905, toen de ganse regen bij een duur van 140 minuten een hoeveelheid 36,6 mm bracht (en dus als geheel zwaar was). Het zeer zware deel bevat 30,3 mm en is 30 minuten lang, dus met een gemiddelde intensiteit van ongeveer 1,00 mm (het diagram maakt deze keer een zeer scherpe aflezing mogelijk).

Het bovenstaande heeft betrekking op de gemiddelde intensiteit van de z.z.r. zelf. Wij hebben ook een onderzoek ingesteld naar de maximale intensiteit i_m en wel voor de jaren 1926–1948. De i_m -waarden lopen zeer uiteen. Het is niet mogelijk vast te stellen, dat er een bepaald verband tussen de i_m en de duur van de z.z.r. bestaat. Wij vermelden dan ook de uitkomst, dat voor z.z.r. van ten hoogste 10 minuten (24 stuks) de i_m , gemiddeld, 1,3 mm/min en voor langer durende z.z.r. (8 stuks), gemiddeld 1,8 mm/min bedraagt, louter en alleen ter illustratie, zonder te beweren, dat met toenemende duur de i_m zou toenemen (ofschoon de $\bar{i}$ zelf daalt), welke „stelling” wij wel statistisch be-
wezen voor zware regens.

4.5.5 De dagelijkse gang in het aantal z.z.r.

Wij hebben het etmaal in 4 tijdvakken verdeeld, elk van 6 uren.

Tabel 59 laat zien hoeveel z.z.r. begonnen in deze tijdvakken (de aantallen gelden weer voor de 50 jaren 1899–1948).

TABEL 59 DE BILT 1899–1948
Totale aantallen z.z.r. per 6 uren-tijdvak

Tijdvak	0–6	6–12	12–18	18–24 uur
Aantal	4	7	28	23

Total numbers of very heavy rains per 6-hours interval of
the day

De dagelijkse gang is zeer reëel. Wij hebben hem statistisch onderzocht. Meer dan 80 % van alle z.z.r. valt na 12 uur 's middags en daarvan ongeveer de helft nog vóór 6 uur 's avonds. Voorlopige resultaten wijzen erop, dat deze dagelijkse gang meer markant wordt in het oosten des lands en minder in het westen.

De vraag welk deel van de ganse regen, zowel wat duur als hoeveelheid betreft, voor rekening van de z.z.r. komt, wordt in 4.8 beantwoordt.

4.6 Een overzicht van de meest bijzondere regens uit het tijdvak 1926-1948

In tabel 60 worden de grootste waarden van de grootheden h , t , $\bar{i}$, i_m genoemd, die in het, betrekkelijk korte, 23-jarige tijdvak voorkwamen, terwijl vermeld wordt op welke dagen de regens vielen. In de eerste rij wordt niet op het type regen gelet (dus korte en lange regens, al of niet zware regens, enz.). In de volgende rijen worden de grootste waarden opgesomd voor elk der typen regens, die wij tot nu toe onderscheidden.

Men leest er bijv., dat van alle 784 hevige regens de langstdurende een duur van 108 minuten had (6-6-1943), d.w.z. 108 minuten achtereen was er een momentane intensiteit van tenminste 0,20 mm/min. De h.r. met de grootste gemiddelde intensiteit viel op 1-6-1927; deze intensiteit bedroeg 1,31 mm/min.

TABEL 60

DE BILT 1926-1948

Maximale waarden van gemiddelde intensiteit, maximale momentane intensiteit, hoeveelheid en duur in met data genoemde regens van verschillende typen

Type regen ¹⁾	Max $\bar{i}$ mm/min	Datum	Max. i_m mm/min	Datum	Max. h mm	Datum	Max. t minuten	Datum
1. Regen, ongeacht type (a.r.)	0,70	14-7-1934	2,57	10-5-1948	51,8	7-5-1931	1610	21-5-1928 ²⁾
2. Hevige regen (h.r.)	1,31	1-6-1927	2,57	10-5-1948	27,8	6-6-1943	108	6-6-1943
3. Zware regen (z.r.)	0,73	11-7-1942	2,57	10-5-1948	43,2	2-8-1948	190	2-8-1948
4. Stortregen (s.r.)	0,73	11-7-1942	2,57	10-5-1948	43,2	2-8-1948	190	2-8-1948
5. Zeer zware regen (z.z.r.)	1,70	2-7-1930 ³⁾	2,57	10-5-1948	21,4	14-6-1931	21	14-6-1931

Survey of maximum values (observed in the basic period) of the quantities $\bar{i}$ (mean intensity), i_m (maximum intensity), h (rainfall) and t (duration) in rains of every type (1), in very intense rains (2), in heavy rains (3), in downpours (4) and in very heavy rains (5)

¹⁾ In de avond van 3 Juli 1952 viel te De Bilt een regen, waarin enkele der in tabel 60 genoemde records gebroken werden. In een enkele regen kwam namelijk 66,1 mm (in 627 min) neer. Er was een zwaar deel van 190 minuten (en 43,2 mm) en een zeer zwaar deel van 26 minuten (en 21,4 mm)

²⁾ In de nog niet geheel bewerkte pluviogrammen van Lisse kwamen wij een regen tegen, die in totaal 1826 minuten ($\pm 30,5$ uur) duurde; verder was $h = 47,6$ mm; $\bar{i} = 0,03$ mm/min; $i_m = 0,19$ mm/min (13 Juni 1940). Regens van 24 en meer uren in ons land zijn zeker zeer zeldzaam

³⁾ Zie het pluviogram in fig. 22 en het daarmee zelfvervaardigde gelineariseerde pluviogram in fig. 23

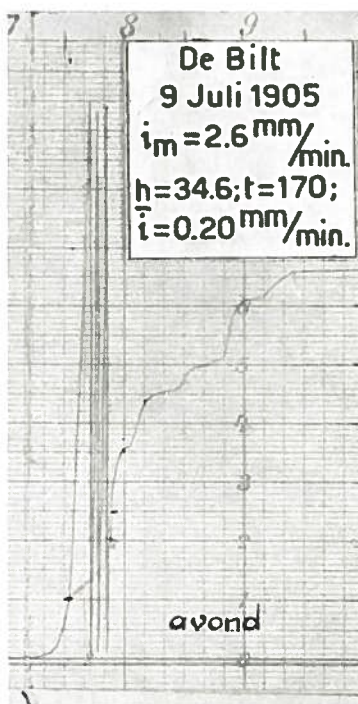
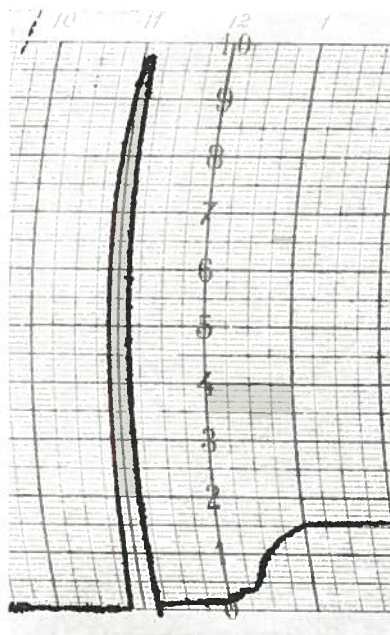


FIG. 21. Photograph of an example of a diagram of the pluviograph at De Bilt. The curve is very sharp. The rain was heavy from the beginning to the end. The time-axis is divided in intervals of 10 minutes; the amount of precipitation can be read in 0,1 mm. The time lines are straight for this pluviograph being of the float type. The total amount of precipitation is 34,6 mm; the total duration is 170 min; hence the mean intensity is nearly 0,20 mm/min. The maximum intensity is very high: 2,6 mm/min

FIG. 22 Voorbeeld van een pluviogram, aangevende de regen tussen 10h50 en 13h15 2 Juli 1930 te De Bilt. De registratie is niet bijzonder fraai: de curve is vrij dik en de pen valt niet volkomen evenwijdig aan de 11h-curve omhoog. In fig. 23 is deze regenkromme in een lineaire schaal nagetekend en geanalyseerd

FIG. 22. Another photograph of a diagram. Now the raincurve is not so sharp and the writing pen does not fall from 10 to 0 mm parallel to the „vertical” time lines which are now circle segments. The time axis is divided in intervals of 15 minutes; the amounts can be read in 0,1 mm. This raincurve is copied in a linear scale in fig. 23. De Bilt, 2-7-1930



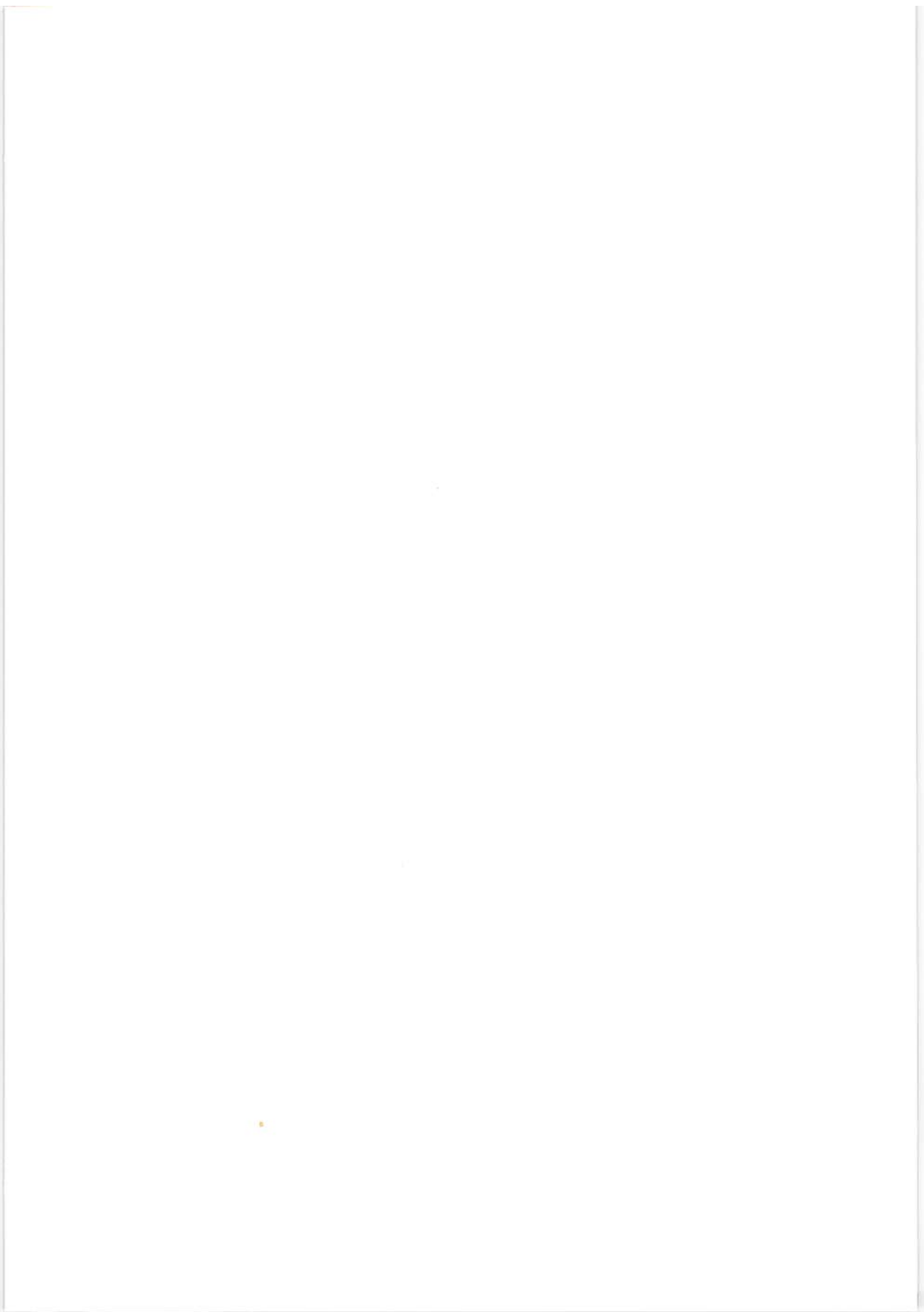


FIG. 23 Deze pluviocurve is in een lineaire schaal nagetekend van de ware in fig 22. De regen begon abrupt en wel direct zeer intens ($\pm 1,7$ mm/min) om 10h50 en eindigde zeer flauw om 13h05. Men bedenke wel, dat in het pluviogram de aflezing van de hoeveelheid tot op slechts 0,1 mm geschieden kon, aangezien de (niet fraaie) registratiecurve de dikte van 0,1 mm neerslag had. Door deze figuur met de ware te vergelijken ziet men onmiddellijk hoe meer overzichtelijk de regen wordt, wanneer het terugvallen van de schrijfpenn vermeden wordt. De regen bevat een zware regen (tevens stortregen), een zeer zware regen en een hevige regen, alle beginnende om 10h50. De eerste duurt 13 minuten (tot punt D), waarbij de gem. intensiteit $10,4/13=0,80$ mm/min is (bij 10,5 mm - tot punt G - namelijk $10,5/58=0,18$ mm/min, d.i. minder dan 0,20). De zeer zware regen duurt 9 minuten met een gemiddelde intensiteit $10,2:9=1,13$ mm/min (bij 10,3 mm namelijk $10,3:11=0,94$, d.i. minder dan 1,00). De hevige regen duurt van 10h50 tot het ogenblik (punt B), waarop de helling van de raaklijn aan de curve minder dan 0,20 mm/min wordt, dus 7 minuten, met 9,9 mm, zodat $i=1,4$ mm/min. N.B. de pluviocurve werd gecorrigeerd voor het tekort van de pluviograaf t.o.v. de gewone regenmeter (6%)

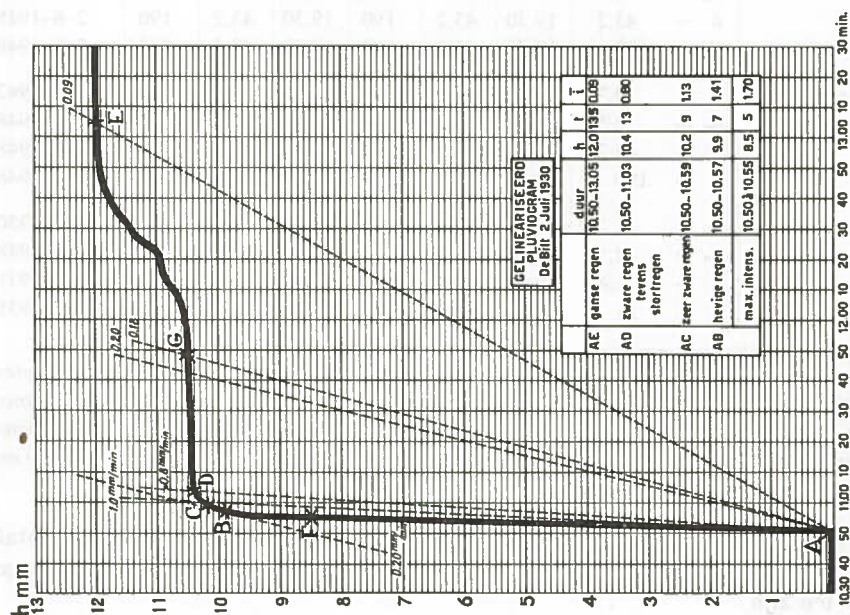


FIG. 23. The diagram of fig. 22 has been copied in a linear scale. Between the points A and E the whole rain
Between the points A and D the heavy rain and downpour
Between the points A and C the very heavy rain
Between the points A and B the very intense rain

De (in de tabel niet genoemde) maximale waarde van de momentane intensiteit in deze h.r. zal dus zeker meer dan 1,31 bedragen hebben. Toch was zij niet de maximale momentane intensiteit in alle hevige regens der jaren 1926-1948, want deze bedroeg 2,57 mm/min (10-5-1948).

TABEL 61

DE BILT 1926-1948

Herhaling der gegevens in tabel 60 tezamen met een opsomming van de $\bar{I}$ -, i_m -, h - en t -waarden van de hoofdregens, waarvan de bijzondere regens uit tabel 60 deel uitmaken

	Maxima	extreme deel			volledige regen			Datum
		t_0 tijdstip	h mm	t min	t_0 tijdstip	h mm	t min	
a.r.	$\bar{I} = 0,70$				13.15	3,5	5	14-7-1934
	$i_m = 2,57$				14.45	16,3	35	10-5-1948
	$h = 51,8$				6.15	51,8	580	7-5-1931
	$t = 1610$				22.00	29,2	1610	21-5-1928
h.r.	$\bar{I} = 1,31$	15.25	17,0	13	15.05	19,0	50	1-6-1927
	$i_m = 2,57$	14.45	15,9	22	14.45	16,3	35	10-5-1948
	$h = 27,8$	11.05	27,8	108	5.00	49,0	715	6-6-1943
	$t = 108$	11.05	27,8	108	5.00	49,0	715	6-6-1943
z.r.	$\bar{I} = 0,73$	1.20	5,1	7	1.15	49,3	875	11-7-1942
	$i_m = 2,57$	14.45	16,3	35	14.45	16,3	35	10-5-1948
	$h = 43,2$	19.30	43,2	190	19.30	43,2	190	2-8-1948
	$t = 190$	19.30	43,2	190	19.30	43,2	190	2-8-1948
s.r.	$\bar{I} = 0,73$	1.20	5,1	7	1.15	49,3	875	11-7-1942
	$i_m = 2,57$	14.45	16,3	35	14.45	16,3	35	10-6-1948
	$h = 43,2$	19.30	43,2	190	19.30	43,2	190	2-8-1948
	$t = 190$	19.30	43,2	190	19.30	43,2	190	2-8-1948
z.z.r.	$\bar{I} = 1,70$	10.50	8,5	5	10.30	12,0	135	2-7-1930
	$i_m = 2,57$	14.45	12,2	12	14.45	16,3	35	10-5-1948
	$h = 21,4$	19.55	21,4	21	19.30	27,2	50	14-6-1931
	$t = 21$	19.55	31,4	21	19.30	27,2	50	14-6-1931

Like table 60 but together with starting moment t_0 , rainfall h (mm) and duration t (minutes) of the parent rain which contains the particular rain mentioned in table 60. For instance: the very intense rain with the largest amount of rainfall produced 27,8 mm in 108 minutes. This h.r. began at 11.05 o'clock. The parent rain began at 5.00 o'clock, deposited 49,0 mm and lasted 715 minutes (6-6-1943)

Tabel 61 vermeldt het begintijdstip t_0 , de totale hoeveelheid en de totale duur zijn van die (ganse) regens, van welke de in tabel 60 bedoelde regens ge-deelten zijn.

Zo zal men willen weten van welke regen de zware regen, welke de grootste gemiddelde intensiteit (t.w. 0,73 mm/min) had, een deel was. Men leest achter z.r. en in de zesde kolom, dat deze ganse regen begon om 1h 15 (11-7-1942), totaal 875 minuten duurde en daarbij 49,3 mm regen bevatte. Vijf minuten na het begin, d.i. om 1h 20, zette de zware regen in, die totaal 5,1 mm in 7 minuten bracht. Er is vroeger al verteld, waardoor de gemiddelde intensiteiten der zware regens uiteenlopen. In bovengenoemd geval viel er 5,1 mm in 7 minuten. De helling van de pluviocurve verandert op het ogenblik 1h 27 zo snel en sterk, dat bij 5,2 mm (d.i. 0,1 mm meer) reeds een gemiddelde intensiteit beneden de 0,20 behoord zou hebben. Wij noteerden dus $h = 5,1$ en $t = 7$, derhalve $\bar{I} = 0,73$. Hoe markanter zulk een hellingsverandering (d.i. verandering in de ogenblikkelijke intensiteit in zeer korte tijd), hoe hoger de gemiddelde intensiteit van de zware regen, vooral wanneer vóór dit kritieke moment enige tijd achtereen de momentane intensiteit zeer hoog lag. Men ziet hier tevens, dat de zware regen een stortregen was, zowel volgens de Hartman-Braak-definitie als de in deze verhandeling aangehouden. Immers het deel van de pluviocurve gedurende hetwelk de gemiddelde intensiteit tenminste 0,20 bedroeg, duurde korter dan een uur en bevatte meer dan 4 mm.

Zo lezen wij verder, dat de regen op 10-5-1948, die totaal 16,3 mm in totaal 35 minuten leverde, een wel zeer bijzondere regen was. De maximale momentane intensiteit bedroeg 2,57 mm/min, niet meer overtroffen in het gehele tijdvak van 23 jaren ¹⁾. De regen was als *geheel* een zware en stortregen ²⁾. Voor de eerste 22 minuten was hij ook nog hevig, d.w.z. de regen zette al direct in met een momentane intensiteit van tenminste 0,20, hetgeen wij niet dikwijls zagen gebeuren; voor de eerste 12 minuten zelfs zeer zwaar. In dit zeer zware gedeelte kwam in 34 % van de duur van de gehele regen ongeveer 81 % van de totale hoeveelheid neer. De hevige regen bracht 98 % in 63 % van de totale duur. Deze percentages 81 en 98 liggen hoog. Dit is geen louter toeval. Een afzonderlijk onderzoek leerde, dat een z.r., h.r. en z.z.r. met een grotere I_m een groter deel (althans in het gemiddelde beschouwd), zowel wat de duur als de hoeveelheid betreft, van de ganse regen voor zijn rekening neemt.

4.7 Regens van (zeer) lange duur

4.7.0 Aangezien ons meermalen bleek, dat voor de langdurige, gewoonlijk niet zware regens, van verschillende zijden interesse bestaat, kwam het ons

¹⁾ Voor zover tot heden bekend, is de grootste intensiteit te De Bilt ongeveer 4,0 mm/min (of 667 l/sec.ha), zie in tabel 110. Zij werd geregistreerd op 24 Juni 1909

²⁾ Ook de regen op 9 Juli 1905 was als geheel zwaar. Zie het pluviogram in fig. 21. Men ziet hoe moeilijk het is zulk een registratie te analyseren

goed voor eveneens van deze bijzondere regens een statistiek op te nemen, tezamen met enige commentaar.

Wij zijn aldus tevens in de gelegenheid bekendheid te geven aan een jaren geleden door B r a a k uitgevoerd onderzoek. Wij moeten er echter direct de nadruk op leggen, dat in onze statistiek een langdurige regen anders gedefinieerd is als in die van B r a a k. Wij zullen daarom korthedshalve van de „ L_L -regens” en „ L_B -regens” spreken.

Bij beide statistieken is gehandeld enigszins in overeenstemming met de door W ü s s o w (1922) opgestelde en door R e i n h o l d (1937) overgenomen definitie van *Dauerregen* [14]. In de „Einheitliche Richtlinien zur Auswertung von Schreibregenscheraufzeichnungen” (zie Gesundheits-Ingenieur 60 22 1937) deelt R e i n h o l d mede, dat volgens de „Anweisung zur Auswertung von Schreibregenscheraufzeichnungen (AAR 1936)” onder een Dauerregen zal worden verstaan een regen, welke tenminste 6 uren zonder onderbrekingen of zonder noemenswaardige onderbrekingen voortduurt. Een Dauerregen heet „stark”, wanneer er tenminste 1 mm per uur gevallen is (wij willen deze regens gemakshalve met D en D_S aanduiden). Volgens het Handbuch des Klimabeobachtungsdienstes, Kapittel C, Absatz 8, wordt thans (1953) een Dauerregen gedefinieerd als een regen van tenminste 6 uren bij een intensiteit van tenminste 0,5 mm per uur (D^* -regens), waarbij een indeling in „stark” en „nicht-stark” niet meer gemaakt wordt.

4.7.1 Het onderzoek van Braak

B r a a k heeft eens een studie gemaakt van reeksen van uurvakken (kalender-uren), waarin tezamen zoveel neerslag viel, dat het gemiddelde per uurvak 1 of meer mm bedraagt. Dit kan vrij gemakkelijk gebeuren met behulp van de in de Meteorologische Jaarboeken vermelde uurvak-hoeveelheden neerslag. Het onderzoek heeft betrekking op de 20 jaren 1904–1923, De Bilt. Ofschoon de pluviogrammen in deze jaren dikwijls voor een nauwkeurige analyse ongeschikt waren, bleek het vrij goed mogelijk te zijn de in de afzonderlijke uurvakken gevallen hoeveelheden af te lezen.

Als voorbeeld van zulk een L_B -regen noemen wij die van 25 Juni 1907, toen tussen 5 en 10 uur 's morgens 7,1 mm viel, over de 5 uurvakken verdeeld a.v.: 3,9, 1,2, 0,0, 0,0 en 2,0 mm. Het uur(vak)gemiddelde is dus $7,1 : 5 = 1,42$ mm. Men beschouwt (louter volgens afspraak) de twee uurvakken met 3,9 en 1,2 mm tezamen niet als een L_B -regen, maar voegt zovele uurvakken toe, dat er toch nog een uurvakgemiddelde van tenminste 1 mm resulteert. Wanneer de hoeveelheden 0,1, 0,0 en 0,0 mm der uurvakken 2 tot 3, 3 tot 4 en 4 tot 5 worden toegevoegd, komt er 7,2 mm over 8 uurvakken, waardoor het uurvakgemiddelde minder dan 1,0 mm wordt. De L_B -regen duurt dus 5 uurvakken (slordiger gezegd: 5 uren). In dit voorbeeld is reeds aan de getallen 3,9, 1,2, 0,0, 0,0 en 2,0 mm zelf te zien, dat het hier zeker geen ononderbroken regen

(L_L -regen) betreft. De L_B -regen vertoont dus veel overeenkomst met de D_S -regen. Wij vonden niet uiteengezet welke regenpauzes bij een wel-onderbroken Dauerregen nog gepermitteerd zijn). In tabel 62 staan de aantallen L_B -regens (totaal over 1904–1923) van een duur n „uren” en wel per seizoen.

TABEL 62

DE BILT 1904–1923

Aantallen (langdurige) regens volgens de definitie van B r a a k

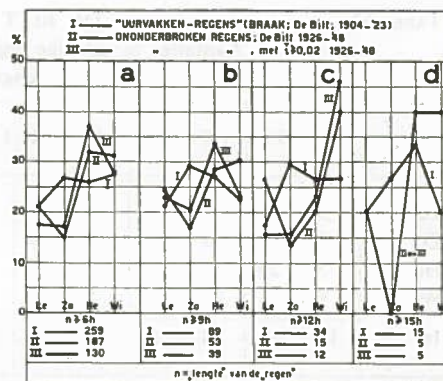
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	som
Le	153	138	84	49	26	16	11	6	9	2	2	1	2		1			1	1							502
Zo	228	165	102	44	37	17	15	11	6	4	6	5	1			1					1	1			1	645
He	180	135	101	66	34	25	9	9	11	2	2	1	2	1		1	2		2							583
Wi	145	107	61	47	47	22	18	11	7	2	2	4	2			2				1						571
Jr	706	578	394	220	144	80	53	37	33	10	12	11	7	1	1	4	2	1	3	1	1	1			1	2301

Total numbers of long rains according to the definition of B r a a k; n = duration in clock hours

Wij merken op dat, zoals ook verwacht mocht worden, in elk seizoen de L_B -regens van 1 uur lengte het meest frequent zijn. Van de vier jaargetijden is de zomer het rijkst aan L_B -regens. Verder komt de jaarlijkse gang meer bij de lange dan bij de korte L_B -regens naar voren. In figuur 24 is dit zeer

FIG. 24. Percentage numbers of

- I. Rains with durations measured in clock hours¹⁾. Such a rain is defined as a succession of calendar hours, with such a length, that the mean value per clock hour equals or exceeds 1 mm
- II. Continuous rains. These rains may be of any duration, measured in hours and minutes
- III. Continuous rains with $\bar{i} > 0,02 \text{ mm/min}$.
 n = duration of the rain in hours and is, in case I, always a whole number



duidelijk te zien. In deze figuren hebben wij met elkaar vergeleken de L_B -regens van 6 uren en meer, die van 9 uren en meer, die van 12 uren en meer en die van 15 uren en meer. Zo waren er in de eerste groep 52 stuks in de lente, 69 stuks in de zomer, 67 in de herfst en 71 in de winter, d.i. resp. 20,1, 26,6, 25,9

¹⁾ A clock hour is the interval between the moments $j.00$ and $(j+1).00$ o'clock, with $j = 0, 1, 2, \dots, 23$

en 27,4 % van 259. Aldus ontstonden de krommen I in de figuren a, b c en d, alle rondom 25 % liggende. De langste L_B -regen duurde 25 uurvakken.

De hoeveelheden in de achtereenvolgende uurvakken waren 0,6, 0,6, 0,9, 0,5, 1,4, 1,7, 1,1, 2,8, 4,5, 2,0, 1,1, 0,7, 0,7, 0,5, 0,4, 0,1, 2,3, 3,2, 2,9, 1,5, 1,3, 1,8, 1,2, 2,1 en 0,5 mm, tussen 10 uur van 7 en 11 uur van 8 Juni 1905, tezamen 36,4 mm en dus met 1,46 mm per uurvak. De eigenlijke ononderbroken regen duurde 1470 minuten. De gemiddelde intensiteit was derhalve $36,4 : 1470 = 0,025$ mm/min (zo men wil: 1,49 mm/uur).

Tenslotte zij nog vermeld de gemiddelde lengte van deze „langdurige” L_B -regens. Voor de lente komt er $(1 \times 153 + 2 \times 138 + 3 \times 84 + \dots) : 502 = 2,9$ uurvakken; voor de zomer: 2,8, herfst 3,0 en winter 3,1 uurvakken. Voor het ganze jaar: 3,0 uurvakken. In de winter zijn de L_B -regens het langst; 's zomers het kortst. Het verschil is ruim een kwartier op een gemiddelde lengte van bijna 3 „uren”. Wanneer wij alleen de regens van 6 uren en langer beschouwen, worden de gemiddelde lengten resp. 8,3, 8,9, 8,2 en 7,8 (jaar : 8,3) „uren”.

4.7.2 Statistiek van de „langdurige” regens (d.i. ≥ 6 uren); 1926–1948

Ons eigen onderzoek heeft betrekking op de volledige, d.i. *ononderbroken*, regens. Wij hebben eerst alle regens van 6 uren en langer afgezonderd, nog onverschillig de gemiddelde intensiteit. Het waren er 186 stuks in totaal, verdeeld over de seizoenen a.v. Le: 39, Zo: 28, He: 60 en Wi: 59 stuks.

Tabel 63 geeft een indeling naar duurintervallen van 1 uur te zien.

TABEL 63

DE BILT 1926–1948
Aantallen langdurige regens volgens onze definitie
 n = lengte in uren

n	6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	langste in minuten	Som
Le	3	11	6	6	4	2	4	1	0	1	0	1610	39
Zo	1	14	3	5	4	0	2	1	1	1	0		28
He	5	20	13	7	2	7	2	1	1	0	1	1070	60
Wi	6	21	12	4	5	2	2	1	2	2	1	1415	59
Jr	15	62	34	22	15	11	10	4	4	4	2	3	186

Total numbers of long rains according to our definition; n = duration in (normal) hours

Zoals reeds gebleken was bij het onderzoek van de gemiddelde duur van regens van alle duren, komen de langdurige regens meer in de herfst en winter voor dan in de lente en zomer (een verhouding van ongeveer 2:1) en in de herfst ongeveer even dikwijls als in de winter.

Van de rond 8400 regens van alle duren in de 23 onderzochte jaren zijn er 186 stuks van 6 uren of langer. Langdurige regens hebben dus een frequentie

van 8 per jaar; anders gezegd: van elke 50 regens is er gemiddeld 1 tenminste 6 uren lang. Met behulp van deze tabel zijn voor elk seizoen de procentuele frequenties berekend van de regens van 6 uren en meer, van 9 uren en meer, van 12 uren en meer en van 15 uren en meer. Zie de krommen II in de figuren a, b, c en d.

Het valt onmiddellijk op, dat de jaarlijkse gang tegengesteld is aan die der L_B -regens. Hoe langer de L_L -regen (let wel ononderbroken), hoe meer hij zich op de herfst en winter concentreert.

Omdat de kromme II betrekking heeft op L_L -regens van onverschillig welke gemiddelde intensiteit en de kromme I op L_B -regens van tenminste gemiddeld 1 mm per uur(vak), doen wij beter ook de aantallen L_L -regens met een $\bar{i} \geq 0,0167$ mm/min te beschouwen. Helaas doet zich de moeilijkheid voor, dat het dikwijls geen zin had de $\bar{i}$ verder dan tot in honderdsten van mm/min te berekenen. Nu representeert $\bar{i} = 0,02$ alle gevallen 0,015 tot en met 0,025 mm/min. Hoewel 0,015 kleiner is dan 0,017 hebben wij gemeend te mogen aannemen dat de aantallen L_L -regens met $\bar{i} \geq 0,02$ en die der L_B -regens vrijwel gelijk zijn. Van de 187 L_L -regens hadden 130 stuks een $\bar{i} \geq 0,02$ mm/min (zie tabel 64).

TABEL 64 DE BILT 1926-1948
Langdurige regens (≥ 6 uren) met $\bar{i} \geq 0,02$ mm/min; n = lengte in uren

n	Aantallen				In %			
	≥ 6	≥ 9	≥ 12	≥ 15	≥ 6	≥ 9	≥ 12	≥ 15
Le	23	9	2	1	17,7	23,0	15,4	20,0
Zo	22	8	2		16,9	20,5	15,4	
He	48	13	3	2	37,0	33,5	23,1	40,0
Wi	37	9	6	2	28,4	23,0	46,1	40,0
Jr	39	13	5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Total numbers of long rains of an intensity of at least 0,02 mm/min; n = duration in hours

De in tabel 64 berekende percentages zijn in fig. 24 als krommen III in beeld gebracht. Het valt op, dat de jaarlijkse gang der L_L -regens en met de duur en met de gemiddelde intensiteit markanter wordt.

Het is verder zeer duidelijk, dat er veel meer L_B -regens zijn dan L_L -regens van 6 uren en meer en met tenminste 0,02 mm/min. Dit is te begrijpen, aangezien in het geval der L_B -regens korte regenpauzen in de regens meegenomen worden, zodat er vele gevallen zijn, waarbij een regen wel een L_B - en géén L_L -regen is. In tabel 65 vindt men de aantallen, herleid (van 20 resp. 23 jaren) op 100 jaren.

TABEL 65 Aantallen L_B - en L_L regens in 100 jaren
Duur ≥ 6 uren; gem. intensiteit $\geq 0,02$ mm/min (of $\geq$ ca 1 mm/uur)

	$n \geq 6$		≥ 9		≥ 12		≥ 15 uren	
	L_B	L_L	L_B^*	L_L	L_B	L_L	L_B	L_L
Le	260	100	95	39	30	9	15	4
Zo	345	96	130	35	50	9	20	
He	335	209	120	56	45	13	25	9
Wi	355	161	100	39	45	26	15	9
Jr	1495	566	445	169	170	57	75	22
Factor	2,6		2,6		2,9		3,4	

Total numbers of L_B and of L_L rains in 100 years; mean intensity $\geq 0,02$ mm/min (or nearly 1 mm/hour); duration n hours

Wij gaan nu op nog enige details van deze L_L -regens in.

1. Van de 186 langdurige regens (6 uren en meer) en uiteenlopende intensiteiten waren er slechts 22 stuks zwaar (d.w.z. bezaten een zwaar deel); 3 in de lente; 9 in de zomer; 7 in de herfst en 3 in de winter. Verder bezaten er 20 stuks een hevig deel (3; 9; 7; 1). Zeer zware regens, deel uitmakend van een langdurige regen, kwamen nimmer voor; hen moeten wij uitsluitend in korte regens zoeken.

2. a. De langste langdurige regen duurde 1610 minuten; 21 April 1928; $h = 29,2$ mm; $t = 1610$ minuten; $\bar{i} = 0,02$ mm/min; $i_m = 0,09$ mm/min.
- b. De langdurige regen met de grootste hoeveelheid bracht 51,8 mm; 7 Mei 1931; $h = 51,8$ mm; $t = 580$ minuten; $\bar{i} = 0,09$; $i_m = 0,32$.
- c. De meest intense langdurige regen had een gemiddelde intensiteit van 0,09 mm/min; zie weer 7 Mei 1931.
- d. De langdurige regen met de grootste maximale intensiteit bezat een $i_m = 0,73$ mm/min; 11 Juli 1942; $h = 49,3$; $t = 875$; $\bar{i} = 0,06$; $i_m = 0,73$.

4.7.3 Wij hebben verder nagegaan hoe de gemiddelde duur van een langdurige regen met de intensiteit (of de gemiddelde intensiteit met de duur) samenhangt.

In het onderzoek van alle regens (wij bedoelen van 6 uren en langer) was reeds gebleken, dat met langere duur de gemiddelde intensiteit, gemiddeld genomen, langzaam daalt.

De gemiddelde duren, in tabel 66 genoemd, hebben betrekking op L_L -regens van intensiteiten van 0,01 mm/min en meer. Willen wij vergelijken met die der

TABEL 66 Ononderbroken regens van ≥ 6 uren, voor verschillende waarden van de gem. intensiteit $\bar{i}$ (1926–1948)

	$\bar{i} =$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	min/min
Le	Aantal	17	7	8	6	1				1	
	Gem. duur	8,3	10,4	8,5	8,3	6,0				9,7	uren
Zo	Aantal	76	9	6	2	1	1	3			
	Gem. duur	8,3	9,1	7,1	8,8	8,1	14,6	8,4			uren
He	Aantal	12	22	16	8	2					
	Gem. duur	7,3	8,3	8,1	8,5	7,2					uren
Wi	Aantal	22	25	8	3	1					
	Gem. duur	8,0	10,0	6,6	6,5	6,8					uren
Jr	Aantal	57	63	38	19	5	1	3		1	
	Gem. duur	8,0	9,3	7,7	8,2	7,5	14,6	8,4		9,7	uren

Total numbers of uninterrupted rains lasting 6 and more hours; $\bar{i}$ = mean intensity in mm/min

L_B -regens, dan dienen wij de L_L -regens met $\bar{i} = 0,01$ buiten beschouwing te laten. Zie hiervoor tabel 67.

TABEL 67 Gemiddelde lengte van langdurige regens (≥ 6 uren)

tijdvak		Le	Zo	He	Wi	Jr	
20 j.	L_B -regens (onderzoek Braak)	8,3	8,9	8,2	7,8	8,3	uren
		35	69	67	71	242	aantal
23 j.	L_L -regens van alle intensiteiten	8,9	8,5	8,0	8,5	8,5	uren
		39	28	60	59	186	aantal
	L_L -regens met $\bar{i} \geq 0,02$ mm/min	9,1	8,6	8,3	8,6	8,6	uren
		23	22	48	37	130	aantal

In the first row: mean duration (in hours) of a long rain; in the second row the total number. In basic period of 20 years for L_B rains; in basic period of 23 years for L_L rains of all intensities and L_L rains of intensity 0,02 mm/min and more

Op het eerste gezicht moet het verbazen, dat volgens tabel 67 in elk der seizoenen, behalve in de zomer, de gemiddelde lengte van een L_B -regen kleiner is (vooral in de winter) dan die van een L_L -regen. Wij zouden immers het tegendeel verwachten, bedenkende, dat in een L_B -regen vele regenpauzen in de regen wordt medegenomen. Wij moeten echter zeer voorzichtig redeneren. Een en ander wordt duidelijker als wij het meer mathematisch formuleren.

Zij $f(t)dt$ de kans op een ononderbroken regen van een lengte tussen t en $t + dt$, d.w.z. onder in totaal N regens bevinden zich gemiddeld genomen $N \cdot f \cdot dt$ van zulke regens; $\int_0^{\infty} f(t)dt = 1$.

Wanneer alle regens van $t = 360$ minuten en meer beschouwd worden, is hun gemiddelde duur $\bar{t}_L = \left[\int_{360}^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt \right] : \left[\int_{360}^{\infty} f(t)dt \right]$. In werkelijkheid is niet geïntegreerd, maar gesommeerd. De gemiddelde lengten, genoemd in rij 1 van tabel 67, zijn eigenlijk verkregen via het procédé

$$\left[6 N \int_{331}^{390} g(t)dt + 7 N \int_{391}^{450} g(t)dt + 8 N \int_{451}^{510} g(t)dt + \dots \right] : N \int_{331}^{\infty} g(t)dt.$$

Wij hebben hier opzettelijk een nieuwe functie $g(t)$ i.p.v. $f(t)$ gesubstitueerd, omdat de kansfunctie, behorende bij regens, waarin wel korte onderbrekingen toegestaan zijn, een andere zal zijn. Er zijn meer L_B - dan L_L -regens. Wat het relatieve verschil met toenemende t precies doet, valt moeilijk te zeggen, bij zulk een klein materiaal als waarover wij beschikken. In ieder geval is duidelijk dat $\bar{t}_L$ van $\bar{t}_B$ verschillen zal. De $f(t)$ in $\bar{t}_L$ door $g(t) \neq f(t)$ vervangende, verandert zowel de noemer als de teller. Het is moeilijk te voorspellen hoe dan $\bar{t}_L$ verandert; wij zouden de $f(t)$ en $g(t)$ precies moeten kennen. Al met al blijft dus voorzichtigheid bij het vergelijken der L_L - en L_B -regens ten aanzien van hun gemiddelde lengte geboden.

TABEL 68 Aantal (A) L_L -regens in 23 jaren volgens duur t in minuten

t		360-420	421-480	481-540	541-600	601-660	661-720	721-780	781-840	841-900	901-960	minuten
Le	A	15	6	6	3	2	4	1		1		
	$\bar{I}$	0,019	0,023	0,222	0,033	0,030	0,020	0,010		0,010		mm/min
Zo	A	10	3	5	5		2	1	1	1		
	$\bar{I}$	0,026	0,037	0,028	0,026		0,045	0,020	0,010	0,060		mm/min
He	A	25	13	7	2	7	2	1	1		1	
	$\bar{I}$	0,022	0,029	0,027	0,020	0,023	0,025	0,040	0,010		0,030	mm/min
Wi	A	29	10	4	5	2	2	1	2	2	1	
	$\bar{I}$	0,022	0,016	0,018	0,014	0,015	0,015	0,020	0,020	0,015	0,020	mm/min
Jr	A	79	32	22	15	11	10	4	4	4	2	
	$\bar{I}$	0,022	0,025	0,029	0,023	0,023	0,025	0,022	0,015	0,025	0,025	mm/min

Total number (A) of L_L rains of t minutes, $\bar{I}$ mm/min being their mean intensity

4.7.4 Wij hebben de langdurige regens ook naar de uren ingedeeld en in elk der duurintervallen de gemiddelde $\bar{i}$ uitgerekend. Zie tabel 68.

Wij hebben zowel de getallen van tabel 66 als die van tabel 68 in beeld gebracht (fig. 25) en vervolgens, op het oog, gladde krommen getrokken. Kromme a geeft de gemiddelde lengte van een langdurige regen bij gegeven $\bar{i}$ -waarde. Voorbeeld: bij een $\bar{i}$ van 0,40 mm/min (d.i. 0,395 à 0,405 mm/min) heeft de langdurige regen, gemiddeld, een lengte van 8,8 uren. Kromme b geeft de gemiddelde waarde van de $\bar{i}$ bij een langdurige regen van gegeven duur t . Voorbeeld: bij langdurige regens van 12 uren (eigenlijk $12 - \frac{1}{2}$ tot $12 + \frac{1}{2}$ uren) is de $\bar{i}$, gemiddeld, 0,02 mm/min. Ook bij regens van 7,6 uren. Men lette op de toppen in beide krommen.

Overigens behoeft het weinig betoog, dat deze krommen de werkelijkheid zeer grof benaderen. Ons materiaal (gebaseerd op slechts 23 jaren, t.w. 186 langdurige regens) is te klein om tot betrouwbare conclusies te kunnen leiden. Gemiddelden, die berusten op aantallen van 10 of zelfs minder, dienen steeds met de grootste voorzichtigheid beoordeeld te worden.

4.7.5 Tenslotte zij nog een en ander verteld over de dagelijkse gang van de langdurige regens; in tabel 69 is aangegeven hoeveel langdurige regens (≥ 6

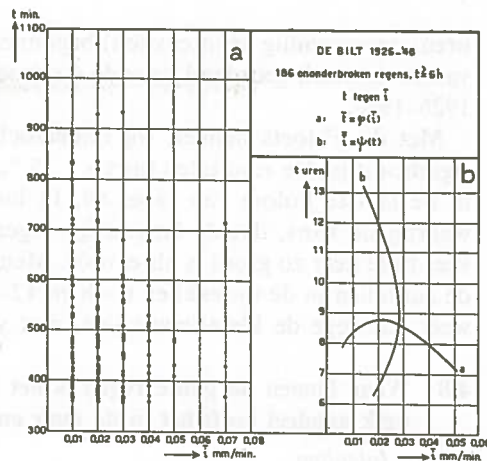


FIG. 25. The mean intensities of the continuous rains of at least 6 hours were grouped in intervals of 0,01 mm/min. For each value the various durations t were drawn as points in fig. a. Then two continuous curves a and b (fig. b) were drawn; a represents $\bar{i}$ as a function of i ; b represents $\bar{i}$ as a function of t . There were 186 such rains in 23 years

TABEL 69 Aantallen langdurige regens, die begonnen in elk der navolgende 4 uren-tijdvakken

tijdvak	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24	som	dagelijkse gang
Le	8	4	6	8	8	6	40	niet significant
Zo	6	5	4	3	6	3	27	even significant
He	3	9	8	16	12	13	61	sterk significant
Wi	8	12	14	9	7	8	58	significant
Jr	25	30	32	36	33	31	186	niet significant

Total numbers of long rains per 4-hours interval of the day. The diurnal variation is significant in the autumn and the winter

uren; onverschillig de intensiteit) begonnen in elk der zes 4-uurlijkse tijdvakken van het etmaal, geordend naar de 4 seizoenen en getotaliseerd over de 23 jaren 1926–1948.

Met de χ^2 -toets hebben wij onderzocht of de dagelijkse gang al dan niet significant is. De resultaten (met $\varepsilon = 5\%$ als betrouwbaarheidsdrempel) staan in de laatste kolom van tabel 69. In het bijzonder wijzen wij op de herfst, waarbij de kans, dat de langdurige regen na 12 uur 's middags begint ongeveer twee keer zo groot is als ervóór. Men lette ook op het grote verschil tussen de aantallen in de tijdvakken 0–4h en 12–16h. Overigens moeten de resultaten, weer vanwege de kleine aantallen, met voorbehoud beschouwd worden.

4.8 Waar binnen de ganse regen is het zware of zeer zware deel gelegen en welk aandeel heeft het in de duur en de hoeveelheid van de gehele regen?

4.8.0 Inleiding

In kringen van riooltechnici, drainage-ingenieurs enz. huldigt men veelal de mening, menen wij, dat de „stortregen” dikwijls aan het einde van de „regenbui” valt. Verschillende auteurs vermelden dit als ware dit een vaststaand feit; bewijzen hebben wij niet gezien. Zo lezen wij in het zeer leerrijke werk „Rio-leringen”, deel 1, van Ir. J. v. d. A k k e r (1952) op blz. 293: „Als de grootste intensiteit bij of kort na het begin van de regen valt, is het riolenet nog vrijwel leeg. Maar valt er eerst een (lange) voorregen en komt dan de zware bui, dan zijn de riolen al gedeeltelijk (of geheel) gevuld en kunnen zij de zware bui met moeite nog opnemen”. Ook wordt beweerd: „De grootste intensiteitswaarden vallen vrijwel zeker bij het begin van de regenbui naarmate de regen sterker is”¹⁾.

4.8.1 De onderdelen van een regen

In bijgaand schetsje (fig. 26) geven wij een regen met een zwaar deel gemakshalve door een horizontale streep aan. M is het midden (naar de tijd gemeten) van de z.r., die door een „voorregen” van een duur V_1 voorafgegaan en door een „naregen” van een duur N_1 gevolgd wordt. Zij verder h en d resp. de hoeveelheid en de duur van de gehele (of hoofd)regen; de index 1 slaat op de z.r., 2 op de z.z.r. (Men vereenzelvige M niet met het moment, waarop de momentane intensiteit maximaal was).

Wij interesseren ons voor de frequentieverdelingen en de gemiddelde waarden van V_1 , V_1/d , d_1/d , h_1/h en $q = V_1/d + \frac{1}{2} d_1/d$ (idem voor z.z.r.)

Ter toelichting:

V = tijd, verlopen tussen het begin van de gehele regen en dat van het zware (resp. zeer zware) deel; d.w.z. de „voorregenduur”, waarvoor $0 \leq V < d$.

¹⁾ Een verwante mening is ook Ir. C. K o o y toegedaan in een artikel „Vaststelling van de af te voeren hoeveelheden regenwater in een te rioleren gebied met behulp van een vereenvoudigde grafische sommatiemethode”, zie in P.W. 12 40 1943

V/d = een quotiënt, maatgevend voor de „ligging” van de z.r. (resp. z.z.r.) binnen de hoofddregen. Bij $V/d > \frac{1}{2}$ is het zeker, dat de z.r. (resp. z.z.r.) „achteraan” ligt ($0 \leq V/d < 1$).

d_1/d = fractie van de ganse duur, voor rekening van de z.r. ($0 < d_1/d \leq 1$).

h_1/h = fractie van de ganse hoeveelheid, voor rekening van de z.r. ($0 < h_1/h \leq 1$).

q = getal, dat de ligging van M binnen de gehele duur markeert ($0 < q < 1$).

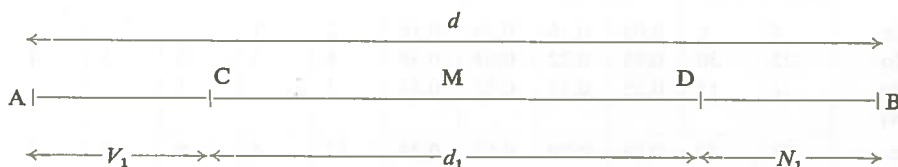


FIG. 26. The duration of a rain, represented schematically. d is the total duration; h is the amount of precipitation. The heavy rain lies between C and D, lasts d_1 and furnishes h_1 . The centre M is not identical with the moment in which the maximum intensity occurs. The „front rain” has a duration V_1 ; the „final rain” lasts: N_1 . The quantities d , d_1 , V , d_1/d , h_1/h and $q = V_1/d + \frac{1}{2} d_1/d$ have been studied

4.8.2 Overzicht der resultaten

In de volgende tabellen geven wij de gemiddelde waarden van de in de vorige paragraaf genoemde grootheden en een eerste indruk van de frequentieverdeling van de q .

TABEL 70

DE BILT 1926-1948

Zware regens

Overzicht der aantallen (A) z.r.; van de gemiddelde waarde van de voorregenduur V_1 ; van $V_1 : d$; van $d_1 : d$; van $h_1 : h$ en van $\bar{q}$, als $q = V_1/d + \frac{1}{2} d_1/d$

	Aantal A	Gem. V_1 min.	Gem. V_1/d	Gem. d_1/d	Gem. h_1/h	Gem. $\bar{q}$	Aantal q 's				
							0-0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-0,80	0,81-1,00
Le	97	21	0,17	0,35	0,67	0,35	28	35	24	4	6
Zo	420	19	0,16	0,46	0,73	0,39	106	95	161	44	14
He	231	32	0,24	0,32	0,61	0,40	67	54	66	30	14
Wi	24	67	0,31	0,21	0,50	0,42	8	7	3	4	2
Jr	772	25	0,19	0,39	0,68	0,39	209	191	254	82	326

Heavy rains. Total number A , mean value of V_1 , of V_1/d , of d_1/d , of h_1/h and of q . See text

TABEL 71

DE BILT 1926-1948

Zeer zware regens. Totale aantallen A ; gemiddelde waarde van V_2 , van V_2/d , van d_2/d , van h_2/d en van q . Zie verder text

	Aantal A	Gem. V_2 min.	Gem. V_2/d	Gem. d_2/h	Gem. h_2/h	Gem. q	Aantal q 's				
							0-0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-0,80	0,81-1,00
Le	4	6	0,08	0,16	0,59	0,16	2	1			
Zo	22	30	0,25	0,22	0,63	0,38	8	5	5	3	1
He	2	15	0,25	0,12	0,52	0,33	1		1		
Wi											
Jr	28	25	0,23	0,20	0,62	0,34	12	6	6	3	1

Very heavy rains. Total number A , mean value of V_2 , of V_2/d , of d_2/d , of h_2/h and of q . See text

TABEL 72

DE BILT 1926-1948

Frequentieverdeling (procentueel) van de waarden van V voor z.r. en z.z.r.;
 V in 10 minuten-intervallen

V min.	Zware regens (z.r.)					Zeer zware regens (z.z.r.)				
	Le	Zo	He	Wi	Jr	Le	Zo	He	Wi	Jr
0	25	57	43	25	52	50	14	50		21
1-10	21	15	18	21	17	25	23			21
11-20	21	9	7	21	8	25	32			29
21-30	4	6	6	4	6		18	50		18
31-40	0	1	3	0	2		9			7
41-50	4	2	3	4	2		5			4
51-60	8	2	3	8	2					
≥ 61	17	8	17	17	11					
Som	100	100	100	100	100	100	100	100		100
Aantal	97	420	231	24	772	4	22	2		28

Frequency distribution (in %) of the values of V for heavy rains (z.r.) and very heavy rains (z.z.r.); V in 10-minutes intervals

Wij hebben voorts, slechts voor de zware regens (omdat deze in een voldoende groot aantal in de bestudeerde waarnemingenreeks aanwezig zijn), onderzocht of er zeker verband bestaat tussen de ligging van het midden M van de zware regen (de waarde van q) en de gemiddelde intensiteit $\bar{i} = h : t$

van de ganse regen (waarvan de zware een deel is), zulks in verband met de in de inleiding genoemde bewering, dat de grootste intensiteitswaarden vrijwel zeker bij het begin van de regen vallen, vooral naarmate de regen sterker is. Het is waar, dat punt M niet identiek met het moment is, waarop i_m valt. Helaas hebben wij de tijdstippen van i_m niet in onze grondtabellen staan. In een volkomen andere analyse der pluviogrammen, die zal plaatsvinden als de pluviogrammen op ponskaarten overgenomen zijn, kunnen wij het vraagstuk wel exact aanpakken. Hier moeten wij voorlopig volstaan met een onderzoek naar het verband tussen q en $\bar{i}$. Zie tabel 73.

De tabel eist enige toelichting, vooral voor het feit, dat in elk der seizoenen, zodra de ganse regen een gemiddelde intensiteit boven 0,20 mm/min heeft, de $\bar{q} = 0,50$. Dit is duidelijk, als wij maar bedenken, dat zulk een regen in zijn geheel zwaar is. Zie het schetsje, waarin nu $V_1 = 0$ en $d_1 = d$ en dus $q = 0,50$. Dit konden wij vooruit weten, maar tabel 4 leert meer, n.l. dat de $\bar{q}$ geleidelijk toeneemt van 0,36 tot 0,50 met toenemende $\bar{i}$. Met andere woorden: met toenemende gemiddelde intensiteit van de ganse regen schuift, gemiddeld genomen, het midden van het zware deel geleidelijk op vanuit een punt, gelegen op ongeveer één derde van de gehele regenduur, naar het midden van de gehele regen.

Een indeling van de q 's naar de i_m -waarde van de gehele regen geeft ongeveer hetzelfde te zien, hetgeen ons niet behoeft te verbazen, aangezien de gemiddelde intensiteit van een regen meestal toeneemt als de maximale intensiteit dat doet.

4.8.3 Enig commentaar bij de tabellen 70, 71 en 72

1. Zeer dikwijls begint de z.r. al bij de aanvang van de gehele regen. Het meest markant is dit in de Zo, het minst in de Wi (57 tegen 25 %). Het aantal keren, dat de z.r. pas een uur of nog later na de aanvang van de hoofdregen inzet, is niet zo klein als wel eens gedacht wordt (rond 11 %).

2. Men lette op het grote verschil tussen de gemiddelde voorregenduur $\bar{V}$ bij zomerse en winterse zware regens (19 tegen 67 minuten). In de zomer is de z.r. dus al meestal snel intens. 's Winters hebben de overigens weinig frequente z.r. een lange aanloop.

3. Het onder 1 gezegde ligt voor z.z.r. anders. 's Zomers beginnen de meeste z.z.r. pas 11 à 20 minuten na de inzet van de hoofdregen. In de lente en de herfst is $\bar{V}$ in de helft der gevallen gelijk nul.

4. Hiermee in overeenstemming is natuurlijk het grote verschil tussen $\bar{V}$ bij z.z.r. in de zomer en die in de lente (30 en 6 minuten). Toch moeten wij goed bedenken, dat voor een betrouwbaar resultaat ons materiaal wat klein is (28 z.z.r. tegen 772 z.r. in 23 jaren). Wij wachten dus op meer gegevens.

5. Zowel voor de z.r. als z.z.r., in elk der seizoenen, ligt het midden van de deelregen vóór het midden van de hoofdwegen.

TABEL 73

DE BILT 1926-1948

Zware regens

Hoe de ligging van het midden van de zware regen samenhangt met de intensiteit van de ganse regen

i mm/min	0,01-0,05	0,06-0,10	0,11-0,15	0,16-0,20	0,21-0,25	0,26-0,30	0,31-0,35	0,36-0,40	0,41-0,45	0,46-0,50	0,51-0,55	0,56-0,60	0,61-0,65	0,66-0,70	som
Le $\bar{q}$ aantal	0,35 21	0,32 37	0,30 18	0,39 14	0,50 2	0,50 2	0,50 2	0,50		0,50 1					97
Zo $\bar{q}$ aantal	0,34 78	0,34 125	0,35 76	0,46 54	0,50 36	0,50 21	0,50 9	0,49 12	0,50 2	0,50 3	0,50 3			0,50 1	420
He $\bar{q}$ aantal	0,38 63	0,38 94	0,41 37	0,45 14	0,50 6	0,50 10	0,50 2	0,50 2	0,50 1		0,50	1			231
Wi $\bar{q}$ aantal	0,42 12	0,37 5	0,36 5	0,75 1	0,50 1										
Jr $\bar{q}$ aantal	0,36 174	0,35 261	0,36 136	0,45 83	0,50 45	0,50 33	0,50 13	0,49 14	0,50 3	0,50 5	0,50 3	0,50 1		0,50 1	772

Heavy rains. This table shows the relation between the values of $\bar{q}$ (first row for each season) and the value of the mean intensity of the whole rain (in intervals of 0,05 mm/min). For conclusion see text

6. Men lette vooral op de waarden van h_1/h , d_1/d en h_2/h , d_2/d . De duren van z.r. en z.z.r. liggen doorgaans beneden de helft van die van de ganse regen, doch de hoeveelheden beslaan 60 à 70 %.

Het komt ons voor, dat bovengenoemde resultaten – hoewel ze om de in sectie 3 genoemde redenen niet het beste antwoord geven op het gestelde probleem en ofschoon ze vanwege een tamelijk gering materiaal (vooral aan zeer zware regens ontbreekt het aan genoeg gegevens) nog wat onnauwkeurig zijn – niet volkomen in overeenstemming zijn met de gangbare voorstelling.

HOOFDSTUK 5

INCIDENTELE ONDERZOEKINGEN IN VERBAND
MET HET PROBLEEM BIJ WELKE REGENS
HET WERK BUITEN GESTAAKT MOET WORDEN

5.0 Inleiding

Velen vragen het K.N.M.I. (onder meer met het oog op premie-berekeningen voor verzekeringen bij regenverlet) gedurende hoeveel uren, gemiddeld genomen, het „werk” buiten onmogelijk is. Het is zeer moeilijk, om niet te zeggen onmogelijk, op dit soort vragen te antwoorden. Een en ander hangt immers nauw samen met de aard van het werk. Bij het lossen van landbouwmachines is enige regen allicht niet zo funest als bij dat van balen cacao. Verder zal men bij een werk, waarbij grote spoed dient betracht te worden, bij lichte regen of korte regenduur nog niet de arbeid staken waar dit anders wel gebeurd zou zijn. En natuurlijk spelen ook andere meteorologische elementen (koude, zicht, wind, e.d.) een rol [25]. Zo moet dikwijls bij een „zachte” regen en felle wind al spoedig het werk neergelegd worden ¹⁾.

Uit ervaring weten wij, dat de gevraagde gegevens meestal van de volgende aard zijn:

- a. hoeveel uurvakken gemiddeld liggen er tussen twee gefixeerde tijdstippen van het etmaal, waarbij in elk tenminste h mm valt? Men kiest wel $h = 0,1$ en $1,0$ mm. In zulk een geval behoeft het niet gedurende het gehele uurvak geregend te hebben.
- b. hoeveel uurvakken gemiddeld liggen er tussen twee gefixeerde tijdstippen van het etmaal, waarbij het in elk tenminste t minuten geregend heeft? Men kiest wel $t = 15$ en 30 minuten.
In zulk een geval kan het intens of zacht geregend hebben in dat uurinterval.
- c. Hoe lang regent het gemiddeld overdag tussen twee gefixeerde tijdstippen met een gemiddelde intensiteit van een gegeven waarde? (ook wel: met een intensiteit, die continu, d.w.z. van moment tot moment, zekere grootte overschrijdt)

Slechts ter illustratie, zonder te willen beweren, dat de getallen ook voor Nederlandse toestanden gelden, laten wij hier een tabel volgen, die C. E. P. Brooks op blz. 83 in zijn boek „Climate in everyday life” 1950 noemt. Hij beveelt aan zich bij de beoordeling van de invloed, die het weer op werkzaamheden in de buitenlucht heeft, te houden aan de getallen uit tabel 74.

Men bedenke, dat omrekening van inches tot mm plaats gevonden heeft.

¹⁾ Zie ook in hoofdstuk 17, type vraag No. 8

TABEL 74 De hoeveelheid h_o mm in t minuten
(voor Engelse toestanden)

Benaming	$t = 5$	30	60	120 minuten	1 dag
1. Nauwelijks merkbaar <i>barely perceptible</i>	–	0,05	0,1	0,1	0,1
2. Zeer licht <i>very light</i>	0,1	0,05– 0,2	0,1– 0,4	0,1– 0,5	0,1– 1,0
3. Licht <i>light</i>	0,1– 0,2	0,2– 0,8	0,4– 1,0	0,5– 1,3	1,0– 2,5
4. Matig <i>moderate</i>	0,2– 0,8	0,8– 2,5	1,0– 3,8	1,3– 5,1	2,5–10,2
5. Vrij zwaar <i>moderate heavy</i>	0,8– 2,0	2,5– 7,6	3,8–10,2	5,1–12,7	10,2–25,4
6. Zwaar <i>heavy</i>	2,0– 5,1	7,6–19,0	10,2–25,4	12,7–31,7	25,4–76,2
7. Zeer zwaar <i>very heavy</i>	5,1–10,2	19–38	25–51	32–64	76–152
8. In stromen <i>torrential</i>	10,2–20,3	38–64	51–89	64–128	152–305
9. Fenomenaal <i>phenomenal</i>	> 20,3	> 64	> 89	> 128	> 305

From Brooks in „Climate and Every Day Life”. The table shows the rainfall in mm in a period of t minutes for which Brooks made the classification mentioned in column one

Brooks vermeldt, dat hoeveelheden tot en met „licht” de werkzaamheden buiten zo goed als niet beletten. Bij „matig” wordt het werk wel gehinderd, doch nog niet onmogelijk, bij „vrij zwaar” al wel. Bij grotere hoeveelheden natuurlijk ook. Wij leren tevens, dat de gemiddelde intensiteit i bij langere duur t een lager gelegen drempelwaarde i_o overschrijden moet alvorens het werken buiten onmogelijk is. Zie tabel 75 (hoeveelheden „vrij zwaar” en meer).

TABEL 75 h_o in mm; i_o in mm/min; t in minuten;
„Onwerkbaar weer” bij

$h \geq h_o$	0,8	2,5	3,8	5,1	10,2
t	5	30	60	120	1 dag
$i \geq i_o$	0,16	0,08	0,06	0,04	0,007

The table shows for which rainfall levels h_o (mm) and intensity levels i_o (mm/min) for periods of t minutes the outdoor work must be stopped

TABEL 76

DE BILT 1926-1930

Gemiddelde maandelijkse aantal uurvakken met t_1 , t_2 of t_3 minuten regen, slechts de uurvakken ongeveer tussen zonsopkomst- of ondergang

uurvak	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Jan	t_1 31 à 40					0,0	0,4	0,0	0,8	1,2	0,8	0,4	0,8					
	t_2 41 à 50					0,4	0,0	0,8	0,2	0,4	0,2	0,2	0,6					
	t_3 51 à 60					1,8	2,2	1,6	1,2	1,0	1,4	2,0	1,6					
	t 31 à 60					2,2	2,6	1,4	2,2	2,6	2,4	2,6	3,0					
Feb					0,6	0,4	0,4	0,2	0,4	0,2	0,8	0,0	0,2	0,0				
					0,4	0,2	0,2	0,8	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6				
					0,4	0,2	1,0	0,6	0,8	1,0	0,4	0,8	1,4	1,8				
					1,4	0,8	1,6	1,6	1,6	1,4	1,4	1,0	2,0	2,4				
Mrt				0,6	0,8	0,2	0,0	0,8	0,2	0,0	0,2	0,4	0,0	0,2	0,6			
				0,2	0,6	0,2	0,2	0,4	0,6	0,4	0,0	0,2	0,4	0,0	0,2			
				0,6	0,8	0,6	1,2	0,4	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2			
				1,4	2,2	1,0	1,4	1,6	1,0	0,4	0,4	0,8	0,6	0,6	1,0			
Apr			0,4	0,6	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,2	0,0	0,2		
			0,4	0,4	0,2	0,2	0,6	0,8	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	0,0	0,4	0,2		
			1,8	1,6	1,4	1,0	0,8	0,8	0,8	1,2	1,2	0,6	0,2	1,2	1,4	0,8		
			2,6	2,6	1,8	1,6	1,8	2,0	1,4	2,2	1,8	1,4	1,0	1,4	1,8	1,2		
Mei		0,4	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,4	1,0	0,8	0,6	0,8	1,0	0,6	
		0,6	0,6	0,0	0,6	0,6	0,2	0,4	0,4	0,4	0,2	0,0	0,2	0,2	0,6	0,2	0,2	
		1,0	1,8	1,8	1,2	0,6	0,6	1,0	1,0	0,8	0,8	0,2	0,8	0,6	0,8	1,8	1,6	
		2,0	2,6	2,4	2,2	1,6	1,2	1,8	1,6	1,4	1,4	1,2	1,8	1,4	2,2	3,0	2,4	
Jun		0,2	0,2	0,2	0,8	0,4	0,8	0,6	1,0	1,7	2,0	1,0	0,6	1,0	0,4	0,2	1,0	0,2
		0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,0	1,0	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,6	0,6
		0,8	0,8	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,2	0,8	0,8	0,4	0,8	0,4	0,4	0,4	0,8	0,6
		1,2	1,4	1,4	2,0	1,4	1,8	2,6	2,4	3,2	3,2	1,8	1,8	1,8	1,0	0,8	1,6	1,8
Jul		0,4	1,2	0,6	0,8	0,4	0,4	0,4	0,8	1,0	0,8	1,0	0,0	0,4	1,2	0,4	0,0	0,8
		0,6	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,0	0,8	0,2	0,4	0,8	0,0	0,4	0,4	0,0	0,4
		0,2	1,2	0,8	1,2	1,4	2,0	1,4	1,0	0,6	0,8	0,8	0,2	0,8	0,0	0,2	0,2	0,4
		1,2	2,6	1,8	2,4	2,2	3,0	2,2	1,8	2,4	1,8	2,2	1,0	1,2	1,6	1,0	0,6	1,2
Aug		0,4	0,8	0,4	0,8	0,2	0,4	0,8	0,6	0,6	0,4	0,8	0,8	1,0	0,4	0,2	0,6	
		0,0	0,4	0,8	0,4	0,0	0,4	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,4	0,2	
		1,2	1,0	1,2	1,2	1,8	1,6	1,6	0,8	0,6	1,0	0,6	0,2	0,2	0,8	0,6	1,0	
		1,6	2,2	2,4	2,4	2,0	2,4	2,6	1,4	1,4	1,6	1,6	1,4	1,6	1,4	1,2	1,8	
Sep		0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	0,2	0,6	0,8	0,0	0,6	0,4	0,8	0,8			
		1,0	0,6	0,0	0,4	0,6	0,4	0,6	0,2	0,2	0,6	0,6	0,4	0,2	0,2			
		1,2	0,6	1,2	0,2	0,4	0,4	1,0	0,8	0,8	1,2	0,4	0,6	1,0	1,2			
		2,8	1,6	1,8	1,2	1,8	1,6	1,8	1,6	1,8	1,8	1,6	1,4	2,0	2,2			
Oct			1,6	1,2	1,0	1,2	0,8	0,4	0,4	0,4	1,4	1,2	1,2	0,8				
			1,2	0,4	0,6	0,8	1,4	1,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,4	0,6				
			1,8	2,0	1,4	1,0	1,2	2,0	2,2	2,0	1,2	1,8	1,2	1,2				
			4,6	3,6	3,0	3,0	3,4	3,4	2,6	2,8	2,6	3,4	2,8	2,6				
Nov				1,2	1,4	0,8	1,8	1,2	1,4	0,6	0,8	1,2	1,2					
				1,0	1,0	0,6	0,2	0,2	0,4	0,8	0,4	0,4	0,2					
				1,8	0,8	1,6	1,2	1,4	1,6	2,4	3,0	2,4	3,0					
				4,0	3,2	3,0	3,2	2,8	3,4	3,8	4,2	4,0	4,4					
Dec					0,8	0,4	0,6	0,6	0,6	1,0	1,4	0,8						
					0,6	0,4	1,0	0,8	0,4	0,8	0,2	0,2						
					0,8	1,2	1,6	2,4	2,8	2,2	2,0	2,0						
					2,2	2,0	3,2	3,8	3,8	4,0	3,6	3,0						

Mean annual number of 1-hour periods with duration of rain of t_1 , t_2 or t_3 minutes. The hours between sunrise and sunset were considered. The interval 15 means: from 14 up to 15 o'clock, and so on

Wij telden eveneens de uurvakken met 1,0 of meer mm voor de beantwoording van vragen als boven bedoeld. Waarschijnlijk zal reeds van 1,0 mm per uur af het buitenwerk gestaakt moeten worden; zeer zeker van 4 mm per uur af.

Thans volgen de resultaten van een drietal kleine incidentele onderzoeken.

5.1 Voor De Bilt, voor de jaren 1926–1930, voor elke maand werd geteld het aantal uurvakken, waarin het 31 à 40, 41 à 50 of 51 à 60 minuten regende (onverschillig de intensiteit) en wel voor de uurvakken ongeveer tussen zonsopkomst en -ondergang (zie tabel 76).

Wij kunnen echter ook beschouwen de regens van een totale duur van meer dan 30 minuten, en dan tellen hoevele begonnen in het eerste, in het tweede enz. der zelfde uurvakken. Tabel 77 geeft dit weer voor de regens uit het tijdvak 1926 t/m 1948. Men bedenke wel, dat deze regens van zeer verschillende duur zijn en dat lange durven minder frequent zijn dan korte. Gemiddeld duren deze regens 2 uren (ongeveer 50 % aller regens duurt langer dan $\frac{1}{2}$ uur). Elk moment binnen een gegeven uurvak heeft evenveel kans het begin van de regen aan te wijzen.

TABEL 77

DE BILT 1926–1948

Het gemiddelde maandelijks aantal keren, dat een regen van meer dan 30 minuten in het aangegeven uurvak begon; alleen de uurvakken ongeveer tussen zonsopkomst en -ondergang

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Jan						0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	1,1	0,6						
Feb					0,7	1,1	0,7	1,0	0,5	0,5	0,4	0,8	0,7	0,4				
Mrt				0,6	0,2	0,5	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	0,6	0,4			
Apr			1,0	0,6	0,3	0,5	0,7	0,6	0,7	0,5	0,4	0,4	0,7	0,3	0,5	0,5		
Mei		0,8	0,7	0,7	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,9	0,7	0,8	0,9	0,6	
Jun	0,7	0,5	0,5	0,6	0,3	0,8	0,5	0,4	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,8	0,4
Jul	0,7	0,5	1,0	0,9	0,5	0,7	0,4	0,7	0,9	1,0	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	1,0	0,7
Aug		0,7	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6	0,7	0,3	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7	0,4	
Sep			0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,7	0,5	0,7	0,5	0,3	0,7	0,7	0,6	0,2		
Oct				1,0	0,8	1,1	0,9	0,8	0,6	0,4	0,5	1,2	0,4	1,1	0,8			
Nov					0,9	1,3	0,9	0,5	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	0,7				
Dec						0,9	0,6	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6					

Mean annual numbers of clock hours in which a rain started that lasted more than 30 minutes. The hours between sunrise and sunset were considered. For instance: per July there are on an average 0,9 hours from 11 to 12 o'clock in which a rain, lasting more than 30 minutes, started

5.2 Voor De Bilt, voor vijf willekeurig gekozen jaren 1930, 1935, 1940, 1946 en 1948, werden dag voor dag, maand voor maand, uit de registratiecurven die tussen 8 en 17h gelegen gedeelten uitgezocht, waarin de momentane intensiteit van ogenblik tot ogenblik tenminste 0,02 mm/min bedraagt.

Voorbeeld: op 8 Feb. 1946 kon uit de pluviocurve een stuk van 188 achtereenvolgende minuten (en wel van 6h 50 tot 9h 58) worden gesneden, waarin doorlopend de intensiteit 0,02 mm/min of meer was. Van deze 188 minuten liggen er 118 tussen 8 en 17h. Zo was in deze maand Februari de totale duur, waarin de momentane intensiteit $\geq 0,02$ mm/min bedroeg, tussen 8 en 17h: 776 minuten, terwijl het aan alle regens (van welke sterkte ook) tezamen 2745 minuten regende. Aldus is $776 : 2745 = 28 \%$. Wanneer het werk gestaakt moet worden, zodra de momentane intensiteit tenminste 0,02 mm/min is (iets meer dan 1 mm per uur), dan zou dit dus in Februari 1946 vanwege de regen alleen voor $776 : 28 \times 9 \times 60 = 5,1 \%$ van de ganse werktijd geweest zijn. Analoog voor de andere maanden (zie tabel 78).

TABEL 78

DE BILT 1930, 1935, 1940, 1946, 1948

 t = totale aantal minuten tussen 8 en 17h met een mom. intensiteit $\geq 0,02$ mm/min T = totale aantal minuten regen tussen 8 en 17h

		Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jaar
1930	t	204	113	216	33	234	247	823	474	324	709	795	103	4475
	T	745	465	800	260	790	575	1775	1095	915	1210	2010	1080	11720
	$t/T \%$	27	24	27	13	30	43	46	43	35	59	40	10	38
1935	t	171	242	40	857	157	311	69	153	680	307	304	362	3653
	T	365	1475	55	1340	930	865	250	455	1140	925	1935	1400	11135
	$t/T \%$	47	16	72	64	17	36	28	34	60	33	16	26	33
1940	t	12	44	186	230	39	321	409	107	353	85	218	484	2488
	T	90	305	960	495	160	575	740	410	550	320	525	1080	6210
	$t/T \%$	13	14	19	46	24	56	55	26	64	27	42	45	40
1946	t	51	776	310	11	58	274	323	196	552	304	190	32	3077
	T	170	2745	515	90	360	680	835	720	1280	845	795	72	9107
	$t/T \%$	30	28	60	12	16	40	39	27	43	36	24	44	34
1948	t	457	310	0	257	168	478	211	203	91	102	80	181	2538
	T	2015	960	195	865	450	1114	647	748	265	415	375	850	8899
	$t/T \%$	21	32	0	30	37	43	33	27	34	25	21	21	29
5 j. samen	t	855	1485	752	1388	656	1631	1835	1133	2000	1507	1587	1162	16091
	T	3385	5950	2525	3050	2090	3809	4247	3428	4150	3715	5640	4482	47071
	$t/T \%$	25	25	30	46	24	43	43	33	48	41	28	26	34

t = total duration of rain between 8 and 17 h in which the momentary intensity equals or exceeds 0,02 mm/min; T = total duration of rain between 8 and 17h; t and T in minutes. The years 1930, 1935, 1940, 1946, 1948 were chosen at random. The lowest 3 rows give the 5 years sums

De tabel leert, dat het werk ongeveer voor $1/3$ van de tijd, gedurende welke het regent, gestaakt moet worden, tenminste bij een criterium „momentane intensiteit $\geq 0,02$ mm/min” ¹⁾.

TABEL 79

DE BILT 1923-1937

Totale aantallen uurvakken òf tussen 8 en 12h òf tussen 12 en 16h, in elk der 4 seizoenen

h = hoeveelheid neerslag in mm per uurvak	Le		Zo		He		Wi	
	8-12h	12-16h	8-12h	12-16h	8-12h	12-16h	8-12h	12-16h
0	4989	4983	4938	4981	4712	4721	4709	4717
0,1- 0,9	439	390	417	391	555	540	597	554
1,0- 1,9	59	102	86	78	119	125	84	110
2,0- 2,9	19	26	33	37	41	44	14	24
3,0- 3,9	9	11	18	14	17	18	5	4
4,0- 4,9		7	10	11	9	6	2	3
5,0- 5,9			8	5	5	4	1	
6,0- 6,9	1		4					
7,0- 7,9			2					
8,0- 8,9								
9,0- 9,9	1							
10,0-14,9	3	1	4	1	2	1		
15,0-19,9				1				
20,0-24,9				1				

Total number of 1-hour periods (between 8 and 12h or between 12 and 16h) in which there was a precipitation of h mm. For instance: there were 78 1-hour periods in 15 summers between 12 and 16 o'clock (i.e. 12-13; 13-14; 15-16h) in each of which the rainfall was 1,0 to 1,9 mm

¹⁾ Nadat de verhandeling geschreven was, lazen wij een artikel van J. Mc. Conalogue „On the distribution of rainfall rates at some coastal stations in the British Isles”, in The Meteorological Magazine 82 304 1953. De schrijver probeert een simpele formule te vinden voor dat deel P van de tijd, waarin het regent met een momentane intensiteit boven een gegeven waarde i , dus $P = P(i)$. Hij meent, dat $P = P_0 \exp(-\mu i)$ een zeer goede aanpassing biedt. Helaas ontbreekt het ons aan genoeg gegevens om te onderzoeken of ook in Nederland de formule het goed doet (gewacht dient te worden op een volledige uitponsing der regens). Wij willen er echter toch iets van zeggen: het regent voor ongeveer 4,8 % van de ganse tijd. De hevige regens ($i \geq 0,2$ mm/min, moment voor moment) nemen ongeveer 0,062 % van alle tijd voor hun rekening en de regens, waarin $i \geq 0,02$, ongeveer 1,64 %. Met deze drie P, i -paren komt er $P_i = 4,0 \exp(-23i)$; hierbij stelt P_i het percentage tijd voor, gedurende dewelke het regent met een intensiteit van i mm/min of meer.

Het voordeel van deze, thans helaas nog zeer onzekere formule, is natuurlijk, dat men snel het aantal uren, waarin niet gewerkt kan worden, berekenen kan, zodra men de intensiteit, waarbij zulks het geval is, weet

5.3 Voor de jaren 1923 t/m 1937 werden met behulp van de pluviogrammen van De Bilt de tussen 8 en 16h gelegen natte uurvakken gefrekwenteerd in groepjes van 1 mm. Zie tabel 79, waarin een indeling naar de seizoenen gemaakt is. Men kan zulk een tabel als volgt gebruiken: er waren in de 15 winters 's morgens in totaal $84 + 5 + 2 + 1 = 106$ uurvakken met 1,0 of meer mm (let wel: in zulk uurvak behoeft het niet van begin tot eind achtereen geregend te hebben; wel neemt de kans, dat het uurvak „volledig nat” is, toe met toenemende totale hoeveelheid). Deze winters bevatten in totaal $15 \times (31 + 31 + 28) \times 4 = 5400$ uurvakken 's morgens tussen 8 en 12h, zodat gedurende $106 : 5400 = 2\%$ der uurvakken het werk moest worden neergelegd, doordat er tenminste 1 mm regen per uurvak viel. 's Zomers en wel 's morgens is dit 11 %, zeer veel meer dan 's winters. Voor drempelwaarden anders dan 1,0 mm kan men zeer eenvoudig met de gegevens uit de tabel verdere berekeningen uitvoeren.

HOOFDSTUK 6

REGENDUUR

6.1.0 Methoden van aflezing

„De aflezing van de regenduur uit de diagrammen van de zelfregistrerende regenmeter biedt moeilijkheden en geeft verschillen, die afhangen van de persoonlijke opvatting”. Deze opmerking, waarmede ook B r a a k begint (men leze § 5 in M.V. 34a) willen wij volledig onderschrijven, maar ook numeriek toelichten. Wanneer wij letten op het verschil in de wijze, waarop de pluviogrammen werden uitgetrokken door ons en door B r a a k, behoeft het niet te verbazen, dat de laatste in elk der 60 maanden 1926–1930 tot een grotere regenduur komt. In tabel 80 brengen wij alleen de maandgemiddelden tezamen.

TABEL 80

DE BILT 1926–1930

Regenduur, in uren; gemiddeld per maand

	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jr
B	65,7	46,1	29,6	46,5	42,6	40,7	41,4	46,3	46,5	72,2	87,0	72,0	637
L	43,3	30,4	21,2	33,3	36,1	32,2	32,0	35,6	33,5	57,6	66,0	51,3	472

Mean monthly duration of rain in hours according to B r a a k and L e v e r t (the methods of evaluation differed slightly)

Deze gemiddelden zijn natuurlijk, doordat zij elk op slechts 5 getallen berusten, zeer onnauwkeurig. Voor verschillende doeleinden eist men grotere nauwkeurigheid. Wanneer men er tegen opziet om alle pluviogrammen van een zeer lange basisperiode op de regenduur te onderzoeken, kan men volgens twee methoden te werk gaan (men leze bij B r a a k §§ 7 en 8; M.V. 34a). Wij willen beide nader onder de loupe nemen.

6.1.1 1e Methode: „de regenduur is rechtevenredig met het aantal regen uur-intervallen”

Men leest uit de regenstroken van een klein aantal jaren (bijv. 5; bij B r a a k 1926–1930) dag voor dag de regenduur af en berekent daarmede de gemiddelde regenduur a per maand. Men telt in dezelfde jaren ook de aantallen natte uurvakken of kalenderuren (regenuurintervallen, korter: regenuren); zij het gemiddeld aantal per maand b (een uurvak kan „nat” genoemd worden wanneer er tenminste 0,1 mm neerslag gevallen is). Het laatste doet men ook voor een veel langer tijdvak: b' (weer via de pluviogrammen). Het is duidelijk

dat het gemakkelijker is om natte uurintervallen te tellen dan regenduren af te lezen. Men neemt nu aan, dat $a/b = a'/b'$, ofwel, dat dit quotiënt weinig of niet van de lengte van de basisperiode afhangt. Aldus komt men tot $a' = (a/b)b'$. Men doet dus alsof in een tijdvak, met in totaal p keer zoveel natte uurvakken als in een ander, ook de totale regenduur p keer zo groot is. De onderstelling is zeer aantrekkelijk.

De methode heeft o.i. verschillende bezwaren. Ten eerste zou een onderzoek moeten worden ingesteld naar de juistheid van de „stelling” $a/b = a'/b'$ of, beter nog, men zou moeten nagaan hoe het quotiënt a/b met het langer worden van het basistijdvak naar een eindige waarde limiteert; hoe snel en welke is deze limiet? Laat men dit na, dan dient men wel te bedenken, dat a' zeer onnauwkeurig is, doordat a en b dit zijn. In de tweede plaats hangen met het „natheids criterium” allerlei praktische moeilijkheden samen. Zo moet de regenstrook zeer correct opgespannen zijn om te kunnen concluderen, dat de stijging van de regencurve reëel is. Voorts zullen wij er nog in een afzonderlijk hoofdstuk op wijzen, dat met de pluviograaf meestal minder neerslag gemeten wordt dan met de gewone regenmeter. Als men dit tekort ook over uurvakken, welke direct aan de reeds neerslag bevattende grenzen, verdeelt, maakt men er natte bij. Hier gaat de subjectiviteit een belangrijk woordje meespreken. Wanneer men de drempelwaarde niet bij 0,1 mm, maar bij bijv. 0,3 mm legt, is het gevaar groot, dat men talrijke uurvakken wel in de telling van de regenduur en niet in die der natte uurintervallen betreft, waarmede niet gezegd is, dat de „stelling” nu geheel waardeloos is; wel zou zij speciaal dan aan een zeer critische studie moeten worden onderworpen.

6.1.2 2e Methode: methode van Köppen („K-methode”)

Deze methode (de „Methode der Stichproben”) komt hierop neer [26]: Men telt in een lang tijdvak (j jaren), in bijv. alle daarin gelegen Januarimaanden, het totale aantal keren, dat er om 8, om 14 en om 19h neerslag (regen; hagel;

TABEL 81

DE BILT 1901-1930

De neerslagkansen om 8, 14 en 19h en de gemiddelde regenduur in uren (volgens K-methode)

	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jr
k_8	0,154	0,131	0,134	0,129	0,103	0,104	0,103	0,110	0,098	0,122	0,138	0,147	0,123
k_{14}	0,130	0,137	0,132	0,111	0,089	0,092	0,098	0,110	0,093	0,108	0,138	0,186	0,119
k_{19}	0,143	0,136	0,116	0,111	0,097	0,081	0,086	0,091	0,089	0,116	0,156	0,171	0,116
$\bar{k}_3$	0,142	0,135	0,127	0,117	0,096	0,072	0,096	0,104	0,093	0,114	0,144	0,168	0,119
$\bar{U}$	106	91	95	84	72	67	71	77	67	86	104	125	1044

Rain probabilities at 8, 14 and 19 o'clock (k_8 , k_{14} and k_{19}), the mean value $\bar{k}_3$ and the mean duration of rain ($\bar{U}$) in hours (according to the „Stichprobenmethode von Köppen”)

sneeuw) viel: A_8, A_{14}, A_{19} . De neerslagkansen op deze tijdstippen (de termijn-waarnemingen) zijn dan $k_8 = \frac{A_8}{31j}$; $k_{14} = \frac{A_{14}}{31j}$; $k_{19} = \frac{A_{19}}{31j}$. Het gemiddelde aantal uren neerslag (d.w.z. de gemiddelde regenduur in uren) mag dan geschat worden op $\bar{U} = 31 \times 24 \times (k_8 + k_{14} + k_{19})/3 = 31 \times 24 \times \bar{k}_3$.

In tabel 81 staan de getallen voor de door B r a a k bewerkte periode.

Wij hebben deze neerslagkansen ook berekend voor de vijf jaren 1926–1930 en de 48 jaren 1901–1948. In tabel 82 worden zij vergeleken; men ziet hoe sterk zij met de lengte van het tijdvak samenhangen.

TABEL 82

DE BILT

 $\bar{k}_3$ -waarden, gemiddeld per maand

	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jr
1926–1930	0,159	0,096	0,097	0,118	0,144	0,096	0,112	0,109	0,130	0,157	0,189	0,191	0,134
1901–1930	0,142	0,135	0,127	0,117	0,096	0,072	0,096	0,104	0,093	0,115	0,144	0,168	0,119
1901–1948	0,154	0,144	0,125	0,120	0,099	0,094	0,101	0,102	0,090	0,116	0,148	0,158	0,122

Values of $\bar{k}_3 = (k_8 + k_{14} + k_{19})/3$ for three basic periods

Ook deze methode heeft haar bezwaren. B r a a k vertelt reeds, dat men bij het toepassen van de methode de dagelijkse gang moet verwaarlozen. Wij stellen een bespreking van de waarde van de K-methode uit tot het einde van dit hoofdstuk.

6.1.3 De 3e en beste „methode” is natuurlijk alle pluviogrammen van de gehele periode te bewerken. Ons ganse materiaal betreft de 23 jaren 1926–1948. Zo kunnen wij de resultaten van B r a a k (voor de 5 jaren 1926–1930) en die volgens de K-methode met de onze vergelijken. Zie tabel 83.

TABEL 83

DE BILT 1926–1930

Gemiddelde regenduur, in uren

	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jr
I. Direct afgelezen, B r a a k	66	46	30	46	43	41	41	46	46	72	87	72	636
II. Direct afgelezen, L e v e r t	43	30	21	33	36	32	32	36	34	58	66	51	472
III. Indirect berekend, K-methode	118	65	72	85	104	69	83	81	86	117	136	143	1159

Mean duration of rain in hours according to B r a a k (evaluated from the strips), to L e v e r t (ditto) and to the K ö p p e n's method

Wij legden reeds uit, dat bij ons de totale regenduur ontstaat als som der uren der regens en aangezien wij, uit louter praktische overwegingen, alleen regens met een gemiddelde intensiteit boven 0,001 mm/min beschouwden, komen wij natuurlijk tot een te kleine regenduur. De met behulp van de K-methode geschatte schijnt echter veel te groot te zijn. Het kan natuurlijk zijn, dat de verschillen in tabel 83 louter door de kleinheid van het basistijdvak zo markant zijn.

Wij laten daarom in tabel 84 de getallen volgen voor de 23-jarige periode, waarin nu ook methode 1 een plaats vindt.

TABEL 84
DE BILT 1926-1948
Gemiddelde regenduur, in uren

	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jr
I. Direct afgelezen	44	35	28	30	32	28	30	30	29	45	52	41	425
II. Methode 1 ¹⁾	50	38	28	31	34	30	32	35	32	52	70	49	453
III. Methode 2	90	98	109	89	83	70	83	75	67	93	117	111	1080

Mean duration of rain in hours

I. read from the strips

II. computed according to method 1

III. according to method 2 (see text)

Wij menen op grond van deze zeker nauwkeuriger resultaten (eerst 5 jaren, thans 23 jaren) te mogen concluderen, dat de K-methode tot veel te grote regenduren leidt. Het is dus noodzakelijk te zoeken naar een verklaring van dit feit.

TABEL 85
DE BILT 1926-1948

	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jaar
Gem. regenduur	44	35	28	30	32	28	30	30	29	45	52	41	424 uren
In % van aantal uren in hele maand	5,9	5,2	3,7	4,3	4,3	3,9	4,1	4,1	4,0	6,0	7,2	4,4	4,8 %
Gemiddelde aantal regendagen	12,9	10,5	9,3	12,2	10,8	11,9	13,7	13,5	13,1	14,3	15,2	13,0	150,4
Gemiddelde regenduur per dag	1,4	1,2	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,4	1,7	1,3	1,2 uren
Gem. regenduur per regendag	3,4	3,3	3,0	2,6	3,0	2,4	2,2	2,2	2,2	3,1	3,4	2,5	2,8 uren
Gemiddeld aantal regens	29	23	19	28	24	28	34	34	34	41	38	32	364
Gemiddelde duur van een regen	91	95	104	68	81	60	51	53	53	66	78	63	72 minuten
Gem. aantal regens per regendag	2,2	2,1	2,1	2,3	2,2	2,4	2,5	2,5	2,5	2,8	2,6	2,7	2,4

General survey. From top to bottom: mean duration of rain (hours); in percent of total hours in month; mean number of raindays; mean duration of rain per day (hours); mean duration of rain per rainday (hours); mean annual number of rains; mean duration of a rain of every type (minutes) and mean number of rains per rainday

¹⁾ Met behulp van de aantallen regenuurintervallen en de regenduur in de 5 jaren-periode 1926-1930 en de aantallen regenuurintervallen in de 23 jaren-periode

TABEL 86

DE BILT 1926-1948

	Le	Zo	He	Wi	Jr	
Gem. regenduur	90	88	126	120	424	uren
In % van uren in gehele seizoen	4,1	4,0	5,8	5,6	4,8	%
Gem. aantal regendagen	32,3	39,1	42,6	36,4	150,4	
Gem. regenduur per dag	1,0	1,0	1,4	1,3	1,2	uren
Gem. regenduur per regendag	2,8	2,2	3,0	3,3	2,8	uren
Gem. aantal regens	71	96	113	84	364	
Gem. duur van een regen	76	55	79	86	72	min
Gem. aantal regens per regendag	2,2	2,5	2,7	2,3	2,4	

Like table 85, but now for each of the seasons

De praktijk is eveneens geïnteresseerd bij de gemiddelde regenduur per regendag, de gemiddelde duur van een regen, etc. Dit soort gegevens hebben wij samengenomen in de tabellen 85 en 86.

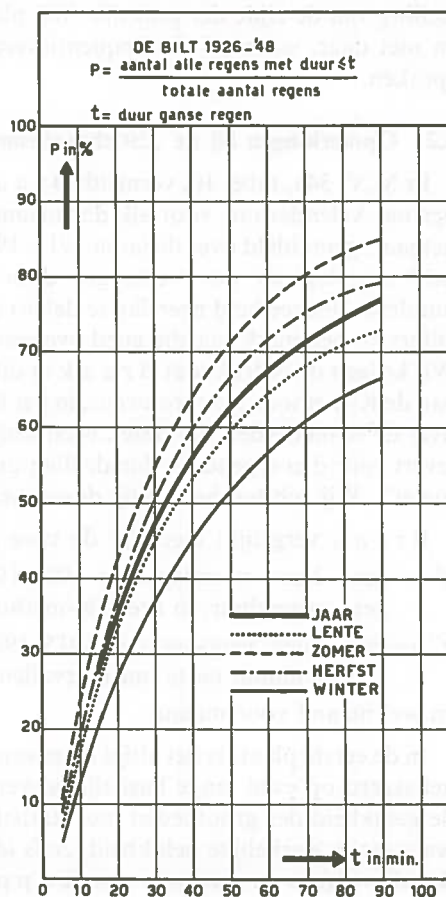
De nadruk zij gelegd op enkele indrukken:

1. De regenkans tijdens een termijn-waarneming (3 waarnemingen per etmaal) lijkt groter dan de gemiddelde fractie van de ganse tijd, gedurende welke het regent (vergelijk 0,12 met 0,05; tabellen 82 en 85). Wij zeggen met opzet „lijkt”, want deze 5 % is beslist te klein, waartegenover staat, dat de 12 % weinig scherp gedefinieerd is (waarover verderop meer).

2. De jaarlijkse gang in het aantal regens is sterker dan die in de regenduur en het aantal regendagen.

FIG. 27. Rains of every type.

P = number of all rains lasting t or less minutes, divided by the total number; 5 curves, from top to bottom: summer, autumn, year, spring and winter



3. De gemiddelde duur van een regen is 's zomers het kleinst, 's winters het grootst. Met de gemiddelde hoeveelheid is het tegengestelde het geval.

Het zal wellicht velen verbazen, dat het, gemiddeld genomen, en het seizoen-effect buiten beschouwing latende, bijna $1\frac{1}{2}$ uur per dag regent, bij ongeveer 1 regen per dag.

Men doet goed de resultaten, genoemd in tabel 85, niet te vereenzelvigen met die, welke in de curven van fig. 27 opgesloten liggen. In de zomer duren rond 24 % der regens langer dan een uur, in de winter is dit zelfs met 48 % het geval. Anders gezegd: lange regens komen relatief veel meer 's winters dan 's zomers voor. Hieruit volgt nog niet direct dat het 's winters, gemiddeld genomen, langer regent dan 's zomers. Dit hangt namelijk ook nog samen met het aantal regens (zomer: $28 + 34 + 34 = 96$; winter: $32 + 29 + 23 = 84$). Zowel voor de gegevens in tabel 85 als de krommen van fig. 27 is veel belangstelling van de zijde der praktijk. Wij plaatsen daarom fig. 27 in dit hoofdstuk en niet daar, waar wij de frequentieverdeling der regens naar hun duren bespraken.

6.2 Opmerkingen bij de „Stichprobenmethode” van Köppen

In M.V. 34a, tabel 10, vermeldt B r a a k de gemiddelde hoeveelheid neerslag per nat kalenderuur, voor elk der maanden (ongeacht de dagelijkse gang) van het jaar, gemiddeld over de jaren 1915–1930. In tabel 13 vermeldt hij de hoeveelheid neerslag per uur (verkregen door de gemiddelde regenduur op de gemiddelde hoeveelheid neerslag te delen) en wel gemiddeld over 1901–1930. „De cijfers komen merkwaardig goed overeen” constateert hij in regel 5 v.o., blz. 22. Wij krijgen de indruk, dat B r a a k in dit „feit” een aanwijzing van de juistheid van de K-methode ziet; trouwens, in het begin van § 8, blz. 22, zegt hij (sprekende over de K-methode), dat deze „waarschijnlijk een meer betrouwbaren maatstaf levert voor den regenduur dan de diagrammen van den zelfregistrerenden regenmeter”. Wij achtten het nuttig deze kwestie kritisch onder de loupe te nemen.

B r a a k vergelijkt eigenlijk de twee quotiënten h' en h'' , waarbij:

$h' = \text{gem. hoev. neerslag over 1901–1930 gedeeld door}$
gem. regenduur, in uren (K-methode) en

$h'' = \text{gem. hoev. neerslag over 1915–1930 gedeeld door}$
gem. aantal natte uurintervallen

en wel maand voor maand.

In de eerste plaats is het altijd beter een vergelijking te maken tussen resultaten gebaseerd op even lange basistijdvakken; zo dit niet goed kan, is het gewenst de gelijkheid der grootheden met statistische toetsen te verifiëren. Ten tweede: wanneer er werkelijke gelijkheid (zelfs identiteit) zou zijn, zou deze betekenen, dat de volgens de methode van K ö p p e n berekende gemiddelde regenduur

gelijk zou zijn aan het gemiddeld aantal regenuurintervallen (natte kalender-uren). Kunnen wij deze gelijkheid begrijpen? Wanneer wij de kansen, dat de uurvakken 0-1, 1-2, 2-3 23-24h neerslag bevatten, $k_1, k_2, \dots, k_{24}$ (welke statistisch significant verschillen indien de dagelijkse gang reëel is) noemen, wordt het gemiddeld aantal natte uurvakken per maand van 31 dagen (onverschillig of er al dan niet een dagelijkse gang is) $31 k_1 + 31 k_2 + \dots$

$31 k_{24} = 31 \times 24 \times k_{24}$, wanneer wij $\bar{k}_{24} = \frac{1}{24} \sum_1^{24} k_i$ invoeren. Bij de methode van K ö p p e n is sprake van een regenkans tijdens een waarneming, dus van de kans, dat een oneindig klein tijdsverloop regen bevat. Wij zouden deze „ogenblikkelijke” K voor het tijdstip 8.00h kunnen definiëren als $K_8 = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} [\text{kans, dat er in het interval } 8\text{h}00 \text{ tot } 8\text{h} \Delta t \text{ neerslag valt}]$, voor $\Delta t \rightarrow 0$. Aangezien de dagelijkse gang nergens op de dag steil verloopt, mogen wij in goede benadering schrijven $K_8 = k_8$; $K_{14} = k_{14}$; $K_{19} = k_{19}$. Volgens de K-methode zou dus de gemiddelde regenduur $(K_8 + K_{14} + K_{19})/3 \cdot 31 \cdot 24$ uren zijn. B r a k heeft dus gewezen op de gelijkheid $\bar{k}_{24} = (K_8 + K_{14} + K_{19})/3$. (*)

De uitkomst duidt erop, dat men van $\bar{k}_{24}$ een vrij goede schatting maken kan door slechts 3 keren per etmaal (en nog wel om 8, 14 en 19h) waar te nemen of het al dan niet regent en dit gedurende een voldoende lange tijd. De waarde van de K-methode lijkt ons vooral bepaald door de mate, waarin (*) waar is. Het zal beter zijn, althans wanneer men zich tot niet meer dan 3 „metingen” per etmaal beperken wil, deze drie tijdstippen niet te fixeren, doch volgens toeval te kiezen (nu eens 8, 14, 19, dan weer 5, 18, 22 of 4, 10, 20 etc.). Natuurlijk is dit in de praktijk onuitvoerbaar. In tabel 87 vergelijken wij de K met de k .

De conclusie is, dat zowel tussen $\bar{K}_3$ en $\bar{k}_3$ als tussen $\bar{K}_3$ en $\bar{k}_{24}$ een verwonderlijk goede overeenkomst bestaat.

Inmiddels is duidelijk naar voren gekomen, dat de K-methode eigenlijk het gemiddeld aantal regenuurintervallen (regenuren) levert, terwijl men snel geneigd is (gemakshalve) van gemiddeld aantal uren regen (regenduur, in uren uitgedrukt) te spreken.

Aldus is ook gebleken, hoe noodzakelijk het is de K_i scherp te definiëren. Kan wel wel spreken van neerslag „op een moment”? Wij zouden kunnen definiëren, dat K betrekking heeft op een „zeer” klein segment Δt . Deze Δt

TABEL 87 DE BILT 1915-1930

	Le	Zo	He	Wi	Jr
K_8	0,13	0,12	0,14	0,16	0,15
$k(7-8)$	0,13	0,10	0,15	0,17	0,13
K_{14}	0,11	0,11	0,12	0,16	0,13
$k(13-14)$	0,09	0,12	0,13	0,14	0,12
K_{19}	0,10	0,09	0,12	0,16	0,12
$k(18-19)$	0,10	0,10	0,12	0,16	0,12
$\bar{K}_3$	0,10	0,10	0,14	0,15	0,12
$\bar{k}_{24}$	0,10	0,09	0,14	0,15	0,12
$\bar{k}_3$	0,11	0,11	0,13	0,16	0,14

is zo klein gedacht, dat het slechts of nat of droog kan zijn. Van de $24 \times 30 : \Delta t$ zulke segmentjes binnen een etmaal zijn er dan, gemiddeld genomen, $K \times 24 \times 30 : \Delta t$ stuks nat, welke samen een regenduur van $K \times 24 \times 30$ uren vertegenwoordigen. Zelfs al zou K onafhankelijk van de ligging van Δt zijn, betekent zij nog niet tevens de kans op een neerslaguurinterval. Zij Δt bijv. 5 minuten; 12 stuks in een uur. Een uurvak heet nat zodra het tenminste één nat Δt -segmentje bevat (wij laten even in het midden of het nat of niet-nat zijn van deze allicht zeer kleine Δt aan het pluviogram te beoordelen is). De kans op een nat uurvak is dan $K^* = 1 - (1 - K)^{12}$. Altijd is $K < K^*$.

TABEL 88 K^* -waarden

K	$\Delta = 1$	5	10 minuten
0,05	0,954	0,46	0,26
0,10	0,998	0,75	0,47
0,20	1,000	0,93	0,74
0,30	1,000	0,90	0,88

Zie het volgende tabelletje, waarin wij met verschillende waarden van Δ en K gerekend hebben.

De verschillen tussen K en K^* zijn groot. Er zijn echter twee bezwaren tegen de berekening aan te voeren: 1° de kansen op het nat-zijn voor de na elkaar volgende Δt segmentjes werden onafhankelijk gedacht bij de opgestelde

formule en dat zijn zij zeker niet. Hierdoor worden de waarden K^* te groot; 2° Wanneer men zou eisen, dat niet tenminste één Δt -segmentje nat moet zijn om van een regenuurvak te kunnen spreken, doch bijv. tenminste 3 (en dit in verband met de praktijk; men moet immers van het pluviogram aflezen of een gegeven uurvak neerslag bevat en die neerslag moet dus meetbaar zijn), dan worden de waarden K^* kleiner. Zo gaat de K^* bij $K = 0,10$ en $\Delta t = 5$ minuten over van 0,75 in 0,14 (te berekenen met $1 - (1 - K)^{12} - 12(1 - K)^{11}K - 66(1 - K)^{10}K^2$). Dan is het verschil tussen K^* en K al lang niet zo groot meer als in tabel 88. Al met al komt het ons voor, dat men het feit, dat de methode van K ö p p e n tot een 1 à 2 keer te grote regenduur leidt (vergeleken met de uit de diagrammen¹⁾ afgelezene), ten dele kan toeschrijven aan de omstandigheid, dat men in de methode met „momentane kansen” behoort te rekenen, doch met „ Δt -kansen” werkelijk werkt. Wij menen namelijk te mogen zeggen, dat vele waarnemers het gegeven „al of niet neerslag” niet op een gegeven tijdstip (8.00h bijv.), maar onbewust op een afgelopen tijdsegmentje (en hoe lang?) betrekken.

Vatten wij samen:

1. Men mag in het feit, dat $K_3 \approx \bar{k}_{24}$ of $K_3 \approx \bar{k}_3$ (waartoe de door B r a k gemaakte opmerking te herleiden is) geen bevestiging van de juistheid van de methode van K ö p p e n zien.

¹⁾ Maar wij weten ook, via nog slechts voorlopige metingen met een „pluvioscoop” (1954), dat dikwijls de pluviograaf het begin van een regen te laat of een zeer „zachte” regen helemaal niet registreert. Hierdoor lezen wij een te kleine regenduur van de stroken af

2. Weinige onderzoekers noemen gegevens, waarmee de K-methode kan worden geverifieerd [27]. Wel noemt K ö p p e n zelf enige argumenten voor zijn methode, doch sterk zijn deze o.i. niet (wij kunnen er hier verder moeilijk op ingaan).

3. Overal leidt de K-methode tot een te grote regenduur. Vandaar, dat verschillende onderzoekers verschillende reductie-factoren bepleiten [28].

4. De K-methode lijkt ons ongetwijfeld voor een eerste oriëntatie zeer geschikt, wanneer men het risico, dat men bijv. 50 % mis is, nemen wil. Zij eist geen instrumentele waarnemingen en dat is een groot voordeel.

6.3 De „onderbrokenheid” der regens

Tenslotte delen wij nog enkele resultaten mede met betrekking tot de „onderbrokenheid” der regens. Uit de elders genoemde gegevens leidt men gemakkelijk af, dat de regens in de zomer, gemiddeld beschouwd, korter duren dan in de winter. Men is geneigd hieraan direct de conclusie te verbinden, dat het vooral de regens in de zomer zijn, die snel eindigen en weer snel beginnen, de regens dus waarbij de regenpauzes veel frequenter zijn dan in de winter. De conclusie is echter voorbarig; ze kan goed zijn, doch meer directe numerieke toelichting is nodig. Hiertoe zouden wij de beschikking moeten hebben over de lengten en liggingen der regenpauzes tussen opeenvolgende regens. Zij kunnen uit onze grondtabellen worden opgezocht. De tijd ontbrak echter voor deze omvangrijke bewerking. Wij stelden deze uit totdat alle regens geponst zijn en een en ander machinaal zeer weinig tijd eisen zal. Toch kunnen wij op een andere wijze de oplossing van het vraagstuk reeds nu benaderen. Wij berekenden daartoe de gemiddelde *regenduur per nat uurvak* en wel seizoen voor seizoen.

Aangezien de regenduren per uurvak nog alleen voor de jaren 1926–1930 bekend zijn, konden deze slechts over 5 jaren gemiddeld worden en dient er derhalve mede rekening gehouden te worden, dat zij weinig representatief zijn voor lange tijdvakken. Met nog enkele andere eveneens interessante grootheden hebben wij ze samengenomen in tabel 89. De achter de rijen B, C, E genoemde getallen zijn nauwkeuriger bekend. Men raadplege M.V. 34a, blz. 7 (B over 31 j.), blz. 19 (C over 16 j.), blz. 21 (E over 16 j., terwijl zij ons thans ook gemiddeld over de 23 jaren 1926–1948 ter beschikking staan – niet gepubliceerd –).

De dagelijkse gang is opvallend onregelmatig, natuurlijk vanwege de kortheid van de periode. Zo zullen de grote sprongen in de gemiddelde hoeveelheid neerslag per nat uurvak van het eerste naar het tweede en van het tweede naar het derde uurvak zeker niet zo groot zijn als de getallen in de zomer suggereren. In een kort tijdvak hebben enige zeer natte uurvakken relatief zeer veel invloed op het uurvakgemiddelde. Zelfs blijkt bijna niets van een jaarlijkse gang in de gemiddelde duur per nat uurvak, terwijl die in de gemiddelde hoeveelheid neerslag per nat uurinterval zeer markant en reëel is (M.V. 34a, blz. 21) en in het

TABEL 89

DE BILT; Gemiddeld

		A = gemiddelde regenduur (in minuten) in betreffend uurvak, in gehele gehele seizoen, dat betreffende uurvak tenminste 0,1 mm regen had; D =											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Le	A	225	320	347	401	408	390	393	386	271	323	318	263
	B	3,2	4,1	4,2	4,5	5,3	6,9	6,3	5,7	4,9	5,7	6,0	5,0
	C	5,4	8,6	8,4	11,6	10,4	11,4	13,8	11,0	9,0	10,0	9,6	9,4
	D = A/C	42	37	41	35	39	34	28	35	30	32	33	28
	E = B/C	0,59	0,48	0,50	0,39	0,51	0,61	0,46	0,52	0,54	0,57	0,62	0,53
Zo	A	292	275	284	342	313	398	395	412	418	414	396	356
	B	6,3	10,4	8,2	7,5	8,6	11,2	12,0	14,2	12,8	13,1	13,5	13,3
	C	7,8	6,6	9,6	10,4	10,4	12,4	10,4	9,6	10,8	11,4	11,8	11,6
	D	37	42	30	33	30	32	38	43	39	36	36	31
	E	0,81	1,58	0,85	0,72	0,83	0,90	1,15	1,48	1,18	1,15	1,14	1,15
He	A	495	494	539	563	612	574	645	515	409	454	493	468
	B	9,4	11,9	12,0	10,9	12,3	10,0	9,6	8,9	8,0	9,2	8,0	12,1
	C	12,6	15,0	13,8	17,2	16,6	16,0	20,4	14,6	12,6	14,6	14,6	13,4
	D	39	33	39	33	37	36	32	35	32	33	34	35
	E	0,75	0,79	0,87	0,63	0,74	0,62	0,47	0,61	0,63	0,68	0,55	0,90
Wi	A	440	402	464	484	479	404	398	435	293	365	414	433
	B	4,8	6,0	6,9	6,8	9,3	5,6	5,7	5,4	4,0	5,3	5,8	7,1
	C	11,6	10,6	11,8	13,2	14,6	13,2	15,0	13,2	9,2	11,2	13,4	11,0
	D	38	38	39	37	33	31	26	33	32	33	31	39
	E	0,41	0,57	0,58	0,52	0,64	0,42	0,38	0,41	0,43	0,47	0,43	0,64
Jr	A	1375	1515	1632	1684	1799	1771	1816	1794	1363	1535	1608	1605
	B	23,7	32,4	31,3	29,7	35,5	33,7	33,6	34,2	29,7	33,3	33,3	37,5
	C	37,4	40,8	4,36	52,4	52,0	53,0	59,6	48,4	41,6	46,2	49,4	45,4
	D	37	37	37	32	35	33	30	37	33	33	33	35
	E	0,63	0,79	0,72	0,57	0,68	0,64	0,56	0,71	0,71	0,72	0,67	0,83

A = mean annual duration of rain (in minutes) in a clock hour. B = mean annual rainfall per clock hour per hour with at least 0,1 mm. E = mean rainfall per hour with at least 0,1 mm

totale aantal natte uurvakken en de totale regenduur overdag zeker aanwezig is (zie onder het hoofd „dag” in tabel 89). Er is dus enige aanwijzing, dat 's zomers een bepaald uurvak weliswaar meer keren nat is dan 's winters, doch dat met dezelfde factor de totale regenduur groter is (zodat de gemiddelde regenduur per nat uurvak niet veel anders is), terwijl vanwege de grotere gemiddelde intensiteit wel de gemiddelde hoeveelheid per regenuurvak groter is dan 's winters.

Voorts wekt de uitkomst, dat het in een nat uur gemiddeld meer dan 30

over 5 jaren (1926-1930)

seizoen; B = gem. hoeveelheid regen (in mm); C = gem. aantal keren in gem. regenduur per nat uurvak; E = gem. hoeveelheid regen per nat uurvak												Dag- gem.	Som 24 uurvakken
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
251	271	201	219	244	297	329	265	256	245	244	250	297	7118
5,6	4,9	4,2	4,8	6,3	5,4	7,9	6,0	3,6	4,5	3,9	3,6	4,7	113
8,6	8,6	6,0	6,8	6,4	8,4	8,6	8,4	6,2	7,2	5,8	6,8	8,6	206
29	32	33	32	38	35	38	32	41	34	42	37	35	
0,65	0,57	0,70	0,71	0,98	0,64	0,92	0,71	0,58	0,62	0,67	0,53	0,59	
350	294	285	253	231	239	244	289	369	352	265	223	321	7691
11,2	10,9	11,2	10,3	10,1	6,2	10,2	9,2	14,2	11,5	6,4	4,6	10,3	247
11,0	10,4	9,6	9,4	7,8	8,2	7,6	9,6	10,0	9,8	7,2	6,8	9,6	230
32	28	30	27	30	29	32	30	37	36	37	33	34	
1,02	1,05	1,17	1,10	1,29	0,76	1,34	0,96	1,42	1,17	0,89	0,68	1,07	
488	539	525	499	551	533	518	436	467	535	518	470	515	12341
13,2	12,6	10,8	12,1	14,3	10,6	11,5	10,5	12,8	12,6	13,2	10,9	11,1	267
14,8	14,0	14,6	12,4	15,2	13,4	14,0	12,2	11,8	13,8	12,4	13,2	14,3	342
33	38	36	40	36	40	37	36	40	39	42	36	36	
0,89	0,90	0,74	0,98	0,94	0,79	0,82	0,86	1,08	0,91	1,06	0,83	0,78	
443	447	430	478	511	478	459	397	421	433	476	487	437	10470
7,0	4,6	6,4	7,0	7,7	7,2	6,6	6,4	7,5	5,9	6,8	6,1	6,3	152
10,6	12,4	11,6	12,4	11,8	12,4	14,4	10,6	12,6	12,2	12,6	12,2	12,2	294
42	36	37	39	43	38	32	37	33	36	38	40	36	
0,66	0,37	0,55	0,56	0,65	0,58	0,46	0,60	0,60	0,48	0,54	0,50	0,52	
1539	1603	1455	1502	1491	1536	1539	1390	1450	1555	1581	1481	1567	37619
37,0	33,0	32,6	34,2	38,4	29,4	36,2	32,1	38,1	34,5	30,3	25,2	32,9	789
45,0	45,4	41,8	41,0	41,2	42,4	44,6	40,8	40,6	43,0	38,0	30,0	44,8	1073
35	35	35	37	36	36	34	34	36	36	42	38	35	
0,82	0,73	0,78	0,83	0,93	0,69	0,81	0,79	0,94	0,80	0,80	0,65	0,74	

(mm). C = mean annual number of clock hours containing at least 0,1 mm. D = mean duration of rain

minuten regent, misschien enige verbazing. Men denkt dikwijls aan kleinere bedragen. Het bovenstaande schijnt dus in strijd te zijn met wat meestal gedacht wordt. Men zou namelijk in de zomer kleinere D-waarden dan 's winters verwacht hebben, hetgeen uitgelegd zou mogen worden als zouden de zomerregens meer onderbroken zijn dan die in de winter. Wij moeten echter ons definitief oordeel opschorten tot er meer materiaal is en een betere statistische aanpak mogelijk wordt.

HOOFDSTUK 7

DE REGENHOEEVELHEDEN

Wij geven in tabel 90 een overzicht van de totale hoeveelheid neerslag (in mm) in alle regens (ongeacht de aard ervan), hevige-, zware-, stort- en zeer zware regens (onder het hoofd A). Voorts, onder B, de totale aantallen, zodat door deling ($C = A : B$) de gemiddelde hoeveelheid neerslag per regen (in mm) gevonden wordt.

TABEL 90

DE BILT 1926-1948

Totale hoeveelheid neerslag in mm (A), totale aantal regens (B), per seizoen, voor enige typen regens; C = gemiddelde hoeveelheid neerslag per regen

	Le			Zo			He			Wi			Jr		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Alle r.	2860	1612	1,8	4859	2227	2,2	4785	2601	1,8	3226	1895	1,7	15730	8335	1,9
Hevige r.	342	99	3,5	1558	426	3,7	551	233	2,4	46	26	1,8	2497	784	3,2
Zware r.	378	98	3,9	1673	420	4,0	716	233	3,1	48	25	1,9	2815	776	3,6
Stortr.	220	20	11,0	1175	119	9,9	430	59	7,3	15	3	5,0	1839	201	9,3
Zeër zw. r.	42	4	10,8	234	24	9,8	19	3	6,3				295	31	9,5

A = total amount of precipitation in mm; B = total number of rains; C = A : B = mean rainfall per rain. From top to bottom: for all rains of every type, very intense rains, heavy rains, downpours and very heavy rains

Zie verder ook tabel 91.

TABEL 91

DE BILT 1926-1948

Gemiddelde hoeveelheid neerslag (in mm) per regen

	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Le	Zo	He	Wi	Jr
Alle r.	1,7	1,4	1,7	1,6	2,1	2,1	2,2	2,2	2,0	1,8	1,7	1,5	1,8	2,2	1,8	1,7	1,9
Hevige r.	1,2	2,0	1,9	3,0	4,4	4,0	3,5	3,6	3,2	1,1	2,4	2,1	3,5	3,7	2,4	1,8	3,2
Zware r.	1,2	2,2	1,9	2,7	5,6	4,4	3,9	3,8	3,6	2,5	2,4	2,4	3,9	4,0	3,1	1,9	3,6
Stortr.	—	5,1	5,5	6,5	14,1	10,1	9,4	10,3	8,0	5,8	7,7	4,9	11,0	9,9	7,3	5,0	9,2
Zeër zw. r.	—	—	—	—	10,6	10,4	8,0	10,3	5,3	8,4	—	—	10,8	9,8	6,3	—	9,5

Mean rainfall per rain; from top to bottom for rains of every type, for very intense rains, for heavy rains, downpours and very heavy rains

Wij berekenden voor elk seizoen welk percentage van de totale hoeveelheid neerslag voor rekening komt van elk der bijzondere types regens (zie fig. 28). Duidelijk komt uit hoe vooral 's zomers meer dan 1/3 van alle neerslag in zware regens valt, terwijl dit 's winters voor rond 97 % in de vorm van „gewone”, d.z. noch zware, noch zeer zware regens, het geval is. Opvallend klein is het aandeel aan zeer zware regens.

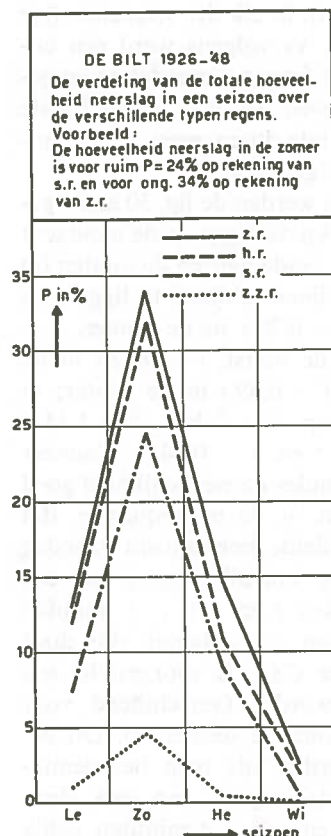


FIG. 28. This diagram shows the proportion of the mean total amount of precipitation falling in different types of rain. E.g. in summer about 24 % results from down-pours and 34 % from heavy rains. In winter 1 % and $2\frac{1}{2}$ % respectively

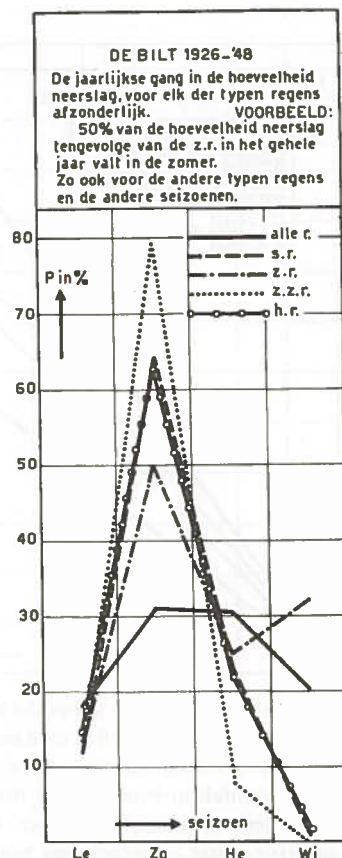


FIG. 29. Annual variation in the mean total rainfall, for each of the types of rain separately. For instance: for heavy rains $P = 50\%$ of the mean total annual quantity falls in summer; 25 % in autumn

Wij berekenden vervolgens voor elk der typen regens de jaarlijks gang in de door hen geleverde hoeveelheid neerslag (zie fig. 29). Zo valt van alle neerslag ten gevolge van zware regens ongeveer 50 % in de zomer; voor zeer zware regens is dit 80 %. Hoe intenser de regen hoe sterker de jaarlijkse gang; natuurlijk is dit louter een gevolg van het feit, dat de meer intense regens vaker 's zomers dan 's winters vallen.

Tevens berekenden wij de gemiddelde hoeveelheid neerslag tengevolge van regens (onverschillig het type) van verschillende duren (in groepjes van

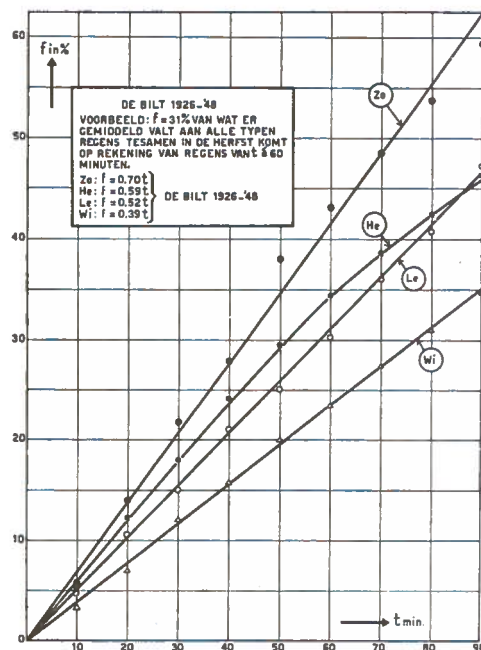


FIG. 30. This diagram shows the proportions of the mean total rainfall in each season falling in rains of various durations. E.g.: $f = 23\%$ of the rainfall in winter result from rains of 60 or less minutes; in summer 42 %. It is surprising that corresponding points can be found on a straight line. The linear relations may be represented by the formulas: summer $f = 0,70 t$; autumn: $f = 0,59 t$; spring: $f = 0,52 t$ and winter $f = 0,39 t$

5 minuten), in elk der seizoenen (zie tabel 92). Vervolgens werd een cumulatieve frequentieverdeling opgesteld. Boven $1\frac{1}{2}$ uur is tussen de verschillende duren geen verder onderscheid gemaakt.

Daarna werden de fig. 30 en 31 getekend. Wij vestigen er de aandacht op hoe in beide figuren de punten op 4 rechte lijnen schijnen te liggen. In fig. 30 $f = 0,70 t$ in de zomer, $f = 0,59 t$ in de herfst, $f = 0,52 t$ in de lente en $f = 0,39 t$ in de winter; in fig. 31 resp. $\bar{h} = 1,46 t$, $\bar{h} = 1,14 t$, $\bar{h} = 0,66 t$ en $\bar{h} = 0,54 t$. Wanneer deze formules de werkelijkheid goed weergeven, is de consequentie, dat de gemiddelde hoeveelheid neerslag tengevolge van alle regens met een duur tussen t en $t + \Delta t$ minuten slechts van Δt afhangt, dus door de functie $C(\Delta t)$ voorgesteld zou kunnen worden (verschillend voor de verschillende seizoenen). Dit betekent verder: als men het gemiddeld aantal regens van een duur tussen t en $t + \Delta t$ minuten gelijk A (een functie van t en Δt) stelt en de gemiddelde hoeveelheid neerslag per regen van een duur tussen

TABEL 92

DE BILT

De gemiddelde hoeveelheid neerslag (mm) in een seizoen

$t =$	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50
Le	1,8	4,2	3,1	4,1	2,6	4,0	4,4	3,2	2,6	2,2
Zo	5,2	7,0	8,3	8,8	7,6	8,9	7,8	5,3	10,1	10,8
He	3,9	7,0	6,7	7,8	5,9	5,7	7,3	5,4	6,4	5,2
Wi	1,6	2,9	2,6	2,6	4,6	2,6	3,0	2,4	3,0	2,8
Jr	12,4	21,2	20,7	23,4	20,6	21,2	22,5	16,3	22,2	21,0

Mean annual rainfall (mm) caused by rains of t minutes (rains of every type). It should be noted

t en $t + \Delta t$ minuten door $\bar{r}$, een andere functie van t en Δt , voorstelt, dan zou $A \cdot \bar{r} = C$ zijn, met een C , die alleen van Δt een functie is. Indien het eenvoudig is om $\bar{r}$ empirisch te bepalen (bijv. van de vorm $at + b$ of $a\sqrt{t} + b$, waarin a en b alleen met Δt samenhangen), zou, als ook C bekend is, A indirect te berekenen zijn. Dit hebben wij niet gedaan. Het leek ons beter zowel de vorm van A als $\bar{r}$ meer direct empirisch te benaderen. Helaas is het materiaal te klein voor een betrouwbare toetsing van $A \cdot \bar{r} = \text{constant}$.

In fig. 27 zijn krommen getekend, die per seizoen het percentage regens van hoogstens t minuten weergeven. Alle krommen hebben de 100 %-horizontale rechte als asymptoot. Wij lezen af, dat 's zomers de helft aller regens langer dan 25 minuten duurt, 's winters daarentegen langer dan 48 minuten. In doorsnede genomen zijn er 72 % regens van meer dan $1\frac{1}{2}$ uur lengte; 's zomers echter 85 %, 's winters 66 %.

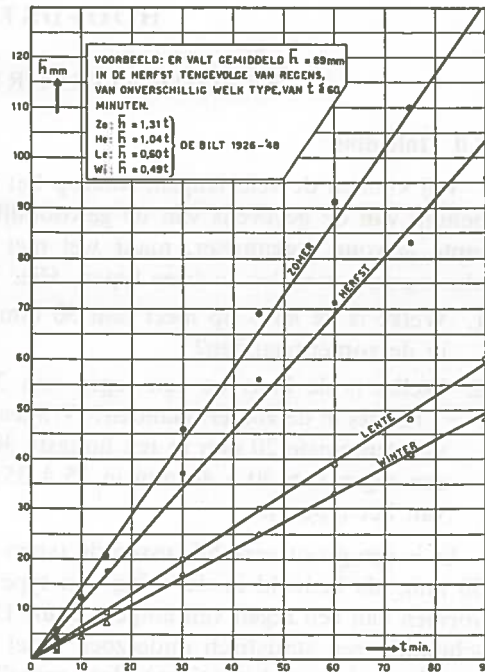


FIG. 31. This diagram gives the mean amount h of rainfall in each season resulting from rains (of every type) of t or less minutes. E.g.: $h = 69$ mm in autumn, produced by rains of $t \leq 60$ min. The straight lines are: summer: $h = 1,46 t$; autumn $h = 1,14 t$; spring $h = 0,66 t$ and winter $h = 0,54 t$. Legend inside figure requires numerical correction

1926-1948

t.g.v. regens van t minuten van onverschillig welk type

51-55	56-60	61-65	66-70	71-75	76-80	81-85	86-90	1-90	≥ 91	Totaal
2,4	4,2	2,6	4,8	1,9	4,1	3,0	5,0	60	65	126
5,1	6,0	5,2	6,4	7,2	3,8	4,5	7,4	125	86	211
4,2	5,7	4,0	5,2	3,0	5,2	5,3	2,2	96	112	208
2,0	3,1	2,8	2,9	2,0	2,9	1,5	3,5	49	92	140
13,8	19,1	14,7	19,2	14,1	15,9	14,3	18,2	331	355	685

that in each row the figures are nearly constant

HOOFDSTUK 8

FREQUENTIEBEREKENINGEN

8.0 Inleiding

Wij kunnen de vele vragen, waarop het niet mogelijk is te antwoorden met behulp van de gegevens van de gewoonlijk slechts één keer per etmaal afgetapte gewone regenmeter, maar wel met behulp van de registraties van de pluviograaf, verdelen in twee typen. Hier volgt van elk een voorbeeld:

1. Welke is de kans op meer dan 30 mm neerslag in een half uur, 's nachts in de zomermaanden?
2. Welke is de kans op een regen van 30 minuten met meer dan 40 mm, 's nachts in de zomermaanden? [Vragen als: „welke kans is er op een regen van tenminste 20 mm in ten hoogste 30 minuten” of „welke kans is er op een regen van 30 à 40 mm in 25 à 35 minuten” zijn natuurlijk varianten van het type 2].

Er is een groot verschil tussen de typen 1 en 2. Een half uur met meer dan 30 mm, als bedoeld in de vraag van type 1, zal gewoonlijk een (intens) deel vormen van een regen van langere duur. Het is best mogelijk, zelfs zeer waarschijnlijk (een statistisch onderzoek moet ons vermoeden, dat op incidentele ervaringen berust, bevestigen), dat „grote” hoeveelheden neerslag in enig half uur groter zijn dan „grote” hoeveelheden in een regen van precies een half uur lengte.

Wij moeten, om ieder misverstand te voorkomen, reeds nu met nadruk mededelen, dat ons onderzoek, dat zich immers tot volledige regens (en speciale gedeelten) beperkt, op vragen van type 1 geen antwoord kan geven. Wel is het onze bedoeling ook in deze richting een studie te maken, doch eerst nadat alle regenstroken in ponskaarten gebracht zijn.

Omdat B r a k's tabel No. 33 in M.V. 34a gegevens bevat, die, voor een gedeelte althans, een antwoord geven op vragen van type 1, maken wij in paragraaf 4 enige op- en aanmerkingen naar aanleiding van zijn werkmethode.

Men kan op verschillende wijzen tabellen en grafieken opstellen, met behulp waarvan op vragen van type 2 te antwoorden is. Wij behandelen er een drietal van. Zij worden in afzonderlijke paragrafen ondergebracht, maar men leide hieruit niet af, dat ze van elkander onafhankelijk zijn. Voorts zal de lezer bemerken, dat de drie methoden niet altijd (meestal niet) tot gelijke antwoorden op een zelfde vraag leiden. Dit is onvermijdelijk bij een schaars materiaal als dat van slechts 23 jaren. Men ontmoet in de literatuur dikwijls enige verbazing over het feit, dat tabellen en grafieken, die hetzelfde beogen te geven, doch langs verschillende wegen tot stand gekomen zijn, geen gelijklopende antwoorden op eenzelfde vraag geven. Dan laat men zich snel verleiden tot ongeoorloofde

TABEL 93

DE BILT 1926-1948

j-tabel

Een regen van h à $h + 0,4$ mm in t à $t + 4$ minuten kwam voor 1 keer in gem. j jaren (seizoeneffect niet beschouwd)
 Regens van alle typen

h t	0,1	0,6	1,1	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,6	9,1	9,6	10,1	10,6	11,1	11,6	12,1
1	0,04	0,4	0,9	1,4	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	4,9	5,4	5,9	6,4	6,9	7,4	7,9	8,4	8,9	9,4	9,9	10,4	10,9	11,4	11,9
6	0,03	0,2	0,6	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,4
11	0,05	0,1	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0
16	0,06	0,1	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8
21	0,09	0,1	0,4	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1
26	0,1	0,2	0,4	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1
31	0,2	0,2	0,4	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6	6,9	7,2
36	0,2	0,3	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3
41	0,2	0,3	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3
46	0,4	0,3	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3
51	0,5	0,5	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3
56	0,5	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1
61	1	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4
66	2	0,6	0,7	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4
71	1	0,5	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6	6,9	7,2	7,5
76	2	0,7	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4	7,7
81	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
86	12	0,8	0,7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
91	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
96	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
101	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
106	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
111	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
116	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

j-table. A rain of h up to $h + 0,4$ mm and t up to $t + 4$ minutes occurred once in j years (without considering annual variation). Rains of every type

conclusies. Bovendien is er nog de kwestie der betrouwbaarheidsmarges rondom getallen en curven. Het ware te wensen, dat iedere onderzoeker een indicatie gaf betreffende de betrouwbaarheid van zijn gegevens. Een uitkomst „1 op 10 jaren” betekent wellicht op basis van het waarnemingsmateriaal van 30 jaren eigenlijk „1 op 6 à 15 jaren”, doch in een ander onderzoek, gebaseerd op 100 jaren, misschien „1 op 9 à 11 jaren”. Wij hebben ook aan deze aangelegenheid aandacht besteed, maar willen er niet dieper op ingaan omdat voor een goed begrip een statistische toelichting te veel ruimte eisen zou.

8.1 Eerste methode

Voor de eerste methode verwijzen wij naar 4.1.2, waar wij het ruimtelijke model behandelden. Men kan er lezen welke tabel eraan ten grondslag ligt. Met deze tabel nu (bevattende de aantallen regens bij een indeling in $\frac{1}{2}$ mm en 5 minuten) hebben wij een nieuwe gemaakt (de „ j -tabel”), aangevende in gemiddeld hoeveel (j) jaren een regen van h mm en t minuten voorkwam ($h = 0,1$ à $0,5$; $0,6$ à $1,0$ en $t = 1$ à 5 ; 6 à 10 ; minuten), zie tabel 93. Hoewel de j -getallen¹⁾ „rommelig” liggen, is de tendens, dat zij van links boven in alle richtingen toenemen naar oneindig (een regen wordt immers zeldzamer naarmate men zijn hoeveelheid en zijn duur groter eist) duidelijk; natuurlijk leidt een één keer voorgekomen regen tot $j = 23$, een twee keren opgetreden regen tot $j = 23 : 2 = 11,5$ (in tabel 12), enz.

Wij hebben getracht enkele isokrommen van gegeven j te trekken, bijv. die van $j = 1, 5$ en 10 . Men ziet hoe moeilijk dit is. Met wat fantasie gelukt het enigszins en natuurlijk het best voor kleine j . Hoe de kromme $j = 23$ ligt is niet te zeggen. Extrapolatie naar j -waarden boven 23 is met deze methode ondoenlijk. Bij methode 2 is ze wel mogelijk, maar daarom nog niet ongevaarlijk. Men lette op de lussen in de isocurven en herleze blz. 37. In fig. 6 kan men zien hoe een vlak $f = \text{constant}$ (bijv. $j = 5$) het f -oppervlak volgens een kromme snijdt, waarvan de loodrechte projectie op het h - t -vlak in tabel 93 getekend is.

8.2 Tweede methode

De regens van een 14-tal groepen van duren (1-5; 6-10; 11-16 66-70 minuten) werden naar de hoeveelheden in volgorde van grootte gerangschikt. De grootste 23 hoeveelheden zijn in tabel 94 opgenomen. Wij hebben ons beperkt tot de grootste 23 (wij hadden ook de grootste 30, 40 stuks kunnen beschouwen) en tot duren van ten hoogste 70 minuten om redenen, die later duidelijk worden. In een diagram met verticale h -as (h in mm) en horizontale t -as (t in minuten) zou men recht boven het midden van elk duur-

¹⁾ Afgerond op helen 23, 22, 21 1; tienden 0,9, 0,8 0,1 en honderdsten 0,09, 0,08 0,01

TABEL 94

DE BILT 1926-1948

Toelichting: Voor alle (volledige) regens met een duur 1-5 minuten zijn de grootste 23 hoeveelheden neerslag (mm) genoteerd; idem voor een duur 6-10, 11-15 minuten. Derhalve de grootste 23 hoeveelheden (verschillend meervoudig)

$t = 1-5$	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70
3,5	5,6	8,2	8,3	7,0	12,4	16,7	15,2	13,7	27,2	7,4	14,2	11,3	23,3
2,4	5,1	5,6	7,9	6,9	8,7	16,3	10,7	12,4	19,8	6,0	6,2	10,5	8,6
2,4	3,5	5,6	6,1	6,2	8,2	10,9	8,8	12,3	19,3	5,9	6,2	8,3	8,2
2,1	3,5	5,6	5,5	5,7	8,1	9,2	7,8	11,8	19,0	5,4	5,7	8,0	7,6
2,0	2,8	5,2	5,5	5,7	7,3	8,7	6,3	8,9	18,6	4,7	5,6	7,2	7,6
2,0	2,7	4,9	5,3	5,2	6,0	7,3	5,7	7,3	11,7	4,4	5,3	6,9	7,6
1,9	2,7	4,6	5,0	4,7	5,8	6,9	5,5	6,8	7,6	4,1	4,9	4,9	7,0
1,8	2,6	4,5	4,6	4,6	5,1	6,4	5,0	6,1	7,0	4,1	4,5	4,7	6,8
1,8	2,6	3,9	4,6	4,3	5,0	6,2	4,9	6,0	6,9	4,0	4,5	4,5	6,5
1,7	2,6	3,6	4,6	4,1	5,0	6,1	4,7	5,6	5,9	3,9	4,2	4,5	5,9
1,7	2,4	3,4	4,3	4,1	4,9	5,7	4,6	5,6	5,9	3,9	4,1	4,1	5,5
1,6	2,3	3,3	4,3	3,8	4,8	5,4	4,3	5,5	5,5	3,7	4,0	4,1	5,4
1,6	2,3	3,3	4,1	3,8	4,7	5,1	4,2	5,5	5,4	3,7	4,0	4,0	5,3
1,6	2,3	3,2	4,0	3,8	4,6	5,1	4,0	5,3	5,1	3,4	4,0	4,0	5,2
1,5	2,2	3,1	3,9	3,2	4,6	5,1	3,9	5,3	5,0	3,2	3,7	3,8	5,0
1,5	2,1	3,0	3,9	3,0	4,6	4,8	3,9	5,1	4,7	3,2	3,7	3,7	4,9
1,4	2,0	3,0	3,9	2,9	4,3	4,5	3,8	5,1	4,5	3,1	3,7	3,6	4,8
1,3	2,0	3,0	3,7	2,9	3,9	4,3	3,7	5,0	4,4	3,1	3,6	3,4	4,8
1,3	1,9	2,7	3,3	2,8	3,2	4,1	3,3	4,9	4,4	3,0	3,6	3,3	4,5
1,3	1,8	2,7	3,0	2,7	3,1	4,0	3,3	4,8	4,3	2,9	3,5	3,3	3,6
1,3	1,8	2,7	3,0	2,7	3,1	3,9	3,3	4,7	4,1	2,8	3,4	3,2	3,5
1,3	1,8	2,6	2,9	2,6	3,0	3,8	3,2	4,4	3,9	2,8	3,3	3,1	3,4
1,2	1,8	2,6	2,9	2,6	2,9	3,7	3,2	4,3	3,8	2,7	3,3	3,0	3,3

The largest 23 rainfalls in rains of t minutes

interval alle hoeveelheden, voorgekomen in regens van deze duren, als punten kunnen uitzetten. Er ontstaat dan een puntenwolk, die zich verdunt naar boven en naar rechts en vooral bij kleine hoeveelheden en duren zeer dicht is [29]. Het is niet nodig met deze ganse wolk te werken; de bovenste 23 punten zijn voldoende, omdat reeds de gegevens bij de frequentie „1 keer in gemiddeld 23 jaren” zeer onzeker zullen zijn (de waarnemingsperiode telt 23 jaren). Vervolgens wordt geprobeerd een glad verlopende kromme te trekken, die bijv. $a = 4$ punten op of boven zich laat in ieder duurinterval. Natuurlijk lukt dit niet exact; de punten spreiden te veel. Aangezien de ware kromme monotoon moet stijgen met toenemende t , zal het aantal punten op en boven de kromme in elk interval niet precies 4 zijn, maar gemiddeld bijv. 4,6. De kromme heet

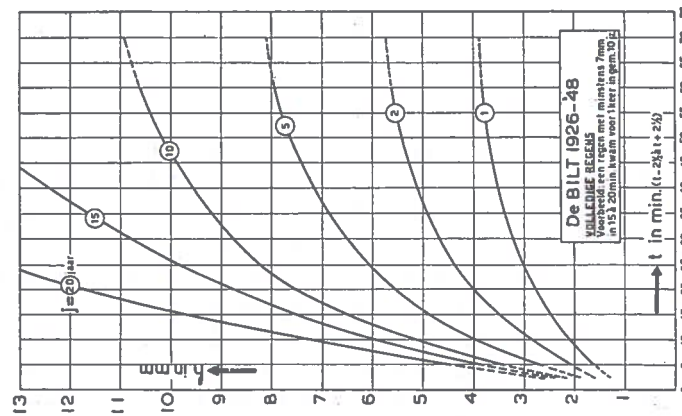


FIG. 32. Frequency (once in j years) of rains of $t - 2\frac{1}{2}$ up to $t + 2\frac{1}{2}$ minutes and h or more mm. E.g.: a rain of $h = 7$ or more mm and a total duration of $t = 15-20$ min occurs once in $j = 10$ years; consequently $h = h(t)$, with j as parameter

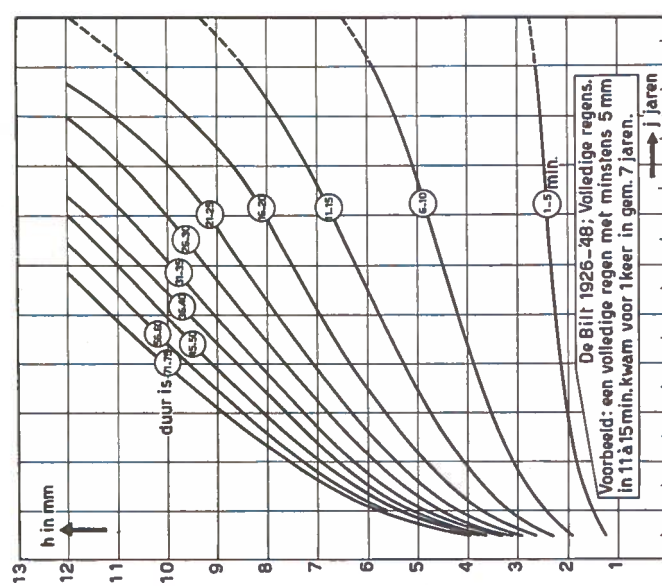
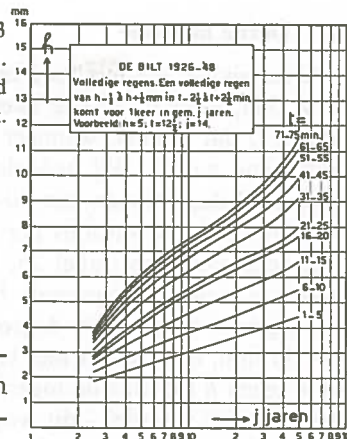


FIG. 33. The same as in fig. 32; now $h = h(j)$, with t as parameter. E.g. a rain with 5 or more mm and a duration of 11-15 min occurs once in 7 years

FIG. 34. The frequency distributions in fig. 32 and 33 are cumulative. In fig. 34 a differential one is given. Explanation: a rain of $h - \frac{1}{2}$ up to $h + \frac{1}{2}$ mm and $t - 2\frac{1}{2}$ up to $t + 2\frac{1}{2}$ min occurs once in j years; e.g. $h = 5$; $t = 12\frac{1}{2}$; $j = 14$



dan 4,6 keren op 23 jaren ofwel „1 keer in gemiddeld 5 jaren”. Zo kan men ook krommen trekken met $a = 2, 6, 8, 10 \dots 23$. Na interpolatie ontstaan er dan curven van „1 keer in gem. j ” met $j = 1, 2, 5, 10, 15, 20$ (of andere „mooie” gehele waarden). Aan gezien 1 de kleinste waarde van a is, wordt j ten hoogste 23. Daar meestal voor regens met een frequentie groter dan 1 op 1 jaar weinig belangstelling is, was het niet nodig in de grafiek veel meer dan 23 punten boven elk interval te tekenen. Verder is het totale aantal regens van 66 à 70 minuten (164 stuks) zo klein, dat wij de hoogst gelegen 23 punten weinig representatief zouden willen noemen voor de „ware” grootste 23 hoeveelheden. Wij zijn wel gegaan tot 4 uren, doch de puntenwolk werd zo grillig, dat er niets meer mee te beginnen was. Zo ontstond dus fig. 32. Met behulp daarvan maakten wij fig. 33. Hierin kozen wij niet de j , maar de t als parameter. Door „gladstrijken”, „fatsoeneren”, enz. zullen de uit fig. 32 en 33 voortvloeiende resultaten niet in volkomen overeenstemming zijn. Dit behoeft geen bezwaar te zijn. Het gaat ons niet om exacte uitkomsten. Wij hebben er dan ook eveneens vanaf gezien naar een analytisch verband $j = \Phi(h, t)$ te zoeken. Tenslotte nog enkele opmerkingen over de fig. 34. De krommen in deze figuur werden punt voor punt berekend met behulp van die in fig. 33. Voorbeeld: een regen van 31 à 35 minuten, met 8,0 mm of meer, kwam 1 keer in gem. 7,6 jaren voor; een met 9,0 mm of meer: 1 keer in gem. 10,0 jaren. Derhalve is de frequentie van een regen van 31 à 35 minuten met 8 à 9 mm $1/7,6 - 1/10,0 = 0,032$ keren per jaar, ofwel $j = 31$. Het gebogen zijn van de krommen $j = \text{constant}$ betekent, dat de regens met bijv. $j = 2$ lang niet dezelfde gemiddelde intensiteit ($\bar{i} = h : t$) hebben. De kortdurende regens hebben een grotere intensiteit (als $h \geq 10$, is $\bar{i} \geq 0,29$ mm/min; zware regens) dan de lang durende ($h \geq 60$; $\bar{i} \geq 0,09$ mm/min). Anders gezegd: de regens met een flinke gemiddelde intensiteit (bijv. van 0,20 mm/min of meer) hebben lang niet alle dezelfde frequentie. Zij zijn zeldzamer bij grotere duren. Deze omstandigheid wordt vaak over het hoofd gezien. De frequentie van een regen wordt niet alleen door zijn intensiteit bepaald, doch ook door zijn duur.

8.3 Derde methode

Alvorens de 3de methode te bespreken willen wij verwijzen naar blz. 35 in M.V. 34a, waar de laatste twee getallen in regel 7 v.o. verkregen zijn via een „trucje”, dat slechts, wanneer men de tekst van B r a a k zeer kritisch leest, onderkend wordt. Wij bedoelen het volgende. Allereerst berekende B r a a k het aantal dagsommen van 20–29 mm; 30–39 mm; 71–80 mm en 81 of meer mm per 100 stations per 65 jaren (ofwel per 1 station per 6500 jaren)¹⁾. Met deze aantallen (tabel 25, M.V. 34a) is het gemakkelijk een nieuwe tabel samen te stellen, aangevende het gemiddeld aantal keren n per 50 jaren, dat een gegeven station een dagsom heeft van tenminste $h = 20$ mm, tenminste $h = 30$ mm, enz. tot en met tenminste $h = 80$ mm. B r a a k zette vervolgens $\log n$ tegen h uit (dus de logarithme van de overschrijdingsfrequentie tegen de overschreden waarde) – dit wordt in M.V. 34a niet nadrukkelijk vermeld – en merkte daarna op, dat de 7 punten vrijwel lineair lagen, zodat een rechtlijnige extrapolatie tot boven $h = 90$ en zelfs 100 mm geoorloofd schijnt. Het is deze, ons zeer welkome „merkwaardigheid”, die ons op de gedachte bracht ook bij

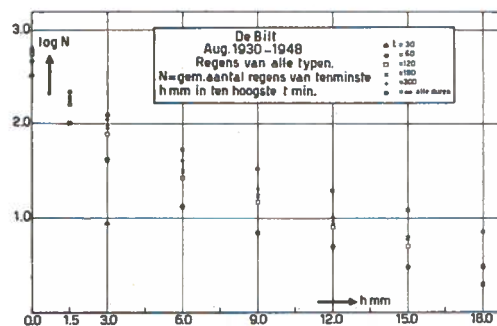


FIG. 35. N is the mean number of rains, in August, of h or more mm and a total duration of t or less minutes. Six sets of points, were drawn viz. for $t = 30; 60; 120; 180; 300$ minutes and finally for all durations. It turned out that in each set the points lie nearly linear, particularly when $h > 1,5$

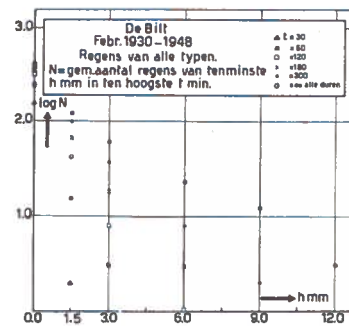


FIG. 36. N is the mean number of rains, in February, of h or more mm and t or less minutes. Six sets of points were drawn, as in fig. 35. The same conclusion holds good

¹⁾ Hier wordt de volgende stelling gebruikt: „ A dagsommen van meer dan d mm op S stations, waarvan de waarnemingsperioden tezamen J jaren uitmaken, zijn equivalent met 1 dagsom van meer dan d mm per één station in gemiddeld $j = S \cdot J : A$ jaren”. B r a a k past de stelling (zonder op haar waarde te wijzen) herhaaldelijk toe in M.V. 34a, ook waar het de berekening van de frequentie van regens betreft, waaraan wij nog even aandacht willen besteden in paragraaf 4. Wij hebben deze methode, wel bekend onder de naam „de stationsjarenmethode” [31], kritisch bekeken (K.N.M.I. Rapport R III – 116 – 1953)

de regens aldus te handelen. Tegelijk wilden wij haar begrijpen; daartoe hebben wij haar kritisch onder de loupe genomen. In een K.N.M.I.-rapport [30] tonen wij aan, dat zij min of meer de consequentie is van de Theorie der Extreme Waarden.

Wij telden uit, voor alle 19 maanden Augustus tezamen (1930–1948), het totale aantal N regens van een duur van hoogstens 30 minuten met tenminste h mm en kozen voor h resp. 0; 1,5; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0; 15,0 en 18,0. Dit deden wij ook voor $t \leq 60$; $t \leq 120$; $t \leq 180$; $t \leq 300$ minuten en tenslotte voor regens van onverschillig welke duur.

Deze 5 gevallen brachten wij in grafiek. Er komen stelsels punten $\log N$ tegen h , met t als parameter. Ditzelfde deden wij ook voor alle 19 Februari-maanden tezamen en in de derde plaats voor alle 19 volledige jaren (zie fig. 35, 36, 37). De indruk is, dat in elk der gevallen de punten behoorlijk lineair liggen, voor h -waarden boven bijv. 3,0 mm. Het lijkt er dus wel op, alsof wij met een situatie te doen hebben analoog aan die B r a k vond. Ook bij hem is het verband tussen de logarithme van de overschrijdingsfrequentie en de overschreden waarde lineair slechts, althans in goede benadering en voorzover wij er mee tevreden willen zijn, voor een voldoende hoog gelegen drempel.

De volgende stap was de stelsels punten inderdaad door de beste rechten te vervangen en met deze verder te werken. Daarna maakten wij met behulp van deze rechten de frequentiekrommen, weergegeven in fig. 38. Wij laten alle curven beginnen bij $t = 30$ minuten. Natuurlijk betekent het feit, dat wij de schaal beginnen bij $N = 0,01$ (d.i. 1 keer per gemiddeld 100 jaren), niet, dat wij veel waarde hechten aan de hoeveelheid en de duur van regens van zulke kleine frequenties, bedenkende, dat de ganse basisperiode slechts 23 jaren lang is. Het stelsel frequentiekrommen geeft het verband tussen h , t en f weer in een vorm, welke wij niet veel ontmoetten.

Het is wenselijk de juiste interpretatie in het oog te houden. Wij lezen af bijv., dat een regen van tenminste 18 mm in ten hoogste 1000 minuten 1 keer in gemiddeld 1 jaar valt. Dezelfde frequentie heeft een regen van tenminste 15 mm in ten hoogste 360 minuten of een regen van ten minste 12 mm in ten hoogste 48 minuten. Het is niet moeilijk om via deze curven een antwoord te geven op vragen van de vorm „in gemiddeld hoeveel jaren komt een regen van

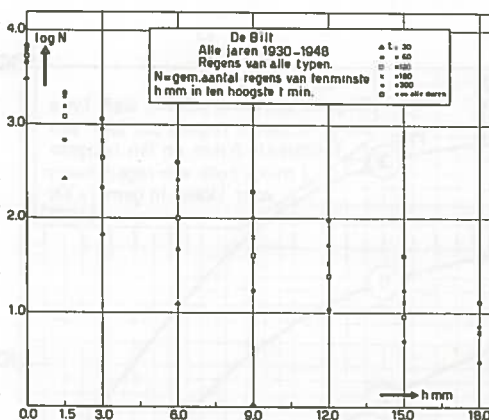


FIG. 37. N is the mean annual number of rains of h or more mm and t or less min. Six sets of points were drawn, as in fig. 35. The same conclusion holds good

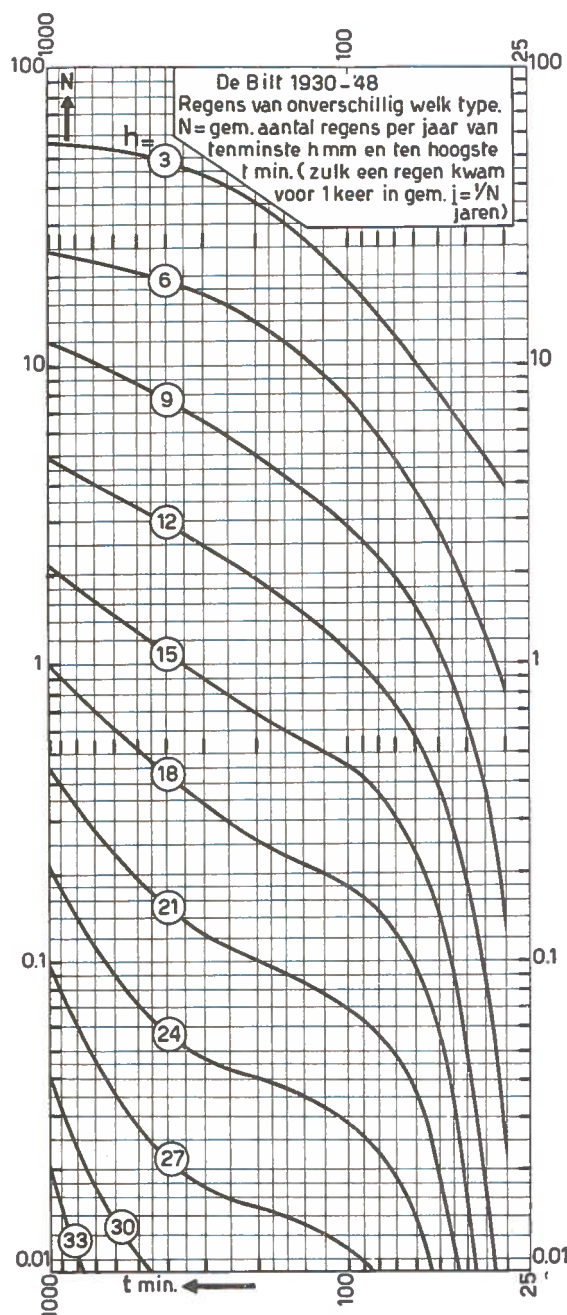


FIG. 38. This diagram is based on the conclusion resulting from fig. 37. A curve with parameter h gives the mean annual rains (of every type) of h or more mm as a function of the duration t min or less. The frequency is once in $j = 1/N$ years. E.g.: a rain lasting $t = 1\frac{1}{2}$ hours or less and producing $h = 9$ or more mm occurs once in $j = 1 : N = 1 : 2,5 = 0,4$ years (2,5 times in a year)

10 à 12 mm in 55 à 60 minuten voor?" De berekening geschiedt langs de volgende omweg. Een regen van tenminste 12 (9) mm (af te lezen van fig. 38) in ten hoogste 55 minuten komt gemiddeld 0,48 (1,3) keren per jaar voor; een regen van tenminste 12 (9) mm in ten hoogste 60 minuten gem. 0,57 (1,5) keren per jaar; dus een regen van tenminste 12 (9) mm in 55 à 60 minuten gem. $0,57 - 0,48 = 0,09$ ($1,5 - 1,3 = 0,2$) keren per jaar. Interpolerende vindt men een regen van ten minste 10 mm in 55 à 60 minuten gem. 0,16 keren per jaar en tenslotte een regen van 10 à 12 mm in 55 à 60 minuten gem. $0,16 - 0,09 = 0,07$ keren per jaar, dat is 1 keer in gemiddeld 14 jaren.

Wij willen nog met grote nadruk de volgende opmerking maken: de ganse werkmethode heeft iets zeer onbevredigends, nl., dat wij het lineaire verband tussen $\log N$ en h niet kunnen verifiëren op louter fysieke gronden. Men kan afleiden (wij doen het hier niet) van welke

vorm de frequentieverdeling $f = f(h, t)$ moet zijn opdat genoemd lineair verband exact geldt. Het is echter moeilijk (op basis van de schaarse gegevens volstrekt onmogelijk) te bewijzen, dat het tweedimensionale universum der regens zulk een zeer bijzondere frequentieverdeling kan hebben. Het lijkt ons geoorloofd te doen alsof de bedoelde relatie inderdaad lineair is en te wachten op meer gegevens, die ons in staat zullen stellen dit te bevestigen of te verwerpen. Natuurlijk is het onverstandig te extrapoleren tot „1 op gemiddeld j jaren”, met j bijv. groter dan 50, als het ganse materiaal op slechts 23 jaren betrekking heeft.

8.4 Krommen van Braak (M.V. 34a)

Tenslotte willen wij nog enig commentaar [32] geven bij de tabel 33 in M.V. 34a, bij welke tabel wij 2 grafische voorstellingen 39 en 40 gemaakt hebben.

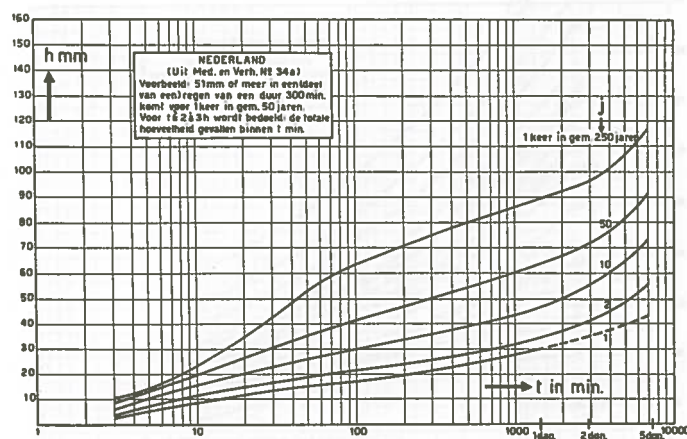


FIG. 39. These curves have been drawn with the aid of the data mentioned in table 33 of the M.V. K.N.M.I. No 34a; 1933. These data result from rainfall measurements with a couple selfrecording raingauges and many ordinary raingauges in the country. The meaning of the curves can be well illustrated by an example: a rain with a part of $t = 300$ min and $h = 51$ mm or more occurs once in $j = 50$ years. Consequently $h = h(t)$, with j as parameter

Onze ervaring is, dat sommigen de gegevens verkeerd interpreteren. Wanneer men B r a a k's § 18a nauwkeurig naleest, zal het duidelijk worden, dat voor bijv. duren beneden 60 minuten (dus in het linker deel van fig. 39) de volgende interpretatie geldt. Als het punt $h = 23$, $t = 30$ op de curve $j = 10$ ligt, betekent dit: een regen, waarvan het meest intense 30-minuten-gedeelte 23 of meer mm bevat kwam 1 keer in gemiddeld 10 jaren voor. Hier wordt dus niet een *volledige* regen bedoeld! In het middenstuk van fig. 39 worden òf gedeelten van regens

of gehele regens bedoeld en is de interpretatie iets anders (men leze de tekst blz. 38 boven). Voorbeeld: het punt $h = 51$ en $t = 300$ ligt op de kromme $j = 50$. Bedoeld wordt nu: een regen of een gedeelte van een regen van ten hoogste 5 uren en met ten minste 51 mm is te verwachten 1 keer in gemiddeld 50 jaren. Men lette op de toevoeging van „ten hoogste”, vóór de duur. De noodzaak van deze toevoeging zal volkomen duidelijk zijn, wanneer men bedenkt, dat de krommen rechts opgehangen zijn aan de frequenties van etmaalsommen. Waar in de figuur de duur 1 dag is, wordt geenszins een regen, die 1 dag aanhield, bedoeld. Bij een etmaalsom van bijv. 47 mm zal deze hoeveelheid doorgaans door enkele tezamen veel korter dan 24 uren geduurd hebbende regens opgebracht zijn. Overigens verwijzen wij nog naar hoofdstuk 11 van deze M.V.

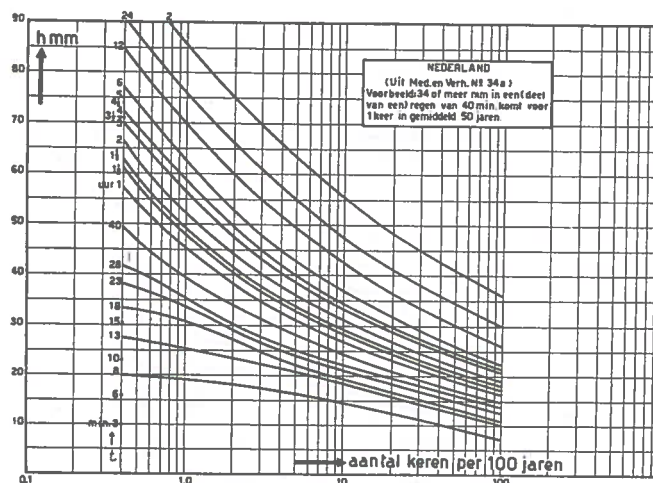


FIG. 40. The same frequency curves as in fig. 39, but now $h = h(j)$ and t as parameter. The horizontal axis does not contain the values of j (once in j years), but the values of $100 : j$. E.g. a rain with a part of 40 min and 34 or more mm occurs twice in 100 (or once in 50) years

HOOFDSTUK 9

DAGELIJKSE HOEVEELHEID NEERSLAG EN AANTAL REGENS PER ETMAAL

9.0 Inleiding

Aanleiding tot een onderzoek naar het verband tussen de grootte van de etmaalhoeveelheid neerslag en het aantal regens per etmaal was o.a. § 17 in M.V. 34a, waarin B r a a k na wil gaan of bepaalde delen van het land meer dan andere door zware buien bezocht worden en wel door voor alle stations afzonderlijk het aantal dagsommen van minstens 20 mm uit te zoeken. De gedachtengang is deze, dat stations met zeer vele van zulke dagsommen ook zeer vaak bezocht worden door zware regens. Dit ligt wel erg voor de hand, maar een bewijs blijft wenselijk. Wij doen daartoe een poging. Mochten wij namelijk kunnen aantonen, dat op eenzelfde station A een grotere dagsom met meer zware regens samengaat, dan zal een station B met meer zware regens dan te A wellicht ook meer grote dagsommen (bijv. meer dan 20 mm) dan A hebben. De gemiddelde hoeveelheid neerslag per regendag zal dan te B wel groter zijn dan te A. Plaatsen met markant meer regen per dag dan te A zullen dan ook meer zware regens hebben. Zo zou via een onderzoek, dat met behulp van aftappingen met de gewone regenmeter kan worden uitgevoerd, iets over de frequentie van zware regens (althans in vergelijkende zin) kunnen worden geconcludeerd. Een en ander bleek echter moeilijker te zijn dan gedacht werd. Het verband tussen de dagsom en het aantal regens is lang niet strak.

Wij hebben het volgende onderzoek alleen voor de zomer- en wintermaanden uitgevoerd. Dit moge voldoende zijn, omdat van de vier jaargetijden de zomer en winter het meest verschillen.

Vooraf enkele toelichtingen: een regendag is een etmaal, waarin, tussen 8 h en 8 h, tenminste 0,1 mm neerslag viel, gemeten met de gewone regenmeter. Zo werd om 8 h van 16 Juni 1947 6,7 mm afgetapt, terwijl volgens het pluviogram deze 6,7 mm het gevolg is van vier regens; d.w.z. 4 regens begonnen tussen 8 h van 15 en 8 h van 16 Juni 1947. Van één dezer 4 regens was een gedeelte zwaar. Er was geen enkel zeer zwaar deel. Een tweede voorbeeld: om 8 h van 15 Juni 1931 werd 30,2 mm afgetapt. Er waren 2 regens. In één van deze 2 regens bevindt zich een zwaar gedeelte; in de andere regen een zeer zwaar deel (dus tevens zwaar deel). Uit hetgeen in voorgaande hoofdstukken behandeld is zal duidelijk geworden zijn, dat in eenzelfde regen èn een zwaar èn een zeer zwaar gedeelte kan optreden (wij bedoelen natuurlijk gedeelten, die niet identiek zijn).

Het verband, dat mogelijk tussen de etmaalhoeveelheid en het aantal regens bestaat, hebben wij onderzocht op drie wijzen.

9.1 Met behulp van de correlatiecoëfficiënten

Verwijzende naar genoemde numerieke voorbeelden: in het eerste vormen wij de combinatie òf 6,7;4 òf 6,7;1 òf 6,7;0; in het tweede voorbeeld: òf 30,2;2 òf 30,2;2 òf 30,2;1. Wij willen de correlaties [33] berekenen tussen de etmaalhoeveelheden en òf het aantal regens (ongeacht het type) – zie rij A in tabel 95 – òf het aantal z.r. – zie rij B – òf het aantal z.z.r. – zie rij C.

Voor wij in tabel 95 een overzicht geven van de $8 \cdot 3 = 24$ correlatiecoëfficiënten r is het nodig de volgende opmerking te maken. Men kan betwijfelen of het berekenen van deze correlatiecoëfficiënt (ook wel lineariteitscoëfficiënt geheten) hier zin heeft. In de eerste plaats is er de (veelal vergeten) eis, dat het tweedimensionale universum normaal verdeeld moet zijn. Het is zeker, dat aan deze voorwaarde niet voldaan is; toch is daarmee het berekenen van correlatiecoëfficiënten nog niet geheel en al zinloos, wanneer wij ons maar bewust zijn, dat zij dat, wat wij beogen, slechts in benadering weergeven. In de tweede plaats: zelfs al zou aan bedoelde eis wel worden voldaan, dan nog drukken de correlatiecoëfficiënten slechts uit in welke mate het verband tussen de twee

TABEL 95

	Zomer								Winter							
	Jun		Jul		Aug		Totaal		Dec		Jan		Feb		Totaal	
	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>d</i>
A	0,36	287	0,59	307	0,53	311	0,51	905	0,30	296	0,03	303	0,30	241	0,30	840
B	0,60	287	0,60	307	0,64	311	0,62	905	0,31	296	0,11	303	0,32	241	0,32	840
C	0,51	287	0,19	307	0,53	311	0,42	905	–	296	–	303	–	241	–	840

Values of the correlation coefficient r of the relationship between the daily rainfall and the daily number of rains; A: for rains of every type; B: for heavy rains and C: for very heavy rains; d = total number of raindays in the basic period

stochastische grootheden meer of minder lineair is. Toch gaat het ons niet zo zeer om deze conclusie. Het zou zeer toevallig zijn als het verband (zo goed als) lineair zou zijn, maar de vaststelling van ieder ander bepaald verband is even belangrijk, als maar duidelijk blijkt, dat de etmaalhoeveelheid met het aantal regens toeneemt (althans in het gemiddelde beschouwd). Immers dit is de gelegenheid, die ons hier het meest interesseert. Waarom dan niet een z.g. „parameter-vrije” statistische toets toegepast? Schrijver kon zich eerst in de loop van en hoofdzakelijk na de in deze M.V. genoemde onderzoeken in de theorie der parametervrije toetsen bekwamen. Waar nodig en nuttig, werden ze later toch nog hier en daar toegepast. Dat zelfs deze toetsen ons in vele gevallen niet verder helpen, doordat nieuwe moeilijkheden rijzen, wordt op blz. 144 uiteengezet.

In tabel 95 zijn de correlatiecoëfficiënten r opgenomen. Het getal d heeft betrekking op het aantal regendagen. De constellatie van deze r -waarden schijnt te wijzen op een allesbehalve lineair verband tussen de beschouwde grootheden, in overeenstemming met wat de onder 9.2 te bespreken grafische voorstellingen en tabellen leren.

9.2 Zonder de hulp van de correlatiecoëfficiënten, grafisch

Wij kunnen het verband tussen de etmaalhoeveelheid en het aantal regens ook onderzoeken op de volgende twee manieren:

- I. Wij gaan na welk aantal regens, gemiddeld genomen, behoort bij een gegeven dagsom.
- II. Wij gaan na welke dagsom, gemiddeld genomen, behoort bij een gegeven aantal regens.

In het eerste geval is de verklarende variabele continu verdeeld (de metingen zelf zijn echter op 0,1 mm afgerond). Wij laten haar een reeks van intervallen doorlopen. In het tweede geval is de verklarende variabele discontinu verdeeld (waarden 0, 1, 2).

Methode I

Wij verdeelden de etmaalhoeveelheden der regendagen in groepen: 0,1–2,5; 2,6–5,0; 15,1–20,0 mm (zie tabel 96). Geteld werden in het ganse 23 jarige tijdvak:

- a. het aantal regendagen in elk interval
- b. het totale aantal z.r. op alle in het gegeven interval gelegen regendagen
- c. het aantal regendagen zonder z.r. (dus ook zonder z.z.r.) in elk der intervallen. Op zulke dagen vielen dus uitsluitend „gewone” regens
- d. het aantal regendagen, waarop één of meer z.r. voorkwamen. Het is duidelijk dat $a = c + d$. Op zulk een regendag vielen natuurlijk ook gewone regens, waarvan ons, althans in dit verband, het aantal niet interesseert
- $e = b/a$ = gemiddeld aantal z.r. per regendag in elk interval
- $e' = b/d$ = gemiddeld aantal z.r. per dag met z.r. in elk interval
- $f = d/a$ = kans, dat een regendag 1 of meer z.r. bevat. Voorbeeld:

Er waren in de 23 Junimaanden in totaal $a = 17$ regendagen met een hoeveelheid tussen 10,1 en 15,0 mm (grenzen mede genomen). Op deze 17 dagen vielen in totaal $b = 18$ z.r. (behalve deze natuurlijk ook vele „regentjes”, „gewone” regens, waarom het ons hier niet te doen is). Er waren $c = 4$ regendagen, op elk waarvan geen z.r. voorkwam. Er waren $d (= a - c) = 13$ regendagen, op elk waarvan één of meer z.r. vielen. Bijgevolg stelt $e = b/a = 1,06$ het gemiddeld aantal z.r. per regendag en $e' = b/d = 1,38$ het gemiddeld aantal z.r. per dag

TABEL 96

DE BILT 1926-1948

a = aantal regendagen met h mm; b = totale aantal z.r. op alle onder a bedoelde dagen; c = totale aantal regendagen zonder z.r.; $d = a - c$ = aantal regendagen met tenminste 1 z.r.; $e = b/a$ = gem. aantal z.r. per dag met h mm; $e' = b/d$ = gem. aantal z.r. per z.r.-dag van h mm; $f = d/a$ = kans, dat een dag tenminste 1 z.r. heeft.

	h mm	0,1-2,5	2,6-5,0	5,1-7,5	7,6-10,0	10,1-15,0	15,1-20,0		0,1-2,5	2,6-5,0	5,1-7,5	7,6-10,0	10,1-15,0	15,1-20,0
Jun	a	140	47	42	22	17	5	Dec	123	91	42	18	14	5
	b	6	10	26	12	18	7		0	0	1	0	3	3
	c	134	37	21	12	4	1		123	91	41	18	11	3
	$d = a - c$	6	10	21	10	13	4		0	0	1	0	3	2
	$e = b/a$	0,04	0,21	0,62	0,55	1,06	1,40		0,00	0,00	0,02	0,00	0,21	0,60
	$e' = b/d$	1,00	1,00	1,24	1,20	1,38	1,75		-	-	1,00	-	1,00	1,50
	$f = d/a$	0,04	0,21	0,50	0,45	0,76	0,80		0,00	0,00	0,02	0,00	0,21	0,40
Jul	a	129	57	43	25	31	10	Jan	141	78	72	22	16	4
	b	10	20	33	20	36	15		0	2	4	2	1	0
	c	119	37	18	10	4	4		141	76	68	20	15	4
	$d = a - c$	10	20	25	15	27	6		0	2	4	2	1	0
	$e = b/a$	0,08	0,35	0,77	0,80	1,16	1,50		0,00	0,03	0,06	0,10	0,06	0,00
	$e' = b/d$	1,00	1,00	1,32	1,33	1,33	2,50		-	1,00	1,00	1,00	1,00	-
	$f = d/a$	0,08	0,35	0,58	0,60	0,87	0,75		0,00	0,03	0,06	0,10	0,06	0,00
Aug	a	140	50	42	20	30	16	Feb	113	55	39	11	19	1
	b	12	21	19	15	31	24		0	2	1	2	2	0
	c	128	29	25	7	8	2		113	53	38	9	17	1
	$d = a - c$	12	21	17	13	22	14		0	2	1	2	2	0
	$e = b/a$	0,09	0,42	0,45	0,75	1,03	1,50		0,00	0,04	0,03	0,18	0,10	0,00
	$e' = b/d$	1,00	1,00	1,12	1,15	1,48	1,72		-	1,00	1,00	1,00	1,00	-
	$f = d/a$	0,09	0,42	0,40	0,65	0,73	0,88		0,00	0,04	0,03	0,18	0,10	0,00
Zo	a	409	154	127	67	78	31	Wi	337	224	153	51	49	10
	b	28	51	78	47	85	46		0	4	6	4	6	3
	c	379	103	64	29	16	7		337	220	147	47	43	8
	$d = a - c$	28	51	63	30	62	24		0	4	6	4	6	2
	$e = b/a$	0,07	0,33	0,62	0,70	1,09	1,48		0,00	0,02	0,04	0,08	0,12	0,30
	$e' = b/d$	1,00	1,00	1,24	1,57	1,37	1,92		-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50
	$f = d/a$	0,07	0,33	0,50	0,57	0,79	0,77		0,00	0,02	0,04	0,08	0,12	0,20

a = number of raindays of h mm; b = total number of heavy rains on all days mentioned in a ; c = total number of raindays without heavy rains (in consequence only ordinary rains); $d = a - c$ = number of raindays with at least 1 heavy rain; $e = b/a$ = mean number of heavy rains per rainday of h mm; $e' = b/d$ = mean number of heavy rains per heavy-rain day of h mm; $f = d/a$ = probability of a day with at least 1 heavy rain

met z.r. voor. Tenslotte komt er op $f = d/a = 76\%$ aller regendagen in de maand Juni in het interval 10,1–15,0 mm tenminste één z.r. voor.

Opmerkingen:

1. De tabel eindigt met het interval 15,1–20,0 mm. Het heeft o.i. weinig zin verder te gaan, omdat met een basismateriaal van slechts 23 jaren de getallen a t/m f zeker niet meer representatief zullen zijn voor een langer tijdvak. Overigens zij verwezen naar de in tabel 96 gespecificeerde dagsommen en bijgaande beschouwingen.

2. De etmalen zijn gelegen tussen 8h en 8h. Indien het begin van een regen vóór 8h en het einde ná deze 8h lag, werd de regen voor twee regens gerekend, het ene deel voor de ene, het andere deel voor de andere dag. Wij waren wel gedwongen aldus te handelen om te voorkomen, dat er bij een regendag geen enkele regen behoord zou hebben. Er zij nadrukkelijk gewezen op het feit, dat bijgevolg bij sommeren een groter aantal regens bereikt wordt dan er werkelijk geweest is (zie hoofdstuk 4).

3. In de 23 winters kwamen dikwijls sneeuwdagen voor. Het gebeurde nogal eens, dat de pluviograaf de sneeuwbuien niet (of niet alle) opschreef of gebrekkig registreerde (zie ook noot 2 blz. 153). Zo kon de met de gewone regenmeter gemeten dagsom 8,4 mm bedragen en vielen er volgens de pluviograaf twee „regens” (een sneeuwbuie wordt als regen opgeschreven) en wel een van 2,9 mm en een van 1,6 mm, d.i. samen 4,5 mm. Waar bleef de rest $8,4 - 4,5 = 3,9$ mm? Blijkbaar werd deze niet geregistreerd. Het is niet mogelijk de oorzaken van deze soms vrij aanzienlijke verschillen geval voor geval aan te geven. Een onderzoek daarnaar is zeker gewenst. Wij hebben deze gevallen gemakshalve buiten beschouwing gelaten.

De dagsommen van meer dan 20,0 mm hebben wij gespecificeerd in de tabellen 97 en 98 opgenomen, onder vermelding van de aantallen regens, z.r. en z.z.r., welke bij deze etmaalhoeveelheden behoren.

Enige conclusies:

1. Zowel het gemiddeld aantal (e) z.r. per regendag als dat (e') per dag met z.r. neemt, zoals wij konden verwachten, met de dagsom toe, zowel in de zomer als in de winter. De toeneming is in de zomer sterker dan in de winter (zie fig. 41). Het eerste aantal bedraagt bijv. 1 in de zomer reeds bij 10 à 12 mm, maar in de winter pas bij misschien 30 à 35 mm. Weer blijkt, dat de zomer veel rijker is aan z.r. dan de winter. Zowel 's zomers als 's winters komen flinke dagsommen voor ('s winters echter minder), doch, voor zover ze voorkomen, zijn zij vooral 's winters meer het gevolg van betrekkelijk weinig, langdurige en niet zeer intense regens.

In overeenstemming hiermede leren wij ook, dat in de zomer het gemiddeld

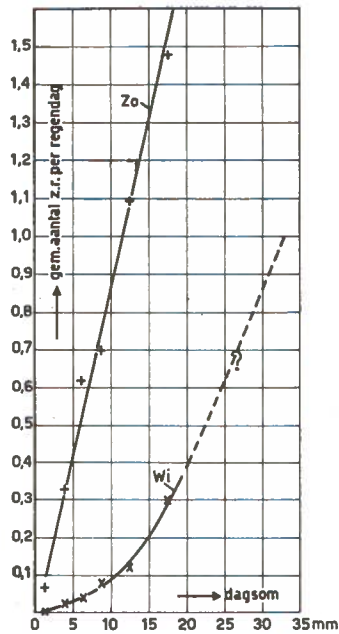


FIG. 41. The relation between the mean number of heavy rains on a rainy day and the daily rainfall in mm. Two curves: summer (Zo) and winter (Wi)

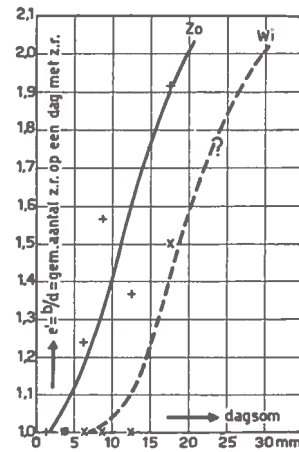
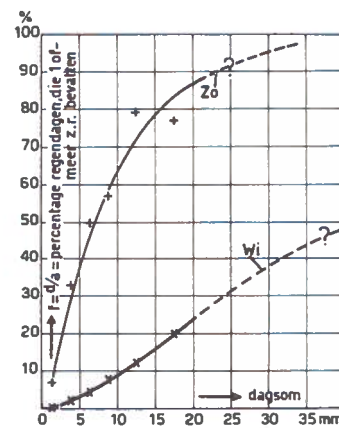


FIG. 42. The relation between the mean number of heavy rains on a heavy-rain day and the daily rainfall. In summer (Zo) and winter (Wi). Only the summer curve is fairly certain

FIG. 43. In this diagram f is the percentage of rain-days, which contain at least one heavy rain. This f has been drawn as a function of the daily rainfall (horizontal axis) in mm. Zo = summer and Wi = winter. E.g.: In summer with a daily rainfall of 10 mm nearly 63% of all raindays are heavy-rain days. In winter 9%



TABEL 97

DE BILT 1926-1948

Aantallen regens bij alle dagsommen h groter dan 20 mmToelichting: h = hoeveelheid op de regendag in mm $r.$ = aantal alle regens (ongeacht het type) $z.r.$ = aantal zware regens $z.z.r.$ = aantal zeer zware regens

	Jun				Jul				Aug			
	h	$r.$	$z.r.$	$z.z.r.$	h	$r.$	$z.r.$	$z.z.r.$	h	$r.$	$z.r.$	$z.z.r.$
	20,2	3	2	0	21,9	3	1	1	20,3	3	1	1
	20,7	3	0	0	22,9	4	1	0	20,5	5	1	0
	22,7	6	2	0	25,0	6	1	0	21,6	6	4	1
	24,4	6	2	1	25,6	2	1	0	22,2	11	3	0
	24,5	1	1	1	26,7	5	1	0	24,6	6	3	0
	26,1	8	0	0	27,0	3	1	1	29,3	4	2	1
	26,6	2	2	1	30,7	2	2	0	29,4	3	2	1
	27,2	3	2	0	34,8	5	2	0	34,3	1	1	0
	28,5	5	3	0	38,0	8	3	0	39,3	9	3	1
	30,2	2	1	1	38,6	11	3	0	41,4	6	2	1
	47,5	1	2	0	48,3	6	2	0	41,6	4	1	0
									50,8	4	2	1
Gemiddeld	27,1	3,6	1,5	0,4	30,9	5,0	1,6	0,2	31,3	5,2	2,1	0,6

TABEL 98

	Dec				Jan				Feb			
	h	$r.$	$z.r.$	$z.z.r.$	h	$r.$	$z.r.$	$z.z.r.$	h	$r.$	$z.r.$	$z.z.r.$
	20,2	2	0	0	22,0	4	0	0	20,4	5	0	0
	20,4	3	0	0	23,8	4	0	0	21,4	1	0	0
	35,9	2	0	0					53,6	3	2	0
Gemiddeld	25,5	2,3	0	0	22,9	4	0	0	31,8	3,0	0,7	0

Total number of rains of every type ($r.$), of heavy rains ($z.r.$) and of very heavy rains ($z.z.r.$) on days with h mm (at least 20 mm)

aantal $z.r.$ per dag met $z.r.$ bijv. 2 is reeds bij ca 20 mm, maar in de winter eerst bij ong. 30 mm (fig. 42).

2. Het quotiënt f' kan gezien worden als de kans, dat een regendag een of meer $z.r.$ bevat. Natuurlijk neemt deze kans toe met toenemende dagsom, in de zomer meer dan in de winter. Men bestudere de krommen in fig. 43. Beide curven gaan asymptotisch naar 100 %. Wij zien, dat het 's zomers bij 25 à 35 mm per dag zo goed als zeker is, dat er één of meer $z.r.$ vielen, terwijl zulks

in de winter het geval is bij een zeer veel grotere dagsom, die zich uit het beschikbaarstaande materiaal niet laat schatten.

3. De tabellen 97 en 98 leren, dat een zomerdagsom van meer dan 20 mm (gemiddelde: 29,8 mm) het gevolg is van gemiddeld 4,6 regens, waarvan gemiddeld 1,8 zware en gemiddeld 0,5 zeer zware. In de winter (gemiddelde: 27,2 mm) zijn deze aantallen 3,0, 0,2 en 0,0. Het spreekt vanzelf, dat deze gemiddelde hoeveelheden en aantallen louter illustratieve waarde hebben.

9.3 Met behulp van de rangcorrelatietoets van Kendall

Nu volgen eerst – voor wij tot methode II, zie pag. 139, overgaan – enige opmerkingen van statistische aard, teneinde de moeilijkheden bij toepassing van zowel de „klassieke” als de moderne „parametervrije” toetsen in gevallen, als waarmede wij hier te maken hebben, duidelijk te doen uitkomen.

Ofschoon men reeds op basis van de onder de methodes I en II genoemde resultaten zou kunnen concluderen, dat ook voor boven 20,0 mm uitkomende dagsommen een grotere dagsom, gemiddeld genomen, het gevolg van meer regens zal zijn (extrapolerende), hebben wij het materiaal der 34 zomerdagsommen (tabel 97) afzonderlijk aan de rangcorrelatietoets van Kendall [34] onderworpen. Van het ganse universum aller dagsommen beschouwen wij dus slechts het deeluniversum der elementen boven 20,0 mm. Het gehele universum is lang niet normaal verdeeld, dit deeluniversum dus helemaal niet: de verdeling der dagsommen is immers J-vormig. Aan dit universum is dat der aantallen regens „gekoppeld, geassocieerd”. De „koppelingsgraad” willen we berekenen. Het laatste universum is zeker evenmin normaal verdeeld; een poissonverdeling lijkt ons zeer waarschijnlijk. Welke de verdeling ook precies moge zijn, vast staat in elk geval, dat het niet geoorloofd is hier een klassieke toets (welke een normaal verdeeld tweedimensioneel universum eist) toe te passen; zo viel onze keuze op de parametervrije rangcorrelatie-toets van Kendall. De toets verloopt a.v.: nummer alle 34 zomerdagsommen van tabel 97, te beginnen met de kleinste (20,2 mm) en te eindigen met de grootste (50,8 mm), volgens 1, 2, 3, 34 (toevallig zijn ze alle 34 ongelijk). Bij deze 34 dagsommen behoren aantallen regens, uiteenlopende tussen 1 en 11 (er zijn dus vele gelijke aantallen). Ook deze nummert men volgens 1, 2, 34. Bij „gelijken” worden de rangnummers gedeeld. Voorbeeld: er waren 4 aantallen 5; zouden dit ongelijke aantallen geweest zijn, dan zouden zij de rangnummers 19, 20, 21, 22 gekregen hebben; nu krijgt elk het nummer $\frac{1}{4}(19 + 20 + 21 + 22) = 20\frac{1}{4}$. De toets wordt hier vrij ingewikkeld door het optreden van zovele gelijken. Men plaatse de opeenvolgende groter wordende dagsommen in de eerste regel en daaronder de rangnummers der bijbehorende aantallen regens, a.v.:

h_i : rangnrs. dagsommen	1	2	3	4	5		34
r_i : rangnrs. aantallen regens	11	11	$20\frac{1}{4}$	11	26		$16\frac{1}{2}$

Vervolgens wordt zekere grootheid S berekend a.v.: men telt uit hoeveel keren na r_1 een r_i komt, groter dan r_1 (m_1 keren); hoeveel keren een r_i , kleiner dan r_1 (n_1 keren); zo ook voor r_2 (m_2 en n_2 keren) r_{34} (m_{34} en n_{34} keren). Dan is $S = + \sum m - \sum n$. Hierbij kan S negatief, nul en positief zijn. Wij vinden $S = + 19$.

Vervolgens wordt een grootheid σ_S berekend, die in de eerste plaats met het aantal paren (hier $N = 34$) samenhangt, en ten tweede rekening houdt met het aantal groepen gelijken en het aantal gelijken per groep, zowel in de eerste rij (hier de dagsommen h) als in de tweede (hier de aantallen regens a). Er komt $\sigma_S = 67,6$. Er kan worden bewezen, dat, als de grootheden h en a volkomen onafhankelijk zijn, de waarden S^* ¹⁾, bij het talloos keren hernemen van een steekproef van 34 paren, zouden schommelen – althans wanneer het aantal gelijken niet te groot is – volgens een zo goed als normale verdeling, rondom 0, met een standaarddeviatie, waarvan $\sigma_S = 67,6$ de beste schatting is. Slechts indien een S_g gemeten wordt, waarvoor $q = \{|S_g| - 1\} : \sigma_S > 1,96$ concluderen wij (althans als wij een betrouwbaarheidsdrempel van 5 % aanvaarden), dat hier geen toeval meer in het spel is. De uitkomst is echter $q = 0,28$, waarbij een zeer grote overschrijdingskans P van ca 78 % behoort ($\gg 5\%$). Conclusie: van een significante correlatie (associatie) van dagsom en aantal regens blijkt derhalve met dit geringe materiaal (34 paren) niets. Dit komt ons op het eerste gezicht vreemd voor²⁾. Toch doet men goed zich de volgende kwesties scherp voor ogen te stellen.

1. Men doet beter niet met een *deel*universum, maar met het *volledige* universum te werken.

2. Een 23-tal jaren levert blijkbaar een zeer kleine steekproef, welke in het geheel niet representatief is voor het ganse universum en in zeer geringe mate voor het deeluniversum.

3. Wij waren genoodzaakt een parameter vrije toets te kiezen, maar de zeer vele „gelijken” bezorgen grote moeilijkheden. Er kan worden bewezen, dat de S vrijwel normaal verdeeld is, mits $N > 10$, zelfs bij het optreden van gelijke rangnummers, mits de reeksen gelijken niet te lang zijn. Hier ligt het zwakke punt, want in ons geval zijn de gelijken-reeksen wel lang. Wij kennen nog niet een theorie, die ook deze bezwaren ondervangt. Het is derhalve moeilijk te zeggen, welke betekenis deze P precies heeft.

Men zal zich afvragen, waarom dan niet deze Kendall-toets op het ganse materiaal (alle dagsommen van 0 tot 50,8) toegepast werd. Het antwoord

¹⁾ $S^* = S + 1$ als $S < 0$ en $S - 1$ als $S > 0$.

²⁾ Ook kan het zijn, dat „zeer grote” dagsommen even waarschijnlijk (of zelfs eerder) van vele als (dan) van weinige regens afkomstig zijn. Anders gezegd: de „wetmatigheid”, dat een grotere dagsom uit meer regens ontstaat (althans in het gemiddelde), zou boven zekere drempelwaarde (welke?) niet kunnen gelden. Wij noemen dit louter als mogelijkheid

luidt: niet alleen zou dit zeer veel werk betekenen, dat het doel niet waard is, maar ook dan blijven bedoelde bezwaren van de grote aantallen „gelijken” bestaan en wel in meervoud¹⁾. Bovendien levert nu ook het persistentie-effect moeilijkheden (: de ene dagsom beïnvloedt de volgende), waardoor de steekproef niet meer aselekt is.

Zo is duidelijk geworden, dat ook het toepassen van een parametervrije toets, vanwege de bijzondere geaardheid van het materiaal, op schier onoverkomelijke moeilijkheden kan stuiten. Wij doen hier dus het beste de getallen der tabellen 96 en 97 louter met het oog te beoordelen en dan, op grond van de grafiek, te besluiten, dat het zeer waarschijnlijk is, dat met een toenemend aantal regens de dagsom ook toeneemt, *in het gemiddelde althans*. De laatste toevoeging is natuurlijk noodzakelijk: Zo zal de kritische lezer opmerken (zie tabel 99), dat er in de 23 zomers tezamen maar 6 dagen waren met 9 regens op elk ervan. Hun dagsommen waren gemiddeld 15,2 mm. Zij liepen sterk uiteen. Volgens tabel 97 was er maar één van deze 6 dagen met meer dan 20,0 mm (t.w. 39,3 mm). Hierdoor ligt deze 15,2 mm zo laag, lager althans dan men verwachten zou op grond van de in dezelfde rij voorafgaande gemiddelden.

Conclusie: de hoeveelheden op dagen met 9 regens (hetzelfde geldt voor andere aantallen) lopen uitermate sterk uiteen; anders gezegd: zulk een gemiddelde 15,2 mm is hoogst onnauwkeurig. Aldus blijkt opnieuw dat 23 jaren een te klein materiaal verschaffen.

Methode II

Nu berekenen wij de gemiddelde hoeveelheid neerslag op een regendag met $N = 1, 2, 3, \dots$ regens. Wij doen dit voor 4 „types” van regendagen:

- dagen met N regens, ongeacht het type van de regen (daaronder kunnen dus z.r. en z.z.r. zijn, maar ook louter gewone regens), zie ook tabel 99;
- dagen met N regens, die stuk voor stuk noch geheel noch gedeeltelijk zwaar of zeer zwaar waren („gewone” regens), zie ook tabel 100;
- dagen met N z.r. (op zulke dagen zijn natuurlijk meestal ook gewone regens gevallen, waarvan ons het aantal hier niet interesseert), zie ook tabel 101;
- dagen met N z.z.r. (met dezelfde opmerking).

De gevallen van meer dan 9 regens per dag zijn buiten beschouwing gelaten.

¹⁾ Men zou nog kunnen denken aan toepassing van de Kendall-toets op bijv. de paren (zie tabel 96 achter Zo) a, e (of a, e') – getallen 409, 0,07; 154, 0,33 enz. – waarbij dan eerst de aantallen 409, 154, $\dots$ 31 vervangen dienen te worden door de gemiddelden der dagsommen in elk der 6 intervallen. Men zoekt dan naar een correlatie tussen de gemiddelde waarde h_i van de dagsommen in het interval i en het gemiddeld aantal regens (zware regens) e_i (e'_i) per zulk een dagsom (dus 6 paren). In dit geval wordt weer de waarde van de berekeningen twijfelachtig vanwege het feit, dat deze gemiddelden een uitermate verschillend gewicht hebben

TABEL 99

DE BILT 1926-1948

Regens, onverschillig het type; a = totale aantal dagen met 1, 2, 3, 9 regens per dag;
b = gem. hoeveelheid neerslag op zulk een regendag

N = aantal regens per regendag		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Jun	a	125	71	41	21	14	6	4	3	2	
	b	3,0	4,5	7,0	5,3	9,8	15,3	10,2	15,5	5,9	mm
Jul	a	117	69	57	25	21	8	6	1	1	
	b	2,3	5,0	7,0	7,2	10,9	19,1	11,6	38,0	11,7	mm
Aug	a	121	78	43	20	20	14	7	4	3	
	b	2,3	4,7	6,9	13,6	10,4	15,7	8,8	7,4	22,5	mm
Dec	a	117	77	40	33	11	8	8	2		
	b	2,6	4,5	4,4	5,9	7,3	6,3	7,5	12,8		mm
Jan	a	135	79	39	24	17	4	3			
	b	2,6	4,3	5,0	6,5	6,7	10,4	6,5			mm
Feb	a	102	67	46	10	9	4	2		1	
	b	2,7	5,4	6,4	4,5	9,9	5,3	6,9		5,4	mm
Zo	a	363	218	141	66	55	28	17	8	6	
	b	2,6	4,7	6,9	8,6	10,6	16,2	10,1	14,2	15,2	mm
Wi	a	354	223	125	67	37	16	13	2	1	
	b	2,6	4,7	5,3	5,9	7,7	7,1	7,2	12,8	5,4	mm

Rains of every type whatever; a = total number of days with $N = 1, 2, 3, \dots, 9$ rains;
b = mean rainfall (in mm) on such a day

Conclusies (zie ook fig. 44 en 45):

1. Hoe meer regens per dag, hoe groter de dagsom.
2. Deze toeneming is 's zomers markanter dan 's winters. Voorbeeld: bij 2 regens per dag valt er in de zomer gemiddeld 4,8 mm en in de winter 4,1 mm (geschat via de curven); bij 9 regens zijn deze hoeveelheden 16 en 11 mm.
3. Nogmaals moet de nadruk gelegd worden op de toevoeging „gemiddeld genomen”. Er komen wel grote dagsommen voor met weinig regens (bijv. 47,5 mm in één regen) en kleine dagsommen met veel regens (bijv. 6,2 mm in 6 regens).

Hier nu ontstaan moeilijkheden, die met onze definitie van „regen”, welke wij op blz. 20 gaven, samenhangen. Immers, wij hebben eenmaal afgesproken de regen als geëindigd te beschouwen, zodra de regencurve horizontaal wordt, ook al is het maar voor enkele minuten. Twee regens, gescheiden door een

TABEL 100

DE BILT 1926-1948

Regens, die nóch geheel nóch gedeeltelijk zwaar zijn, z.g. „gewone regens”; a = totale aantal regendagen (1926-1948); b = gemiddelde hoeveelheid neerslag per regendag

N = aantal regens per regendag		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Jun	a	100	57	24	13	7	2	2	2	1	
	b	1,8	3,0	4,9	4,1	9,1	9,4	7,6	16,1	4,2	mm
Jul	a	93	45	32	9	10	1	1		1	
	b	1,3	3,0	5,6	4,3	7,3	6,8	14,0		11,7	mm
Aug	a	97	53	20	11	8	4	5			
	b	1,7	3,0	4,0	4,9	4,9	10,8	6,8			mm
Dec	a	116	76	40	30	9	8	8	2		
	b	2,5	4,4	4,4	5,1	8,1	6,3	7,5	12,8		mm
Jan	a	135	77	33	24	16	4	3			
	b	2,6	4,2	4,5	6,5	6,8	10,4	6,5			mm
Feb	a	100	65	42	9	9	4	2		1	
	b	2,6	5,4	5,2	4,2	9,9	5,3	6,9		5,4	mm
Zo	a	290	155	76	33	25	7	8	2	2	
	b	1,6	3,0	5,0	4,4	7,0	8,9	7,9	16,1	8,0	mm
Wi	a	351	218	118	63	34	16	13	2	1	
	b	2,6	4,7	4,7	5,5	7,8	7,1	7,2	12,8	5,4	mm

Ordinary rains (rains without a heavy or very heavy part); a = total number of days with N = 1, 2, 3 9 rains; b = mean rainfall (in mm) on such a day

niet te lange regenpauze, kunnen louter fysisch (qua oorzaak of ontstaanswijze), maar soms ook op meer praktische gronden bij elkaar behoren. Zo willen sommige riooltechnici ten opzichte van bepaalde rioolnetten twee door bijvoorbeeld 5 à 15 minuten onderbroken regens als een enkele regen beschouwen ¹⁾. Aangezien derhalve de meningen over de toelaatbare lengten der regenloze tijdsintervallen nogal uiteenlopen, en de kennis van de „anatomie”[35] der regens een afzonderlijk onderzoek zou eisen, waarvoor de tijd ontbrak en

¹⁾ Als voorbeeld een viertal regentjes in de ochtend van 21 September 1930:

3h 55 – 5h 45: $h = 2,1$ mm; $t = 110$ minuten;

5h 55 – 6h 40: $h = 2,0$ mm; $t = 45$ minuten;

6h 55 – 8h 05: $h = 4,3$ mm; $t = 70$ minuten;

8h 15 – 9h 15: $h = 1,5$ mm; $t = 60$ minuten.

De regenpauzen zijn lang 10, 15 en 10 minuten. Zullen wij van 4 regentjes spreken of van één regen, die 9,5 mm bracht in 285 (of $285 + 35$) minuten?

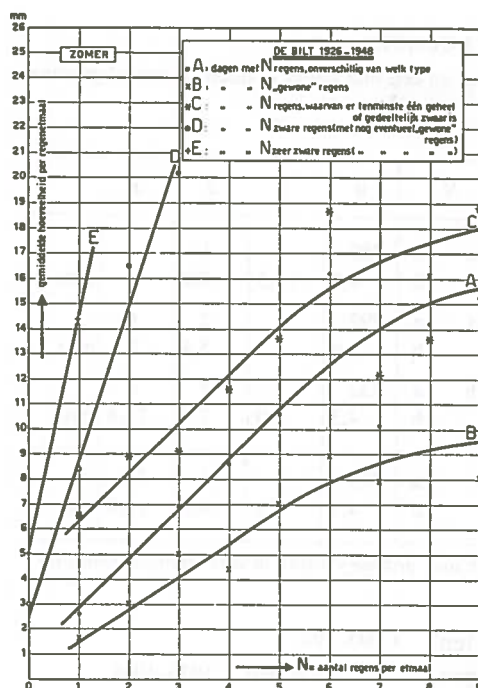


FIG. 44. The mean rainfall on a rainday in summer (vertical) as a function of the number N of rains (horizontal). We have considered 5 types of raindays:

- A: days with N rains of every type
- B: days with N „ordinary” rains, i.e. rains without heavy, very heavy or very intense parts or downpour-parts
- C: days with N rains of which at least one has a heavy part
- D: days with N heavy rains and further ordinary rains
- E: days with N very heavy rains and further ordinary rains

wellicht ook niet genoeg gegevens aanwezig geweest zouden zijn, hebben wij berust in het gesignaleerde bezwaar en de definitie van de regen slechts aan de vorm van de regen-curve op de strook gekoppeld.

Conclusies naar aanleiding van tabel 100 en de figuren 44 en 45:

1. Hoe meer „gewone” regens, hoe groter de dagsom.
2. Het seizoenseffect is duidelijk; de onder 1 bedoelde toeneming is 's zomers sterker dan 's winters, maar de toeneming is minder markant dan in tabel 99. Bijgevolg is er een groot verschil tussen zomer en winter voor de dagen, waarop tenminste 1 z.r. neerkwam. Tabel 101 brengt dit duidelijk naar voren.

3. De getallen van tabel 100 liggen stuk voor stuk beneden die op de overeenkomstige plaatsen in de tabel 99. Dit is geenszins vanzelfsprekend. Een numeriek voorbeeld: een zomerdag met 6 regens (van welk type dan ook) bevat gemiddeld 16,2 mm en een met 6 regens, doch alle „gewoon” (dat is zonder een z.r. of z.z.r.), 8,9 mm. Het eerste gemiddelde berust op 28, het

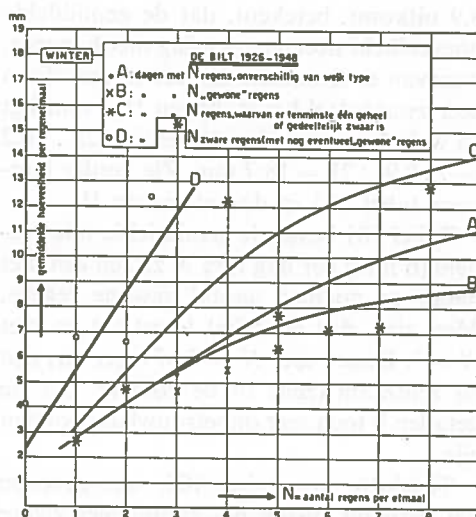


FIG. 45. Like fig. 44, but wintersituation

TABEL 101

DE BILT 1926-1948

a = totale aantal dagen (1926-1948) met N z.r. en een niet nader te noemen aantal gewone regens.

b = gemiddelde hoeveelheid per regendag

		N						N			
		0	1	2	3			0	1	2	3
Jun	a	214	53	17	3	Dec	a	289	1	1	
	b	3,0	8,7	16,4	17,6		b	4,2	14,3	7,0	mm
Jul	a	192	87	22	6	Jan	a	292		2	6
	b	3,1	8,0	15,0	20,0		b	3,9		5,4	8,1 mm
Aug	a	198	88	18	6	Feb	a	232	2	2	4
	b	3,0	8,7	18,5	21,6		b	4,3	3,0	7,7	18,8 mm
Zo	a	604	228	57	15	Wi	a	813	3	5	10
	b	3,0	8,4	16,5	20,2		b	4,1	6,8	6,6	12,4 mm

a = total number of days with N heavy rains and ordinary rains in any number whatever;
b = mean rainfall (mm) on such a day

andere op 7 dagen. Deze 28 dagen bevatten de 7 dagen. De overige $28 - 7 = 21$ dagen hebben stuk voor stuk regens gehad, waaronder er tenminste één zware of (en) zeer zware voorkomt. Het feit, dat 16,2 boven 8,9 uitkomt, betekent, dat de gemiddelde hoeveelheid neerslag per dag met 6 regens, waarvan er tenminste één een zwaar of een zeer zwaar deel bevat, boven 16,2 mm ligt en wel als volgt te berekenen is: $(28 \cdot 16,2 - 7 \cdot 8,9) : 21 = 18,7$ mm. Zie verder hiervoor tabel 103 in de kolommen II.

Tabel 101 bevat de gemiddelde hoeveelheid (b mm) per dag met N z.r. en een niet nader te noemen aantal gewone regens. Men ziet, dat de tabel loopt tot en met $N = 3$. Dagen met $N = 4$ of meer z.r. zijn zo zeldzaam (zelfs in de zomer), dat de getallen b toch zeer onbetrouwbaar zouden zijn.

Tenslotte nog tabel 102, weergevende het verband tussen het aantal zeer zware regens op een regendag (in ons materiaal

TABEL 102

DE BILT 1926-1948

Totale aantal dagen (a) met een niet nader te noemen aantal gewone en N z.z.r. (er waren geen z.z.r. in de winter);

b = gem. regenval op zo'n dag

		N		0	1
Jun	a			281	6
	b			4,5	24,3 mm
Jul	a			300	7
	b			5,5	14,2 mm
Aug	a			300	11
	b			5,2	26,1 mm
Zo	a			881	24
	b			5,1	14,4 mm

a = total number of days with N very heavy rains and ordinary rains in any number whatever; b = mean rainfall (mm) on such a day

0 of 1) en de gemiddelde hoeveelheid neerslag op zulk een dag. Nogmaals zij erop gewezen, dat er altijd ook nog één of meer „gewone” regen(s) al of niet met z.r. (het aantal is hier niet in het geding) gevallen (is) zijn.

Zulk een tabel heeft natuurlijk zonder meer betrekkelijk weinig betekenis. In alle 23 Augustusmaanden tezamen zijn slechts 11 dagen voorgekomen met op elk een aantal regens, waaronder 1 z.z.r. De bedoeling is, dat men deze tabel met de voorgaande tabellen vergelijkt. Men ziet dan o.a., dat op een regendag met gewone regens in doorsnee valt (zie tabel 100) $(97 \cdot 1,7 + 53 \cdot 5,0 + 20 \cdot 4,0 + \dots + 5 \cdot 6,8) : (97 + 53 + \dots + 5) = 2,9$ mm (op een dag met 1 gewone regen 1,7 mm). Uit tabel 101 volgt: op een dag met onverschillig welk aantal gewone regens, doch met één z.r., valt gemiddeld 3,0 mm en op een dag met onverschillig welk aantal gewone regens, maar met één z.z.r., valt gemiddeld 5,2 mm (tabel 102). Men lette op de toeneming: 2,9, 3,0, 5,2 mm.

De meeste van de gegevens der besproken tabellen hebben wij verenigd in tabel 103.

Toelichting: de 4 kolommen geven de gemiddelde hoeveelheid neerslag per regendag in mm,

in kolom I: bij $N = 1, 2, 3 \dots$ uitsluitend „gewone” regens (d.w.z. regens zonder z.r. en z.z.r.)

II: bij $N = 1, 2, 3 \dots$ regens, waaronder tenminste één z.r.

III: bij $N = 0, 1, 2, 3$ z.r. en verder tenminste één gewone regen

IV: bij $N = 0, 1$ z.z.r. en verder tenminste één gewone regen

TABEL 103 DE BILT 1926-1948
Gemiddelde hoeveelheid neerslag per regendag in mm

N	Zomer				Winter			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0	—	—	3,0	5,1	—	—	4,1	—
1	1,6	6,6	8,4	14,4	2,6	2,6	6,8	—
2	3,0	8,9	16,5		4,7	4,7	6,6	
3	5,0	9,1	20,2		4,7	15,3	12,4	
4	4,4	11,6			5,5	12,2		
5	7,0	13,6			7,8	6,3		
6	8,9	18,7			7,1	7,1		
7	7,9	12,1			7,2	7,2		
8	16,1	13,6			12,8	12,8		
9	8,0	18,8			5,4	5,4		

Mean rainfall (mm) on a rainday;

I: only with N ordinary rains; II: with N rains with at least one heavy rain; III: with N heavy rains and at least one ordinary rain; IV: with N very heavy rains and at least one ordinary rain

Tenslotte volgen enkele numerieke toelichtingen bij het verschil tussen de kolommen II en III.

1. Een dag met 2 regens; zij één ervan gewoon en onderstel, dat de andere een zeer zwaar deel (dus ook zwaar deel) bevat. Zulk een dag is opgenomen in II ($N = 2$), in III ($N = 1$) en in IV ($N = 1$).

2. Een dag met 3 gewone regens en nog 2 regens, waarvan de ene een zwaar en de andere een zeer zwaar (dus óók zwaar) deel bevat; deze dag komt terecht in II ($N = 5$), in III ($N = 2$) en in IV ($N = 1$).

3. Een dag met 5 gewone regens en nog 2 regens, waarvan de ene een tweetal zware delen en de andere één zwaar deel bevat; onder II ($N = 7$), III ($N = 3$), IV ($N = 0$).

4. Een dag met 2 gewone regens en 3 regens, waarvan de ene een zwaar deel, en elk der andere één zeer zwaar deel bevat; onder II ($N = 5$), III ($N = 3$), IV ($N = 2$).

De getallen in de kolommen I en III vindt men terug in de b-rijen van de Zo en de Wi der tabellen 100 en 101; die in de kolom IV in de b-rijen van de Zo en Wi der tabel 102.

HOOFDSTUK 10

AANTAL REGENS PER DAG, VOOR VERSCHILLENDE TYPEN REGENS

Het is wellicht bekend, dat dagen met meer regens minder frequent zijn dan die met minder regens.

In dit hoofdstuk willen wij dit feit nog wat precieser bekijken dan in het vorige. Wij maken allereerst onderscheid tussen 2 soorten dagen: 1° dagen met „gewone” regens, d.z. regens, welke noch geheel noch gedeeltelijk zwaar of zeer zwaar zijn en 2° dagen met regens, van welk type dan ook, dus gewone, zware en zeer zware regens. Het tweede type dag is natuurlijk frequenter dan het eerste.

Vooraf enige opmerkingen:

(1) Een dag (etmaal) loopt hier tussen 0 en 24 h; een regen, wordt gerekend tot de dag, waarin hij begonnen is, ook al valt het einde in de volgende dag¹⁾.

(2) Het kwam voor, dat het had geregend en gesneeuwd op dezelfde dag; de gewone regenmeter leverde dan dikwijls veel meer dan de pluviograaf. Blijkbaar registreerde de pluviograaf wel de regen(s) en niet de (of niet alle) sneeuwbuien.²⁾ In onze beschouwingen zijn dus ook de (als regen gemeten) sneeuwbuien opgenomen, hoewel niet alle. Sneeuwmetingen zijn moeilijk. Een statistiek onder meer van de dagen met 1, 2, enz. sneeuwbuien, hoe belangrijk ook, zou een afzonderlijk onderzoek vergen, waarvoor een groot, voldoende betrouwbaar materiaal ontbreekt.

Wij geven nu eerst in tabel 104 het aantal a dagen van type 2 met 1, 2, 3 . . . 15 regens per dag, en wel gemiddeld over 1926–1948, maand voor maand, en voor elk der seizoenen.

Enige conclusies:

De getallen leren, dat in elk der maanden het gemiddeld aantal dagen met N regens zeer snel (vooral van $N = 1$ tot $N = 3$) met toenemende N afneemt. Wij hebben er van afgezien naar een functioneel verband tussen a en N te zoeken. In fig. 46 zijn de He- en Le-kromme getekend (daar tussen in liggen

¹⁾ Wij zijn ons bewust, dat aldus niet geheel correct gehandeld wordt. Immers een regen kan op zekere dag beginnen en op de volgende dag eindigen. Men zou hem dan zowel bij de eerste als de tweede dag kunnen rekenen. Al moge het bezwaar, dat vrij vele regens aldus dubbel zouden tellen (zodat het totale aantal geenszins in overeenstemming is met wat vorige hoofdstukken geleerd hebben) niet groot zijn, wij hebben het toch in dit geval wenselijker geacht enkel en alleen naar het beginmoment te zien

²⁾ Zodra er sneeuw kan vallen wordt er automatisch een zich rondom de opvangtrechter bevindend verwarmingssysteem ingeschakeld, zodat de als sneeuw gevallen neerslag toch als regen geregistreerd wordt. Helaas werkte dit systeem dikwijls slecht of niet

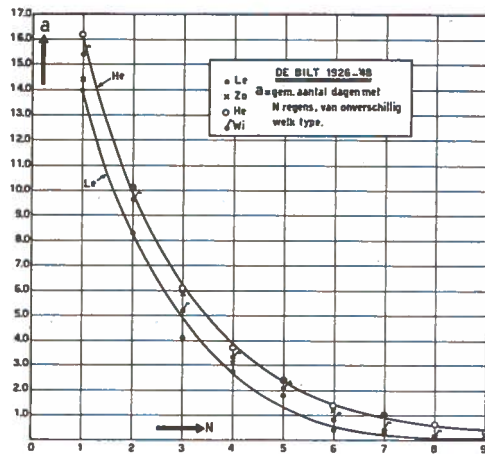


FIG. 46. Mean annual number of days (a) with N rains of any type whatever. Only autumn and spring-curves have been drawn; Le = spring; Zo = summer; He = autumn and Wi = winter

de Zo- en Wi-krommen). Het is ook duidelijk, dat in de herfstmaanden dagen met zeer vele regens (zegge meer dan 8) frequenter zijn dan in de lentemaanden.

Wij hebben van de getallen nog een cumulatieve frequentiever-

TABEL 104

DE BILT 1926-1948

Gemiddeld aantal a dagen met N regens per dag (regens, onverschillig hoeveelheid, duur enz.) [d.z. „dagen van type 2”]

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Mrt	4,1	2,2	1,5	0,87	0,30										
Apr	4,8	3,6	1,4	1,1	0,74	0,22	0,17		0,09						
Mei	5,1	2,5	1,2	0,87	0,74	0,17	0,09	0,09		0,04					
Jun	4,4	3,5	1,8	1,0	0,61	0,30	0,26		0,04						
Jul	5,0	3,3	2,3	1,0	0,83	0,44	0,48	0,04	0,04	0,04					
Aug	5,0	3,3	1,8	1,1	1,0	0,44	0,30	0,09	0,13			0,04			
Sep	5,1	3,1	1,9	1,3	0,70	0,26	0,39	0,22	0,08	0,04	0,04				
Oct	5,0	3,7	1,8	1,3	0,91	0,52	0,22	0,30	0,17	0,09		0,13	0,13		
Nov	6,1	3,3	2,4	1,1	0,74	0,61	0,35	0,09	0,09	0,13	0,08				0,09
Dec	5,1	3,2	2,2	1,3	0,96	0,30	0,13	0,13		0,04					
Jan	5,4	3,0	1,8	1,3	0,57	0,35	0,13	0,09		0,04					
Feb	4,9	3,4	1,2	0,68	0,55	0,09	0,14			0,05					
Le	14,0	8,3	4,1	2,7	1,8	0,66	0,26	0,09	0,09	0,04					
Zo	14,4	10,1	5,9	3,1	2,4	1,2	1,0	0,13	0,21	0,04		0,04			
He	16,2	10,1	6,1	3,7	2,4	1,4	0,96	0,61	0,34	0,26	0,12	0,13	0,13		0,09
Wi	15,4	9,6	5,2	3,3	2,1	0,78	0,40	0,22		0,13					
Jr	60,0	38,6	21,3	12,8	8,7	4,6	2,6	1,0	0,64	0,47	0,12	0,17	0,13		0,09

Mean annual number of days with N rains per day; rains of every type, any rainfall and any duration („days of type 2”)

deling gemaakt (fig. 47) en wel omdat de ervaring leert, dat deze dikwijls meer de belangstelling heeft dan de differentiële. Bovendien komen er dan vrijwel rechte lijnen te voorschijn, welke in de praktijk gemakkelijker te gebruiken zijn en het extrapoleren eenvoudiger (maar geenszins minder gevaarlijk) maken.

Wij hebben om de figuur overzichtelijk te houden slechts drie krommen getekend, t.w. die voor het jaar, de lente en de herfst. Het is waarschijnlijk, althans volgens de „Theorie der Extreme Waarden” (behandeld in hoofdstuk 16), dat voor grotere N -waarden de krommen meer en meer recht gaan worden (een rechte asymptoot hebben), terwijl het te begrijpen is, dat de He- en Le-krommen verschillend zijn en de Jaar- en He-krommen uiteindelijk „in elkaar over gaan”. Zo lezen wij, dat a 0,74 resp. 0,048 is in de herfst en lente bij 10 of meer regens, hetgeen betekent, dat om de gemiddeld 1,4 jaren op een dag in de herfst 10 of meer regens vallen, terwijl dit om de gemiddeld 21 jaren op een dag in de lente geschiedt. Volgens bovenbedoelde Theorie der Extreme Waarden heeft de N^* -waarde, behorende bij $a = 1$, een zeer bepaalde betekenis. Hier is voor de Le en de He de $N^* = 6,2$ resp. 9,2. Dit betekent, dat in de lente het meest waarschijnlijke grootste aantal regens per dag gelijk 6,2 is en in de herfst 9,2, m.a.w. wanneer wij vele jaren achtereen uit elke lente het grootste aantal regens per dag zouden noteren, dan zou blijken, dat aantallen rondom 6,2 (in de herfst 9,2) het meest zouden voorkomen. Ook in dit opzicht wordt het grote verschil tussen de herfst en de lente duidelijk geïllustreerd.

Teneinde nu met behulp der gegevens, die tot de besproken tabel hebben geleid, een andere tabel te kunnen samenstellen, welke de frequenties van dagen met uiteenlopende aantallen „gewone” regens vermeldt, is eerst een tussentabel opgesteld, die hier niet opgenomen is, maar wel in het kort besproken wordt. Voor ieder der maanden werd een overzicht gemaakt, bestaande uit 15 kolommen, genummerd i ($i = 1, 2, \dots, 15$) en 23 rijen, genummerd j

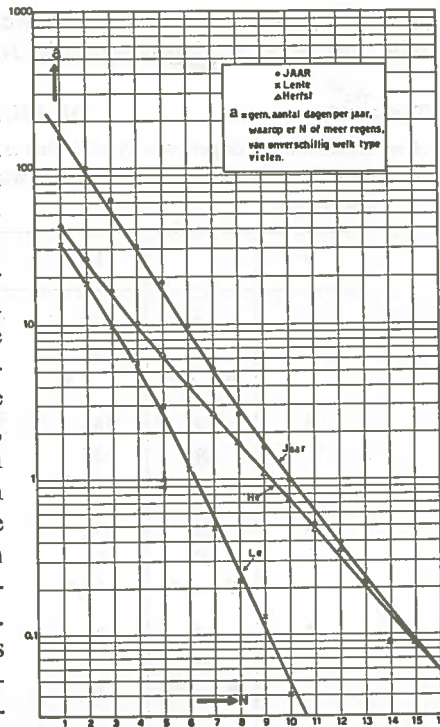


FIG. 47. Mean annual number of days (a) – in logarithmic scale – with at least N rains of every type. Only three curves have been drawn: year (Jaar), autumn (He) and spring (Le). The curves seem to be nearly straight lines

($j = 1926, 1927 \dots 1948$). Zo weten wij (vorige tabel), dat er (beschouw bijv. Juli 1938) N_i dagen waren in Juli 1938 met i regens, ongeacht het type.

TABEL 105

DE BILT 1926-1948

A = totale aantal dagen van type 2, met n regens

B = totale aantal dagen met n regens, waarvan er tenminste één zwaar is of een zwaar deel bevat

n		Le	Zo	He	Wi	Jr
1	A	317	331	373	349	1370
	B	28	78	33	4	143
	$B : A \%$	8,8	13,6	8,8	1,1	10,4
2	A	186	235	233	217	871
	B	25	67	36	7	135
	$B : A \%$	13,4	28,5	15,5	3,2	15,5
3	A	92	137	140	119	488
	B	16	62	35	7	120
	$B : A \%$	17,4	45,2	25,0	5,9	24,5
4	A	65	73	87	73	298
	B	8	33	22	5	68
	$B : A \%$	12,3	45,2	25,3	6,8	22,8
5	A	41	56	54	47	198
	B	9	31	14	1	55
	$B : A \%$	22,0	55,3	25,9	2,1	27,8
6	A	15	29	32	18	94
	B	3	22	13	0	38
	$B : A \%$	20,0	75,9	40,6	0	40,4
7	A	7	24	22	8	61
	B	2	16	8	0	26
	$B : A \%$	28,6	66,7	36,4	0	42,6
8	A	2	3	13	5	24
	B	0	3	7	0	10
	$B : A \%$	0	100,0	50,0	0	41,6

A = total number of „days of type 2” with n rains

B = total number of days with n rains of which at least one is heavy or very heavy

Nu noteerden wij in de rij 1938 (d.i. $j = 13$) en in de kolom i ook nog de n_i getallen $a_i, b_i, c_i \dots$. Dit betekent, dat er onder die N_i dagen één dag was

met a_i z.r., één dag met b_i z.r., één dag met c_i z.r. enz. (er kunnen onder deze $a, b, c \dots$ gelijke getallen voorkomen).

Getallenvoorbeeld: in Juli 1938 is bij $i = 4$ en 1938 de $N_i = 2$; voorts $a_4 = 1, b_4 = 3$ (d.w.z. $n_i = 2$). Dus er waren $N_i = 2$ dagen, met op elk $i = 4$ regens (onverschillig het type); op één ervan bevatte één van de 4 regens een zwaar gedeelte ($a_4 = 1$); op de andere dag waren er onder de 4 regens zelfs 3 zware regens of regengedeelten. Dus er waren in Juli 1938 geen dagen met 4 uitsluitend gewone regens.

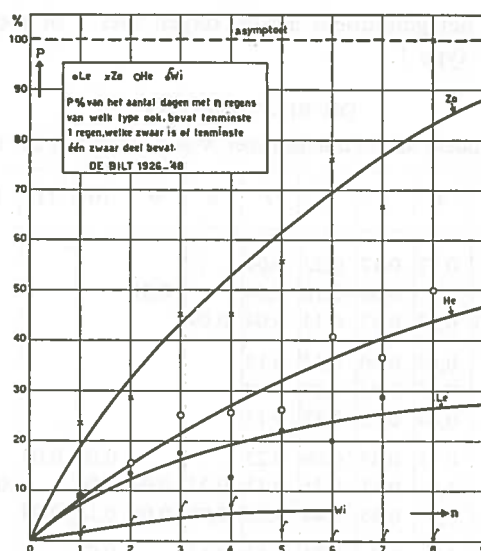


FIG. 48. P % of the mean number of days with n rains (of every type) contain at least one heavy rain.

Zo: summer; He: autumn; Le: spring; Wi: winter

Ander voorbeeld: Augustus 1945 ($j = 20$). Er waren $N_5 = 3$ dagen met $i = 5$ regens (niet lettende op het type); $a_5 = 2; b_5 = 1$, (dus $n_i = 2$) hetgeen betekent, dat er één dag was met 5 regens, waaronder $a_5 = 2$ zware en één dag met 5 regens, waarvan $b_5 = 1$ zwaar. Blijft over: één dag met uitsluitend gewone regens, t.w. 5 stuks. Aldus vormden wij tabel 105. Alleen het overzicht over de 4 seizoenen en het jaar werd daarin opgenomen.

Conclusies: in elk der seizoenen zien wij het percentage $P = B/A$ met toenemende n toenemen, opvallend sterk vooral in de zomer, het minst markant in de winter. Zie fig. 48, waar wij met de vrije hand 4 curven getrokken hebben. Voor dit resultaat in de tussentabel willen wij bijzondere aandacht vragen. Het

beduidt namelijk, dat, hoe meer regens er op een dag vallen, hoe groter de kans is (althans gemiddeld gesproken), dat er onder hen minstens één zware is. In de zomer is zulks sprekender dan in de winter.

Zo is er in de zomer van elke 3 dagen met op elk 2 regens gemiddeld 1 dag met één of meer zware regens onder deze 2 regens; in de herfst is dit eerst bij ongeveer 5 regens per dag het geval; in de lente bij 12 à 13 regens per dag en in de winter bij zeer veel meer (niet te schatten). Overbodig wellicht hieraan toe te voegen, dat dit alles alleen in het gemiddelde geldt.

Tabel 106 bevat het gemiddeld aantal dagen met 1 of meer *gewone* regens per dag, dagen van type 1.

TABEL 106 DE BILT 1926-1948
Gemiddeld aantal a dagen met N gewone regens per dag

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Mrt	3,8	2,1	1,3	0,87	0,17	0,22	0,04								
Apr	4,4	3,1	1,0	1,0	0,68	0,18	0,14		0,01						
Mei	4,5	2,0	0,96	0,65	0,57	0,13	0,04	0,09							
Jun	3,5	2,8	1,0	0,65	0,30	0,13	0,13								
Jul	3,6	2,2	1,3	0,65	0,44	0,09	0,09								
Aug	3,8	2,3	1,0	0,44	0,35	0,17	0,13								
Sep	4,4	2,3	1,1	0,78	0,39	0,09	0,22			0,04	0,04				
Oct	4,7	3,2	1,4	1,0	0,61	0,31	0,13	0,22	0,04	0,04		0,04	0,04		
Nov	5,7	3,1	2,0	1,0	0,65	0,44	0,26	0,09	0,09	0,13	0,04				0,04
Dec	5,0	3,2	2,1	1,1	1,0	0,31	0,13	0,13		0,04					
Jan	5,4	2,9	1,7	1,2	0,57	0,39	0,13	0,09		0,04					
Feb	4,6	3,1	1,1	0,61	0,48	0,09	0,13		0,04	0,04					
Le	12,7	7,2	3,3	2,5	1,4	0,53	0,22	0,09	0,01						
Zo	10,9	7,3	3,3	1,7	1,1	0,39	0,35								
He	14,8	8,6	4,5	2,8	1,6	0,84	0,61	0,31	0,13	0,21	0,08	0,04	0,04		0,04
Wi	15,2	9,2	4,9	2,9	2,0	0,79	0,39	0,22	0,04	0,12					
Jr	53,6	32,3	16,0	9,9	6,1	2,6	1,6	0,62	0,18	0,33	0,08	0,04	0,04		0,04

Mean annual number of days with N ordinary rains („days of type I")

Conclusies:

Ook wanneer wij dagen met uitsluitend gewone regens beschouwen, valt op, dat het gemiddeld aantal dagen met N regens bij toenemende N sterk daalt, het sterkst vooral in de zomer, het minst sterk in de herfst. Anders gezegd: het zijn vooral de vele dagen met vele gewone regens, waardoor zich de herfst van

de zomer onderscheidt. Men zie bijv. naar de getallen achter de zomer, zowel in tabel 104 als in tabel 106. In de laatste komen er niet meer voor onder $N = 8$; in de eerste niet meer onder $N = 12$. Dit betekent, dat er dagen met vele (bijv. 8 of meer) „gewone” regens in de zomer (zo goed als) niet voorkomen. Voorzover er toch dagen met 8 of meer regens zijn, bevinden zich daaronder (zo goed als) zeker ook zware of zeer zware. Maar in de herfst komen er zelfs nog dagen met 11 à 15 gewone regens voor. Men dient natuurlijk geen grote waarde aan de getallen zelf te hechten. Immers van de kans op een verschijnsel, dat 1 of 2 keren in 23 jaren optrad, valt betrekkelijk weinig te zeggen. Wij menen echter wel de tendens in deze getallen reëel te mogen achten.

Tenslotte willen wij nog wijzen op de jaarlijkse gang onder elke N -waarde, die zeer markant is voor grote N . Wij drukken daartoe voor elk seizoen het aantal dagen met N regens uit in procenten van het aantal dagen in het ganse jaar met N regens en wel voor $N = 1, 5$ en 10 , zowel voor dagen met louter „gewone” regens, als voor dagen met regens van welk type dan ook.

TABEL 107

DE BILT 1926-1948

Jaarlijkse gang in %

N	A dagen met alle typen van regens			B dagen met uitsluitend gewone regens		
	1	5	10	1	5	10
Le	23	21	9	24	23	
Zo	24	28	9	20	18	
He	27	27	55	28	26	63
Wi	26	24	37	28	33	37
Jr	100	100	100	100	100	100

Annual variation in the number of days with $N = 1$, $N = 5$ and $N = 10$ rains of any type whatever (A), and for days with N ordinary rains (B)

Er staat dus, dat van de 100 dagen in het ganse jaar met precies 5 regens van welk type ook, er gemiddeld genomen 28 in de zomer en 21 in de lente liggen. Beschouwen wij alleen gewone regens, dan resp. 18 en 23 stuks.

De jaarlijkse gang wordt markanter met toenemende N , vooral als men uitsluitend op dagen met gewone regens wil letten.

HOOFDSTUK 11

ZWARE REGENS, WAARGENOMEN MET GEWONE
REGENMETERS

11.1 Grote gemiddelde intensiteiten

Gezien de grote belangstelling, die voor de gegevens in tabel 23 van de M.V. 34a blijkt te bestaan, kwam het ons gewenst voor ook de gedurende de jaren 1931 tot heden aan ons bekend geworden, met de gewone regenmeter gemeten, intense regens in deze verhandeling te vermelden. Wij brengen ook langs deze weg dank aan de talrijke enthousiaste regenwaarnemers, die de moeite wilden nemen om zware regens tussentijds af te tappen. De lijst bevat ook gegevens afkomstig van die onweerwaarnemers, die privé in het bezit van een regenmeter waren, terwijl tenslotte ook van vele anderen berichten binnenkwamen [36].

De ruimte ontbreekt om alles te publiceren; bovendien zou dat weinig zin hebben, omdat, naar ons bleek, in de praktijk toch eigenlijk slechts belangstelling bestaat voor de zeldzame regens of gedeelten van regens (die, voor zover zij van korte duur zijn, grote gemiddelde intensiteiten bezitten). Wij hebben dus veel materiaal op zij gelegd.

Terwijl B r a k slechts lette op „de buien met de grootste intensiteit” (M.V. 34a blz. 31), leggen wij ons hier een andere beperking op. Wij nemen namelijk alleen die regens in de tabel op, die zeldzamer zijn dan 1 op gemiddeld 5 jaren. Voor zulke regens of gedeelten van regens, van een duur t , is de hoeveelheid h tenminste $h_0 = 1,98(5)^{0,26} t^{0,54} = 4,7 t^{0,26}$ (h in mm; t in minuten).

Deze formule eist enige toelichting. V a n d e n A k k e r ¹⁾ [37] heeft aan-

¹⁾ Zie het boek Rioleringen, deel I „Het ontwerpen en berekenen van een riolennet”. Wij leggen er echter de nadruk op, dat de in onze tekst genoemde relatie een zeer grove benadering is van de ware betrekking tussen de grootheden h , t en j ; het is zelfs zeer de vraag of de vorm $h = A j^B t^C$ wel de beste keuze is.

Zowel een onderzoek naar een betere analytische vorm als een naar de praktijk zoveel mogelijk bevredigende grafische wijze van voorstellen (wil men persé, dat de krommen $j = \text{constant}$ rechte lijnen zullen zijn, dan zullen zeer bijzondere schaalverdelingen langs de t - en h -as gekozen moeten worden), hebben wij tot later willen uitstellen, én om meer gegevens af te wachten én om deze mathematisch-statistische kwestie eerst scherper onder de loupe te nemen.

De lezer moet er zich dus niet over verbazen, dat de krommen uit fig. 39 en die uit fig. 49 vrijwel steeds (dikwijls niet belangrijk) verschillende antwoorden op eenzelfde vraag geven.

Wij hebben toch enige aandacht aan de relatie van v. d. Akker willen besteden, omdat zij zo simpel is en in een dubbellogaritmisch net tot rechte lijnen leidt. Voor onze uitvoerige kritiek leze men in De Ingenieur 66 No. 37 B. 157 1954

getoond, dat zich de getallen, genoemd in tabel 33 van M.V. 34a blz. 43, „vrij goed” laten benaderen door de formule $h_0 = 1,98 j^{0,54} t^{0,26}$. Zij betekent: 1 keer in de gemiddeld j jaren (bij B r a a k: $j = 2; 10; 50; 250$) komt er (ergens in het jaar) een regen of regendeel voor, van een duur t minuten, waarin de hoeveelheid de gegeven uitdrukking bereikt of overschrijdt.

Dit geldt dan voor ieder station in het land. Wij willen hier niet ingaan op de wijze, waarop v a n d e n A k k e r tot juist deze uitdrukking kwam (men kan, gemakshalve, onthouden: ongeveer evenredig met $\sqrt{j}$ en $t^{\frac{1}{2}}$), evenmin op de goedheid van aanpassing. In fig. 49 is de formule $h = h(j, t)$ voor verschillende waarden van j in beeld gebracht en wel in een dubbellogaritmisch net, omdat dan zowel de h als de t over een breed traject variëren kan en omdat de j -curven dan rechten zijn.

Wij hebben ons naar beide zijden aan een verre extrapolatie gewaagd (tot $j = 1/5$ en tot $j = 500$ jaren). In dezelfde grafiek hebben wij de grootste tot heden bekend geworden hoeveelheden, gevallen in t minuten (t allerlei waarden), als punten in beeld gebracht. Zij vormen een „rommelig” geheel. Het is gevaarlijk op basis van deze gegevens te concluderen, dat zich deze punten op den duur (d.w.z. als meer materiaal beschikbaar wordt) zouden verdichten rondom een bepaalde rechte (één der rechten uit het stelsel van v a n d e n A k k e r?). Men leest uit de figuur af hoe groot de grootste hoeveelheden tot nu toe waren, terwijl het mogelijk schijnt aan te geven beneden welke topwaarden zij toch „zeker” zullen blijven, ook al meten wij nog honderden jaren. Een drietal punten verdient speciale aandacht: met punt A is aangegeven de grootste dagsom, die wij kennen: 208 mm, afgetapt 3 Augustus 1948 te Voorthuizen; B: de grootste maandsom, die wij kennen: 321 mm, de maand October 1932 te Zandvoort; C: de grootste jaarsom, die wij kennen, t.w. 1420 mm, het jaar 1935 te Cruquius. Punt C ligt op de rechte met $j \cong 300$; B op $j \cong 70$ en A op $j \cong 150$.

Links boven in de figuur is nog getekend de rechte $h = 46,9 \sqrt{t}$. F l e t c h e r [38] beweert, dat de omhullende van de wereld-record-regenvalwaarden, voor duren tussen enige minuten en 6 maanden, zeer goed weergegeven kan worden door $h = k t^n$; k en n zijn daarbij constanten. Met h in inches, t in uren. Er kwam $k = 14,3$ inch, en $n = 0,49$ (zegge 0,5). De lezer ziet, dat de Nederlandse records daar ver beneden blijven. Voor ons land alleen zou de plafond-rechte (indien men de $\sqrt{t}$ -uitdrukking kiezen wil) misschien $h = 12,7 \sqrt{t}$ zijn, terwijl de beste rechte van de vorm $h = a t^b$, passende bij de punten, zou worden $h = 6,6 t^{0,54}$. F l e t c h e r: $h = 46,9 \sqrt{t}$; nu h in mm, t in min.

In dezelfde figuur hebben wij met kruisjes aangegeven de grootste hoeveelheden in volledige regens, geregistreerd te De Bilt, ingedeeld naar hun duren in de intervallen 1-5; 6-10; 11-15 minuten. Men ziet, dat de wolk der kruisjes in zijn geheel beneden die der punten ligt. Dit ligt niet alleen aan het feit, dat de punten gegevens van overal uit Nederland voorstellen (zie fig. 47)

maar ook en misschien wel voornamelijk aan het verschil in betekenis der punten en kruisjes. Zo was de grootste hoeveelheid in een regen van 95 minuten te De Bilt 24 mm, zodat de gemiddelde intensiteit 0,25 mm/min was (deze regen was dus als geheel een zware regen). In deze regen zijn natuurlijk gedeelten te vinden van bijv. 0,40 mm/min (althans als bekend is, dat de maximale intensiteit in de regen bijv. 0,65 mm/min is). Wij zouden kunnen zoeken naar dat gedeelte met een $i = 0,40$ en een zo klein mogelijke duur. Zij deze 10 minuten. De 10 minuten van meest intense val in deze regen van 24 mm in 95 minuten zouden dan „bevatten” 4,0 mm en als een punt (nu niet meer een kruisje) in de wolk der punten een plaatsje krijgen (en in de figuur onderaan, want de grootste hoeveelheid, die „ooit” in 10 minuten, ergens in Nederland, viel, is 17,4 mm, zie tabel 108). De beste rechte van de vorm $h = ct^d$ bij de kruisjes wordt $h = 1,5 t^{0,59}$.

Voorts dient op een verschil tussen het drietal punten A, B en C en de overige kruisjes gewezen te worden. Elk punt en elk kruisje representeert steeds een tijdvak van t minuten, waarover het van begin tot einde regende, terwijl het voor punt A (B, C) niet gedurende het ganse etmaal (de ganse maand, resp. het ganse jaar) regende. Zo gezien zou de puntenwolk eigenlijk rechts bij 2 à 3 dagen moeten „eindigen”, aangezien het uiterst zelden in Nederland langer dan 2 (à 3) dagen *achtereen* zal regenen.

De figuur laat zich gemakkelijk als volgt gebruiken. Wanneer iemand in een regen een zeer intens deel afzonderlijk gemeten heeft, en wel bijv. $h = 36$ mm in $t = 50$ minuten, en hij wil weten hoe zeldzaam deze regen is, dan brengt hij deze regen in de figuur als punt aan en trekt vervolgens een rechte evenwijdig aan alle andere rechten van *van den Akker*. Vanuit het snijpunt met de linker h -as trekt hij een horizontale rechte, welke de frequentierechte (in plaat II) snijdt in een punt, dat $j = 30$ als abscis heeft (deze frequentierechte stelt voor $h = 1,98 j^{0,54}$). Het antwoord luidt dus: het komt in een „gemiddeld gelegen station” 1 keer in gemiddeld 30 jaren voor, dat een regen een (meest intens) deel van 36 of meer mm in 50 minuten bevat.

Wij keren nu terug tot de bespreking van tabel 108. In de tabel zijn dus alleen die regengedeelten opgenomen, die in fig. 49 een plaats krijgen boven (of op) de rechte met parameter $j = 5$. Het is duidelijk, dat zowel de h als de t onnauwkeurig gemeten zijn; bijgevolg is de gemiddelde intensiteit $i = h : t$ ook onnauwkeurig. Wij voegen de derde kolom slechts toe om de lezer enig idee te geven van het verloop van deze intensiteit bij langer durende intense regens. Men ziet: hoe langer de duur, hoe lager ligt de gemiddelde intensiteit. Zo vermeldt onze lijst (die ook de gegevens van tabel 23 in M.V. 34a bevat) slechts enkele regens (of regengedeelten), welke bij een duur van bijv. meer dan 30 minuten een gemiddelde intensiteit van 1,00 mm/min of meer hadden (deze „zeer zware” regens blijken zeldzamer dan 1 op gem. 30 jaren). Deze regens worden weergegeven door punten, die boven de rechte $h = t$ en rechts

van de verticaal op $t = 30$ minuten liggen. Men ziet, dat door het snijpunt van genoemde twee rechten de frequentierechte $j = 30$ gaat.

TABEL 108

± 1853-heden

Lijst van die regens of gedeelten van regens, die zeldzamer zijn dan 1 keer per gemiddeld 5 jaren; h = hoeveelheid; t = duur; $h \geq 1,98 (5)^{0,54} t^{0,26} = 4,7 t^{0,26}$; $i = h : t$
[Waarnemingen met pluviograaf zijn met * gemerkt]

*List of the rainfalls h in whole rains or in parts of rains with duration t which have a frequency less than once in 5 years; h in mm; t in minutes; $i = h : t$. Pluviograph observations are marked with *; all the other data come from ordinary raingauges*

h mm	t min	i mm/min	Station	Datum
4,0	1	4,00	De Bilt*	24- 6-09
4,0	1	4,00	De Bilt*	27- 8-16
8,5	2	4,25	Ammerzoden	15- 7-34
3,7	2,5	1,48	Borculo	27- 5-46
8,4	2-3	2,8-4,2	Amsterdam*	9- 8-51
5,0	3	1,67	Boskoop	10-10-52
6,1	3	2,03	Tilburg*	26- 8-19
7,5	3	2,50	Goes	10- 6-08
7,7	3	2,57	De Bilt*	10- 5-48
8,1	3	2,70	Amsterdam*	9- 8-51
9,0	3	3,00	De Bilt*	7- 6-10
10,0	3	3,33	Amsterdam*	7- 7-34
7,9	4	2,00	Tilburg	18- 5-25
8,0	4	2,00	Hilversum	21- 8-52
8,0	4	2,00	De Bilt*	9- 8-12
8,5	4	2,12	Tilburg*	10- 8-25
8,9	4	2,25	De Bilt*	1- 6-27
9,0	4	2,25	Tilburg*	26- 5-46
10,0	4	2,50	Den Haag*	15- 8-17
10,0	4	2,50	Tilburg*	1- 6-27
10,6	4	2,65	De Bilt*	9- 7-05
10,8	4	2,70	De Bilt*	19- 7-09
8,5	5	1,70	Ammerzoden	15- 7-34
10,0	5	2,00	Tilburg*	14- 7-27
10,0	5	2,00	Den Haag*	8- 8-52
10,5	5	2,10	Amsterdam*	5- 5-25
10,8	5	2,16	Den Haag*	27- 7-28

<i>h</i> mm	<i>t</i> min	<i>i</i> mm/min	Station	Datum
11,5	5	2,30	Den Haag*	4- 8-63
11,5	5	2,30	Den Haag*	27-12-38
12,5	5	2,50	Tilburg*	5- 2-40
13,0	5	2,60	Utrecht*	8- 8-51
13,3	5	2,66	Den Haag*	1- 6-38
13,5	5	2,70	Den Haag*	10-12-29
18,0	5	3,60	Borculo	21- 7-34
19,2	5	3,84	Den Haag*	17- 6-33
20,0	6	3,33	Hogerheide	15- 8-52
15,2	10	1,52	Delft	19- 3-37
17,2	10	1,72	Oirschot	8- 6-46
17,4	10	1,74	Hoenderlo	26- 3-43
26,0	12	2,17	Sappemeer	9- 8-51
27,8	12	2,32	Den Haag*	8- 6-46
20,0	14	1,43	Mookhoek	23- 8-50
27,6	14	2,00	Den Haag*	8- 6-46
20,0	15	1,32	Krabbendijke	11- 6-35
21,0	15	1,40	Schermerhorn	6- 8-46
22,5	15	1,50	Bijsselse Beek	23- 8-50
24,1	15	1,60	Den Haag*	31- 7-50
24,2	15	1,61	Mookhoek	4- 6-44
24,8	15	1,66	Zegveld	21- 7-50
30,0	15	2,00	Stramproy	31- 6-44
27,1	18	1,51	Heino	25- 8-37
36,8	19	1,00	Utrecht*	3- 7-52
19,7	20	0,98	Leeuwarden	8- 7-51
20,0	20	1,00	Amsterdam*	13- 9-39
22,8	20	1,14	's Heerenbroek	3- 7-50
26,5	20	1,32	Mookhoek	26- 8-46
29,8	20	1,49	Overveen	9- 8-38
31,5	20	1,58	Terneuzen	19- 6-37
43,0	22	1,95	Boskoop	26- 5-46
20,6	21-25	0,8-1,0	Zoutkamp	28- 7-16
29,0	21-25	1,2-1,4	Mookhoek	12- 6-30
31,2	21-25	1,2-1,5	Kamper Eiland	3- 7-14
45,5	21-25	1,8-2,2	Uithuizen	6- 8-27

<i>h</i> mm	<i>t</i> min	<i>i</i> mm/min	Station	Datum
29,0	25	1,16	Mookhoek	2- 6-30
33,0	25	1,32	Nijmegen	7- 8-37
22,0	26-30	0,7-0,8	Hallum	5- 9-16
24,0	26-30	0,8-0,9	Boskoop	22- 6-09
30,2	26-30	1,0-1,2	Hilversum	15- 7-13
35,0	26-30	1,2-1,3	Veendam	2- 8-24
62,0	26-30	2,1-2,4	De Steeg	10- 6-15
64,5	26-30	2,2-2,5	Venray	10- 6-15
21,2	29	0,73	Lisse	16- 7-39
21,9	30	0,73	Abcoude	29- 6-33
22,0	30	0,73	W. Kapelle	16- 6-37
23,0	30	0,77	Den Burg	29- 6-48
25,0	30	0,83	Nes	9- 7-36
26,0	30	0,87	Lottum	8- 6-46
27,2	30	0,91	Vasse	21- 7-48
29,0	30	0,97	Schagen	8- 6-38
29,7	30	0,99	Doetinchem	7- 8-36
30,0	30	1,00	Schoorl	3- 7-44
30,5	30	1,02	Middelburg	3- 7-44
31,6	30	1,05	Heemstede	15- 7-37
32,5	30	1,08	Schaesberg	1- 8-32
33,6	30	1,12	Overveen	13- 7-49
34,0	30	1,13	Krabbendijke	15- 9-34
36,4	30	1,21	Gorredijk	24- 8-50
37,0	30	1,23	Kampen	31- 5-42
41,5	30	1,38	Benschop	16- 7-49
42,0	30	1,40	Amsterdam*	7- 7-36
73,0	33	2,21	Boskoop	31/1- 8-51
22,4	31-40	0,6-0,7	Hengelo	10- 6-15
29,5	31-40	0,7-1,0	Hattem	10- 8-25
30,0	31-40	0,7-1,0	Amsterdam*	11- 6-14
40,0	31-40	1,0-1,3	Velsen	22- 6-30
45,0	31-40	1,1-1,5	Oosterland	18- 7-10
46,0	31-40	1,1-1,5	Eext	25- 5-30
27,0	36	0,75	Nieuwvliet	29- 6-36
23,5	38	0,62	Koedijk	23- 6-40
30,0	40	0,75	Zwolle	21- 7-50

<i>h</i> mm	<i>t</i> min	<i>i</i> mm/min	Station	Datum
23,5	41-50	0,5-0,6	Terwinselen	29- 7-17
27,0	45	0,60	Roermond	27- 4-40
30,0	41-50	0,6-0,7	Helmond	12-10-15
30,0	41-50	0,6-0,7	Utrecht	8- 8-75
33,0	41-50	0,7-0,8	Scheveningen	13- 7-89
33,5	41-50	0,7-0,8	Kilder	28- 7-08
37,0	41-50	0,7-0,9	Wageningen	25- 6-05
37,0	41-50	0,7-0,9	Amsterdam*	11- 6-14
48,0	41-50	1,0-1,2	Rijswijk	28-10-24
25,1	47	0,54	Doorn	26- 7-39
43,3	47	0,92	Voorschoten	3- 9-39
31,0	50	0,62	Sappemeer	9- 8-51
48,0	50	0,96	W. Terschelling	28- 7-52
26,5	51-60	0,4-0,5	Nes	22- 7-19
28,0	51-60	0,5-0,6	Utrecht	24- 6-89
29,0	51-60	0,5-0,6	Kilder	8- 7-08
29,5	51-60	0,5-0,6	Aalsum	15- 7-17
29,8	51-60	0,5-0,6	Eerbeek	28- 7-08
30,2	51-60	0,5-0,6	Uithuizen	30- 7-17
34,0	51-60	0,6-0,7	Tilburg*	30- 5-13
35,0	41-60	0,6-0,7	Vught	7- 8-27
39,0	51-60	0,6-0,7	Utrecht	22- 6-88
40,0	55	0,73	Finsterwolde	13- 7-41
40,0	51-60	0,7-0,8	Lunteren	5- 6-11
45,5	55	0,83	Voorschoten	24- 6-40
47,0	51-60	0,8-0,9	Wageningen	22- 6-88
48,0	51-60	0,8-0,9	Rockanje	29- 9-09
49,4	51-60	0,8-1,0	Oirschot	25- 5-20
50,5	51-60	0,8-1,0	Lochem	14- 7-14
53,0	51-60	0,9-1,0	Arnhem	19- 7-30
26,8	60	0,45	Gouda	13- 9-36
27,0	60	0,45	Venray	25- 6-41
28,2	60	0,46	Zegveld	29- 5-33
29,2	60	0,49	Tilburg	27- 4-40
30,4	60	0,51	Oude Wetering	22- 4-32
32,5	60	0,54	Venray	25- 8-46
33,0	60	0,55	Voorschoten	13- 8-32
36,0	60	0,60	Haamstede	11- 6-35
36,0	60	0,60	St. Anthonis	25- 6-41
39,0	60	0,65	Dwingelo	16- 7-33

<i>h</i> mm	<i>t</i> min.	<i>i</i> mm/min	Station	Datum
40,0	60	0,67	Herwijnen	22- 7-33
46,0	60	0,72	Hoorn	26- 5-46
51,2	60	0,85	Lage Zwaluwe	26- 5-46
52,0	60	0,87	Winschoten	24- 7-41
52,0	60	0,87	Vroomshoop	13- 7-41
53,0	60	0,88	Arnhem	19- 6-30
55,0	60	0,92	Vaals	24- 7-45
62,0	60	1,03	Putten	12- 7-41
86,0	60	1,43	Groningen	15- 7-32
31,5	61-70	0,4-0,5	Apeldoorn	20- 8-00
41,2	61-70	0,6-0,7	Breda	29- 8-07
86,0	70	1,23	Groningen	15- 7-32
31,0	71-80	± 0,4	Megen	11- 6-14
32,1	75	0,43	Driebergen	15- 8-31
34,0	75	0,45	Doorn	15- 7-40
39,0	75	0,51	Gemaal de Voorst	4- 6-47
45,0	71-80	± 0,6	Lochem	3- 6-89
60,0	75	0,80	Sittard	3- 5-33
67,0	75	0,89	Stein	2- 8-48
67,7	71-80	± 0,9	Zevenhuizen	4- 6-08
49,3	76	0,65	Vorden	14- 7-39
27,8	80	0,35	Oude Wetering	22- 6-39
32,5	80	0,41	Someren	8- 8-39
43,0	80	0,54	Purmerend	8- 7-40
31,0	81-90	± 0,4	Zevenhuizen	24- 5-17
43,7	81-90	± 0,5	Eerbeek	10- 6-15
62,5	81-90	± 0,8	Ulvenhout	26- 8-07
63,5	89	0,72	Heemstede	1- 7-36
27,5	90	0,30	Sneek	30- 7-36
29,5	90	0,33	Bennebroek	10- 6-35
33,4	90	0,37	Gouda	5- 8-47
38,0	90	0,42	Doorn	5- 8-38
40,0	90	0,44	Gemaal Lely	29- 9-35
48,4	90	0,54	Lobith	13- 9-40
52,5	90	0,58	IJsselmuiden	7- 7-36
63,6	90	0,71	Heemstede	7- 7-36
68,5	90	0,74	Scheemda	13- 7-41
72,5	90	0,80	Numansdorp	21- 8-39

<i>h</i> mm	<i>t</i> min	<i>i</i> mm/min	Station	Datum
37,0	91-100	$\pm 0,4$	Helmond	12-10-15
37,0	91-100	$\pm 0,4$	Finsterwolde	9- 8-09
55,5	91-100	$\pm 0,6$	Wageningen	9- 8-09
37,8	100	0,38	Heden	4- 8-31
43,2	100	0,43	Oirschot	26- 5-46
30,0	101-110	$\pm 0,3$	Aalten	30- 8-28
37,5	105	0,36	Bussum	26- 7-39
42,0	101-110	$\pm 0,4$	Zoutkamp	14- 8-15
43,7	101-110	$\pm 0,4$	Zoutkamp	9- 7-13
47,1	101-110	$\pm 0,4$	Ter Apel	20- 8-00
50,5	105	0,48	Enkhuizen	12- 7-41
51,2	105	0,49	Borculo	12- 7-40
62,4	110	0,52	Sittard	3- 5-33
34,0	111-120	$\pm 0,3$	Goes	30- 8-16
36,0	111-120	$\pm 0,3$	Warnsveld	8- 8-22
36,0	111-120	$\pm 0,3$	Borculo	9- 8-09
40,0	111-120	$\pm 0,3$	Utrecht	25- 8-25
43,0	111-120	$\pm 0,4$	Wageningen	12- 5-20
66,1	111-120	$\pm 0,6$	Sneek	6- 8-27
31,5	120	0,26	Doetinchem	8- 6-37
35,0	120	0,29	Harskamp	29- 6-35
35,9	120	0,30	Marum	25- 8-46
41,1	120	0,34	Texel	26- 7-39
54,8	120	0,46	Driebergen	5- 8-38
70,5	120	0,59	Chaam	10- 5-47
83,7	120	0,70	Helmond	12- 7-32
41,0	128	0,32	Helmond	12- 7-32
50,0	130	0,38	Overveen	7- 7-36
53,6	131-140	$\pm 0,4$	Hengelo	20- 9-99
33,3	140	0,24	Weert	7- 6-37
29,4	141-150	$\pm 0,3$	Ter Apel	24- 8-00
91,0	141-150	$\pm 0,6$	Megen	4- 7-14
46,8	150	0,31	Boskoop	27- 6-46
60,0	150	0,40	Velsen	7- 7-36
71,0	150	0,47	Delft	14- 8-37

<i>h</i> mm	<i>t</i> min	<i>i</i> mm/min	Station	Datum
47,0	159	0,30	Sem	5- 6-41
52,4	171-180	± 0,3	Roermond	20- 8-00
63,7	171-180	± 0,4	Rijswijk	10- 6-15
79,5	171-180	± 0,5	Venray	18- 7-17
37,5	180	0,21	Wilhelminadorp	13- 7-32
39,0	180	0,22	Nieuwvliet	30- 7-39
43,0	180	0,24	Kornwerderzand	25- 9-35
58,0	180	0,32	Frederiksoord	25- 8-46
39,5	190	0,21	Someren	10- 6-53
45,6	191-200	± 0,2	Schoorl	28- 7-11
74,0	195	0,38	Lochem	8- 8-44
61,4	199	0,31	Schiermonnikoog	7- 7-36
42,0	210	0,20	De Bilt*	22- 9-36
71,0	210	0,34	Breda	29- 8-07
39,5	240	0,16	Appelsga	27- 5-32
46,3	240	0,19	Aalsum	9- 6-10
47,1	240	0,20	Zoutkamp	14- 8-15
63,3	240	0,26	Harlingen	12- 8-01
72,3	240	0,30	Rijswijk (Betuwe)	1- 8-17
55,0	255	0,22	Schaesberg	8- 8-24
128,5	255	0,50	Schagen	12- 6-30
30,8	276	0,10	Leeuwarden	9- 6-15
52,0	280	0,19	Doorn	7, 8- 8-38
84,0	287	0,29	Lisse*	14- 8-38
41,5	300	0,14	Aalsum	14- 8-15
47,2	300	0,16	Ter Idzerd	24- 8-09
56,1	300	0,19	Doetinchem	20- 9-36
63,9	300	0,21	St. Anna Parochie	10- 7-17
41,2	390	0,11	Krabbendijke	2- 6-34
45,3	404	0,11	Leeuwarden	4-10-17
47,0	435	0,11	Doorn	12- 9-39
53,2	480	0,10	Kadijk	28- 7-08
96,6	480	0,20	Venray	6- 9-48

h mm	t min	i mm/min	Station	Datum
126,9	480	0,26	Leiduin	4- 6-21
80,3	510	0,16	W. Terschelling	12- 8-01
53,2	540	0,10	Vlieland	12- 8-01
66,1	600	0,11	Koudum	11- 7-42
70,8	600	0,12	Brouwershaven	14- 8-37
66,4	627	0,11	Lisse	14- 8-38
49,4	630	0,10	Nijmegen	12- 6-30
56,8	660	0,09	Oude Wetering	29- 7-01
66,1	720	0,09	Abcoude	7- 5-31
72,0	720	0,10	Leeghwater	4- 6-21
126,0	720	0,17	Uithuizen	14- 8-15
67,0	780	0,10	Wijster	26, 27-8-38
77,5	780	0,10	Den Hulst	7, 8- 5-31
58,9	900	0,07	Amsterdam*	7- 5-31
77,5	1020	0,08	Den Hulst	7- 5-31
99,0	1380	0,07	Schaesberg	8- 8-24
78,5	1440	0,05	Ubachsberg	9- 6-05
89,8	1440	0,06	Vlieland	6- 8-27

Van de in deze tabel genoemde 264 intense regens vielen er in de maand Jan: 1; Feb: 1; Mrt: 2; Apr: 3; Mei: 24; Jun: 62; Jul: 74; Aug: 76; Sep: 14; Oct: 5; Nov: 0 en Dec: 2. Het seizoeneffect is derhalve zeer markant.

Komen in Nederland „wolkbreuken” voor en zo ja, hoe vaak?

Het antwoord hangt natuurlijk nauw samen met de definitie van een wolkbreuk. Minnaert [16] zegt, dat er meer dan 50 mm binnen een half uur gevallen moet zijn. Ons onderzoek heeft geleerd, dat er, althans te De Bilt en wel gedurende de jaren 1899 tot heden, nimmer een regen viel, die in totaal minder dan een half uur duurde en daarbij 50 of meer mm bracht. De langst-durende regen, die voor de volle lengte zeer zwaar was (een wolkbreuk is zeker een zeer zware regen), duurde 30 minuten en leverde 30,3 mm. Minnaert's definitie heeft blijkbaar een regen op het oog, waarin zich een gedeelte laat aanwijzen, waarin binnen een half uur tenminste 50 mm viel. De krommen

van B r a a k (fig. 49) leren, dat zulk een regen op een gegeven plaats te verwachten is 1 keer in gemiddeld ca 75 jaren.

In tabel 108 komen zeker drie wolkbreuken voor en wel van 62,0 mm in 26 à 30 minuten (De Steeg; 10-6-1915), 64,5 mm in 26 à 30 minuten (Venray; 10-6-1915) en 73 mm in 33 minuten (dus „zeker” tenminste 50 mm in 30 minuten; Boskoop; 1-8-51). Niet in de tabel werd opgenomen de wolkbreuk, die in de vroege ochtend van 9 Augustus 1951 (H.D. 49 171 1951) boven Amsterdam losbarstte. Wij analyseerden deze eerst na de opstelling van de tabel. Volgens de pluviograaf van de Hortus Botanicus kwam van 5 tot 5h 30 ongeveer 70 mm neer. Dat worden dus 4 wolkbreuken in ruim 100 jaren. Men zij voorzichtig met hieruit onmiddellijk te concluderen, dat een wolkbreuk voorkomt 1 keer in gemiddeld 25 jaren ergens in het land. De kwestie is nl., dat sedert 1850 het stationsnet gestadig dichter werd en hoe meer regenstations, hoe meer kans is er op één van hen een wolkbreuk te meten. Wij kunnen in deze verhandeling niet dieper ingaan op de statistische complicaties, die deze omstandigheid meebrengt [31].

Een waarschijnlijkheid van 1 op 75 jaren lijkt klein, doch als het net 300 stations telt en als er weinig of geen verband is tussen het optreden van de wolkbreuken op verschillende plaatsen, alleen dan mag gezegd worden, dat er gemiddeld 4 ($= 300 : 75$) wolkbreuken per jaar ergens in het land gemeten zullen worden ¹⁾ ²⁾.

In het door B r a a k bewerkte tijdvak ($\pm 1850-1930$) zijn 117 tussentijdse aftappingen verricht op 78 verschillende stations (op vele stations dus meer dan één keer). Van deze 117 stuks worden er 59 beschreven in M.V. 34a, tabel 23. Over de 18 jaren 1931-1948 waren deze getallen 298 resp. 111. Enige bijzonderheden zijn in de volgende tabel 109 bijeen genomen.

De tabel geeft aanleiding tot de volgende opmerkingen. Wij zien, dat het aantal stations, gemiddeld per jaar, van de eerste naar de tweede periode ruim

¹⁾ In 1.0 vertelden wij, dat H e l l m a n n [4] voor midden-europese toestanden een wolkbreuk definieert als een regen, waarin in een uur tenminste 59 mm of in twee uren tenminste 69 mm gevallen is. Het komt ons voor, dat het beter is in de definitie een kleiner tijdvak (bijv. 15 of 30 minuten) te betrekken, omdat toch het essentiële van een wolkbreuk is, dat er in een klein tijdsverloop (een uur mag toch niet meer klein genoemd worden) zeer veel neerslag gevallen moet zijn. Binnen een uur met 59 mm of meer is zeker een half uur aan te wijzen met tenminste 30 mm. De krommen van B r a a k geven voor zulke regens een kans van 1 op gemiddeld 30 jaren voor een gegeven plaats. Dan zouden er ongeveer 10 wolkbreuken voorkomen per jaar ergens in het land (rond 300 regenstations)

²⁾ Of moet het verschil tussen een wolkbreuk en andere intense regens in de druppelgrootten gezocht worden? Men beweert wel, dat bij werkelijke wolkbreuken de regen niet in afzonderlijke druppels maar als een ononderbroken watermassa valt (en dus vanzelfsprekend slechts gedurende korte tijd). Andere dan krantenberichten (die o.i. weinig betrouwbaar zijn) staan ons niet ter beschikking

TABEL 109

	A ($\pm$ 1850-1930)	B (1931-1948)	C = B/A
a. Aantal regenstations, gem. per jaar	90	282	3,1
b. Aantal verschillende stations, waarop tenminste één keer een zware regen tussentijds afgetapt werd; gem. per jaar	1,0 (= 1,1 %)	6,2 (= 2,2 %)	6,4 (2,1 %)
c. Gemiddeld aantal tussentijdse aftappingen per station, als bedoeld onder b	1,5	2,7	1,8

3 keer zo groot geworden is, terwijl het aantal stations (de officiële regenstations worden bedoeld), waarop de waarnemer een tussentijdse meting verrichtte, veel sterker toenam, t.w. met een factor 6. De tussen haakjes geplaatste percentages in rij b wijzen op een toegenomen activiteit per waarnemer. Men zou kunnen tegenwerpen, dat de periode na 1930 rijker aan zware regens geweest kan zijn dan die vóór 1930. Hoewel wij het tegendeel moeilijk kunnen bewijzen (er is voldoende materiaal, doch de toeneming van het stationsnet van jaar op jaar maakt de statistische aanpak ingewikkeld) geloven wij, mede op grond van het feit, dat de gemiddelde jaarsommen voor het land gedurende de twee tijdvakken niet significant verschillen, eerder in een toegenomen oplettendheid en medewerking van onze waarnemers.

Hoewel het K.N.M.I. zijn waarnemers blijft stimuleren de bijzonder zware regens, indien maar even mogelijk, afzonderlijk te meten, dient men altijd te bedenken, dat slechts een kleine groep hiertoe in staat is. Bovendien vragen wij meer dan een medewerking voor slechts zo nu en dan. Ofschoon alle gegevens, betrekking hebbende op zware regens, van waar en wanneer ook, welkom zijn, omdat zij ons een indruk geven van wat er zo ongeveer „maximaal” kan vallen in verschillende perioden, hebben zij veel meer waarde, wanneer zij komen van een vast, eventueel klein, aantal stations, waarvan de waarnemers kunnen verzekeren, dat zij gedurende een reeks van jaren „iedere” bij hen gevallen intense regen inderdaad gemeten hebben, op welk uur van het etmaal deze ook viel. Het is duidelijk, dat wij bezwaarlijk aan de regenwaarnemers zulk een eis kunnen stellen, en toch is alleen in dit geval de door B r a k in de paragrafen 18 e.v. van M.V. 34a bij de berekening der frequenties van grote hoeveelheden neerslag toegepaste „stationsjarenmethode” zinvol en met succes toe te passen (Zie ons K.N.M.I.-rapport III 116 1952). De eindconclusie luidt der-

halve, dat het uitermate gewenst is om op vele plaatsen zelfregistrerende regensmeters te plaatsen.

11.2 Grote momentane intensiteiten (van 2,00 mm/min en meer)

De $\bar{i}$ -waarden, genoemd in tabel 108, stellen *gemiddelde* intensiteiten voor. Om een voorbeeld te noemen: Op 13-9-1939 viel te Gouda 26,8 mm regen in 60 minuten, zodat, gemiddeld over dit uur, de intensiteit 0,45 mm/min bedroeg. De grootste intensiteit zal zeker meer bedragen hebben. Dit is bij zulke tussentijdse aftappingen natuurlijk niet uit te maken. Enige der $\bar{i}$ -waarden uit tabel 108

TABEL 110 Maximale intensiteiten van 2,00 mm/min en meer (± 1853 — heden)
(* betekent: gewone regenmeter; anders dan in tabel 109!)

Station	Datum	Deelregen			Ganse regen		
		h mm	t min	$i_{\max}$ mm/min	h mm	t min	$\bar{i}$ mm/min
Ammerzoden*	15- 7-34	8,5	2	4,25			
Stein*	13, 14-5-30	6,0	1-2	3-6			
Lisse	14- 7-30	4,7	1-1,5	3-5 ¹⁾	21,1	50	0,42
De Bilt	24- 6-09	4,0	1	4,00	8,0	30	0,27
De Bilt	27- 8-16	4,0	1	4,00	4,4	10	0,44
Den Haag	17- 6-33	19,2	5	3,74			
Borculo*	21- 7-34	18,0	5	3,60			
Amsterdam Filiaal	9- 8-41	8,4	2-3	3-4			
Amsterdam Hortus	7- 7-36	10,0	3	3,33			
Hogerheide*	15- 8-52	20,0	6	3,33			
De Bilt	7- 6-10	9,0	3	3,00	32,0	200	0,16
De Bilt	10- 7-17	3,0	1	3,00			
Nijmegen	25- 5-13	10,4	3,5	2,97			
De Bilt	19- 7-09	10,8	4	2,70	21,7	60	0,36
Amsterdam Hortus	9- 8-51	8,1	3	2,70			

¹⁾ Hoewel wij in deze verhandeling weinig aandacht besteden aan zeer intense regens, die buiten onze grenzen vielen, willen wij graag tegenover de, tot heden in Nederland bekende, grootste, met een pluviograaf gemeten, intensiteit, t.w. 3 à 5 mm/min, stellen de enorme intensiteit 26 mm/min, die optrad in een uitermate zware regen (wolkbreuk) boven San Gabriel Range in Californië op 5 April 1926. Deze intensiteit is, tot nu toe, het wereldrecord. Hawke deelt in een artikeltje "Rainfall in cloudbursts" — zie Nature 169 204 1952 — mede, dat hem een merkwaardig pamfletje van 21 Mei 1682 onder ogen kwam. Uit de beschrijving van een enorme wolkbreuk — metingen werden niet verricht, doch het regenwater kwam in enige tonnen terecht — mag men misschien besluiten tot een gemiddelde intensiteit, gedurende 7 minuten, van 75 mm/min. Dit zou dan het wereldrecord zijn; men beschouwe dit echter met grote scepsis

Station	Datum	Deelregen			Ganse regen		
		<i>h</i> mm	<i>t</i> min	<i>i</i> _{max} mm/min	<i>h</i> mm	<i>t</i> min	<i>I</i> mm/min
Den Haag	10-12-29	13,5	5	2,70			
Den Haag	1- 6-38	13,3	5	2,66			
De Bilt	9- 7-05	10,6	4	2,65	34,0	170	0,20
Utrecht	8- 8-51	13,0	5	2,60			
De Bilt	10- 5-48	7,7	3	2,57	15,2	35	0,44
De Bilt	1- 8-25	2,5	1	2,50	5,4	75	0,07
Den Haag	15- 8-17	10,0	4	2,50	40,5	330	0,12
Goes*	16- 6-08	7,5	3	2,50			
Tilburg	1- 6-27	10,0	4	2,50	26,5	30	0,88
Tilburg	5- 2-40	12,5	5	2,50			
Den Haag	8- 6-46	27,8	12	2,32			
Den Haag	8- 8-22	4,6	2	2,30	21,3	106	0,20
Den Haag	27-12-38	11,5	5	2,30			
Den Haag	4- 8-36	11,5	5	2,30			
Den Haag	1- 7-47	3,4	1,5	2,27	7,2	36	0,20
Tilburg	26- 5-46	9,0	4	2,25	38,5	47	0,82
De Bilt	1- 6-27	8,7	4	2,25	18,0	50	0,36
Boskoop*	1- 8-51	73,0	33	2,21			
De Steeg*	10- 6-15	62	28	2,20			
Sappemeer*	9- 8-51	26,0	12	2,17			
Den Haag	27- 7-28	10,8	5	2,16			
Tilburg	10- 8-25	8,5	4	2,12	10,7	20	0,54
Venray*	10- 6-15	64,5	30	2,15			
Amsterdam Hortus	5- 5-25	10,5	5	2,10			
Tilburg	26- 8-19	6,1	3	2,03	7,2	90	0,09
De Bilt	14- 5-99	2,0	1	2,00	11,8	15	0,79
De Bilt	9- 8-12	8,0	4	2,00	19,0	30	0,63
De Bilt	19- 6-18	4,0	2	2,00	8,2	67	0,12
Den Haag	8- 6-46	27,6	14	2,00			
Hilversum*	21- 8-52	8,0	4	2,00			
Den Haag	8- 8-52	10,0	5	2,00			
Den Haag	2- 8-02	4,0	2	2,00	12,7	63	0,20
Nijmegen	8- 8-27	4,0	2	2,00	4,4	6	0,73
Tilburg	14- 7-27	10,0	5	2,00	29,9	35	0,85
Tilburg	18- 5-25	7,9	4	2,00	17,7	80	0,22
Stramproy	31- 6-44	30,0	15	2,00			

List of the highest maximum intensities $i_{\max}$ of 2,00 mm/min and more. Mention is made of the amount of precipitation h mm, the duration t minutes and the $i_{\max}$ -value in the heavy part of the rain („deelregen”) and in the whole rain („ganse regen”); * comes from ordinary raingauge; the other data have been read from pluviograph diagrams

komen boven 2,00 mm/min uit. Hoewel zij geen maximale momentane intensiteiten voorstellen hebben wij hen gevoegd bij andere, direct van pluviogrammen afgelezen, maximale intensiteiten van 2,00 mm/min en meer. Aldus ontstond tabel 110. Voor zover de i -waarden betrekking hebben op tussentijdse aftappingen van de gewone regenmeter, is de stationsnaam van een * voorzien. Wij hebben bovendien de gehele regen genoemd (hoeveelheid, duur, gemiddelde intensiteit), waarin zich het zeer intense deel met de vermelde maximale intensiteit voordeed [39]; althans voor zover wij deze gegevens kenden.

Het verbaast ons niet, dat deze intensiteiten in hoofdzaak in zomerregens optreden en wel meer naarmate zij groter zijn. Het volgende frequentie-tabelletje illustreert dit duidelijk.

TABEL 111 Totalea antallen regens met de volgende $i_{\max}$ -waarden (mm/min)

$i_{\max}$	2,00-2,49	2,50-2,99	3,00-3,49	3,50-3,99	4,00 en meer	Som
Le	4	2			1	7
Zo	20	9	4	3	4	40
He	1					1
Wi	1	2				3
Som	26	13	4	3	5	51

Total number of rains with $i_{\max}$ -values of 2,00 mm/min and more

Er wordt wel beweerd, dat de grote maximale intensiteiten voornamelijk in regens van korte duur optreden. Bij de stortregens wijzen de resultaten inderdaad in deze richting. Wij hebben de cijfers van tabel 110 hierop eveneens onderzocht. Daartoe hebben wij een parametervrije toets toegepast. Eerst hebben wij de $i_{\max}$ -waarden, waarbij de duren t van de ganse regen bekend zijn, gerangschikt in volgorde van toenemende grootte en daarna genummerd $x = 1, 2, 3, \dots, N$. De bijbehorende duren hebben natuurlijk, als er geen verband is tussen $i_{\max}$ en t , in hun eigen reeks andere rangnummers: $y = 1, 2, 3, \dots, N$.

Berekend wordt vervolgens $S = \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2$. Men kan bewijzen, dat, indien x en y volkomen onafhankelijk verdeeld zijn, het quotient $q = \frac{S - \frac{1}{6}N(N^2 - 1)}{\frac{1}{6}N(N+1)\sqrt{N+1}}$

bij benadering normaal verdeeld is, met centrum 0 en standaarddeviatie 1. Voor een volkomen strak verband, (d.w.z. als bij $x = 1$ een $y = 1$; bij $x = 2$ een $y = 2$ behoort, enz.) is $S = 0$. Bij de berekende q wordt in een tabel de overschrijdingskans opgezocht. Deze is 70 %. Aangezien hij ver boven de gebruikelijke betrouwbaarheidsdrempel (5 %) ligt, mogen wij concluderen, dat uit ons materiaal geenszins duidelijk blijkt, dat de $i_{\max}$ in een langer durende regen groter is. Men behoeft dit resultaat niet in strijd te achten met wat het

onderzoek naar het verband tussen de waarde van $i_{\max}$ en de duur van de stortregen leerde, te weten, dat bij langere duur de maximale intensiteit toeneemt en wel om de volgende redenen:

1. Het is beter in het gehele materiaal (rond 8500 regens) de $i_{\max}$ met de duur van de regen te correleren dan in een deel ervan, dat (als boven) op een zeer bepaalde wijze gevonden is. Dit werk zou echter zo omvangrijk geworden zijn, dat wij er van afzagen.

2. In het onderzoek der stortregens werd met de duur van de stortregen zelf gerekend, doch bij bovenbeschreven parameter vrije toets werd steeds de duur van de ganse regen, waarvan het intense deel met de bewuste maximale intensiteit een zeer klein deel kan zijn, beschouwd. De consequentie van het verschil in aanpak kan zeer belangrijk zijn. In 4.8 hebben wij onderzocht welk deel een zware en zeer zware regen kan zijn van de gehele regen.

HOOFDSTUK 12

ZWARE EN ZEER ZWARE REGENS IN ENIGE STATIONS BUITEN DE BILT

12.0 Inleiding

Er wordt dikwijls gevraagd of gegevens met betrekking tot regens te De Bilt ook gelden voor andere streken in het land.

Doordat wij niet de beschikking hebben over een met de in deze verhandeling medegedeelde overeenkomende analyse der regens in lange basisreeksen van vele stations, moeten wij veelal het antwoord op deze vraag schuldig blijven.

Hoewel vast staat, dat er plaatselijke verschillen zijn, zowel in de gemiddelde hoeveelheid neerslag per maand, per jaargetijde, per jaar, als in het aantal regendagen per maand met de meeste neerslag, enz., is het onverantwoord op grond van deze kennis alleen te concluderen tot bepaalde kwantitatieve verschillen met betrekking tot de frequenties van de gemiddelde en maximale intensiteiten in zware regens, stortregens, enz.

Natuurlijk zijn de resultaten (tot en met 1930), die B r a a k in M.V. 34a, wat betreft de stations Den Haag, Tilburg, Rotterdam en Nijmegen, noemt, een waardevolle bijdrage tot oplossing van het probleem.

Het K.N.M.I. is overtuigd van het grote belang van dit vraagstuk. Er is daarom in 1954 op elk der hoofdstations een pluviograaf geplaatst.

Wij hebben gemeend, dat het goed zou zijn van enkele der bovengenoemde stations de bewerking voort te zetten, en bovendien voor Amsterdam. Men ontmoet daarbij steeds dezelfde moeilijkheid, namelijk deze, dat men op verschillende stations de pluviogrammen verschillend analyseert. Van uniformiteit is helaas geen sprake geweest. Aangezien ons de tijd ontbrak voor een herbewerking van het ganse materiaal op de in deze verhandeling uiteengezette wijze, hebben wij de ons ter beschikking gestelde notities en tabellen kritisch bekeken en waar nodig ietwat gecorrigeerd. Hiervan wordt in de inleidingen der volgende paragrafen nader verteld.

12.1 Zware en zeer zware regens te Tilburg (1918–1947)

12.1.0 Door bemiddeling van I r v a n M e l i k kregen wij inzage in de „regenboeken” en pluviogrammen van de Tilburgse Publieke Werken [12].

Alvorens een samenvatting van de resultaten van de bewerking der jaren 1918–1947 te geven, laten wij hier eerst volgen een korte opsomming der in de M.V. 34a genoemde, op de Tilburgse pluviograaf (1918–1931) betrekking hebbende, tabellen:

Tabel 1. De dagelijkse gang van de gemiddelde hoeveelheid neerslag per uurvak (0–1, 1–2 23–24 h), per jaargetijde en per geheel jaar.

- Tabel 8. De dagelijkse gang van het aantal stortregens; aantallen per uurvak.
 Tabel 16. De aantallen zeer zware regens per maand, waarvan de datum, hoeveelheid en duur in tabel 15 genoemd worden.
 Tabel 17. Het totale aantal stortregens, ingedeeld in duurgroepen 0-10, 11-15 minuten.
 Tabel 19. Het aantal stortregens per maand.
 Tabel 20. De grootste 10 intensiteiten (voor zover minstens 0,2 mm/min) in deelregens van 1-5, 6-10, minuten.
 Tabel 21. De grootste 3 hoeveelheden, gevallen in 30, 40 120 minuten.

12.1.1 Het zal blijken, dat de aanstonds te noemen resultaten eigenlijk niet zonder meer te vergelijken zijn met die van De Bilt (afgezien van de verschillend lange basisperioden). De zaak is namelijk deze: men neemt bij de P.W. te Tilburg alleen die regens van de pluviogrammen in tabellen over, welke gedurende hun totale duur een zodanige hoeveelheid leverden, dat de gemiddelde intensiteit (d.i. totale hoeveelheid, gedeeld door totale duur) 30 of meer liter per seconde per ha bedroeg. Terwijl wij van „intensiteit” spreken, is bij riooltechnici het woord „capaciteit” in zwang, welke men in l/sec.ha uitdrukt. (1 l/sec.ha = 0,006 mm/min). Zulke regens zijn in onze notatie bijna zware regens, want 30 l/sec.ha = 0,18 mm/min (nog juist geen 0,20 mm/min). Er zijn natuurlijk (Tilburgse) regens met een $i > 33,3$ l/sec.ha (0,20 mm/min = 33,3 l/sec.ha) en met een $i < 33,3$. Voorzover de i tussen 30 en 33,3 l/sec.ha lag, hebben wij steeds getracht, interpolerende, de duur van die deelregen te schatten, waarbij een i van „precies” 33,3 behoord zou hebben. Wij hebben er namelijk van afgezien alle Tilburgse pluviogrammen der jaren 1918-1947 opnieuw uit te trekken; wel hebben wij getracht met weinig moeite en tijd gegevens te krijgen, die zo goed mogelijk met die te De Bilt te vergelijken zouden zijn.

Het is duidelijk, dat er meer zware regens geweest zullen zijn, dan er op bovenbeschreven wijze uit het Tilburgse materiaal te vinden waren. Immers een volledige regen van bijv. totaal 6,0 mm in 40 minuten (dus een $i = 0,15$ mm/min = 25 l/sec.ha) werd *niet* in het boek der Tilburgse regens opgenomen (riooltechnisch niet van belang, omdat $i < 30$ l/sec.ha), hoewel er een deelregen van $i = 0,20$ mm/min geweest *kan* zijn. M.a.w. de Tilburgse- zware regens komen overeen met die De Biltse-regens, welke of voor de volle duur of voor een deel van de totale duur een zware regen zijn, mits daarbij tevens de ganse regen over de volle duur een gemiddelde intensiteit van minstens 0,18 mm/min had.

V a n M e l i k zocht voorts uit iedere regen (met een capaciteit van minstens 30 l/sec.ha) die 5 minuten op, waarover de gemiddelde intensiteit het grootst was; deze, bij 5 minuten behorende, intensiteit werd genoteerd; daarna ook voor 10, 15, 20 minuten, voor zover de totale duur dit toeliet (i_5 , i_{10} enz.). Aangezien de pluviograaf van het Hellmann-type is (recht coördinaten-net op

het pluviogram) kan dit met een speciaal geconstrueerd doorzichtig schaalkje zeer eenvoudig en snel gebeuren (op de pluviogrammen met gebogen net – bij het tuimelbakje-type – zou dit veel lastiger zijn). Een voorbeeld: op 24 Augustus 1927 viel een regen van 33,3 mm met een totale duur van 42 minuten. Dus $i = 0,79$ mm/min = 132 l/sec.ha. Tevens blijken $i_5 = 272$; $i_{10} = 224$ $i_{40} = 143$ l/sec.ha. Interpolerend mag geschat worden, dat $i_{32,7} = 167$ l/sec.ha (Met 1 mm/min – het criterium voor zeer zware regen – komt immers 167 l/sec.ha overeen). Wij zagen hier derhalve een zware regen van 33,3 mm in 42 minuten ($i = 0,79$) en een zeer zware regen van 32,7 mm in 32,7 minuten. Tegelijkertijd schrijven wij aan deze regen een maximale momentane intensiteit van 272 l/sec.ha = 1,6 mm/min (de i_5) toe; het is mogelijk, dat ze wat groter is, doordat het gedurende enkele van bedoelde vijf minuten sterker dan 1,6 mm/min geregend heeft, maar hier zien wij van af.

Ook kan het zijn, dat de ganse regen (d.w.z. over de volle duur) reeds een zeer zware is (bijv. 14 Juli 1927: in 25 minuten 27,5 mm).

12.1.2 Wij noemen nu eerst de totale aantallen zware regens (z.r.) per maand over de ganse periode 1918–1947 (29 jaren; 1939 ontbreekt).

TABEL 112

TILBURG 1918–1947

Totale aantal z.r.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Le	Zo	He	Wi	Jr
4	5	8	20	46	72	73	94	59	34	10	8	74	239	103	17	433

Total numbers of heavy rains

Dit komt neer op bijna 15 stuks per jaar (waarvan 55 % in de zomer). De periode 1918–1931 (14 jaren) leverde rond 10 stuks stortregens per jaar (Zie in M.V. 34a tabel 19). Nu zijn stortregens bijzondere zware regens, zodat het verschil tussen 433 en 140 begrijpelijk is. Daar komt nog bij, dat de ene basisperiode twee keer zo lang is als de andere. De resultaten van de twee keer zo lange periode zijn betrouwbaarder. Verder merken wij op, dat tabel 19 (M.V. 34a) in het geheel geen stortregens in de winter noemt, maar bovenstaande tabel 112 wel zware regens, hetgeen ook te begrijpen is, bedenkende, dat stortregens zich meer op de zomer concentreren dan zware regens. De jaarlijkse gang in het aantal stortregens blijkt duidelijk markanter dan die in het aantal zware regens.

Tabel 113 doet zien hoe het aantal zware regens met toenemende hoeveelheid afneemt. Tevens leert deze tabel, dat de zware regens met grote hoeveelheden (zegge $> 10,0$ mm) bijna alleen in de zomer vallen.

TABEL 113

TILBURG

Jaarlijkse gang in het aantal z.r. en s.r.

	Le	Zo	He	Wi	Jr
Stortregens	14	65	21	0	100 % (over 14 jaren)
Zware regens	17	55	24	4	100 % (over 29 jaren)

Annual variation in the numbers of heavy rains and downpours (basic periods of 14 and 29 years)

TABEL 114

TILBURG, 20 jaren

Aantallen z.r. met hoeveelheden h mm

$h =$	1,0	1,1-2,0	2,1-3,0	3,1-4,0	4,1-5,0	5,1-6,0	6,1-7,0	7,1-8,0	8,1-9,0	9,1-10,0	> 10,0 mm
Le	1	20	17	14	11	7	1	3	2	3	4
Zo	2	47	63	39	25	18	10	15	7	5	26
He		38	24	13	8	7	5		3		5
Wi		10	8	2							
Jr	3	125	112	68	44	32	16	18	12	8	35

Total numbers of heavy rains of h mm

TABEL 115

TILBURG

Het gemiddelde aantal jaren j , waarin een zware regen van minstens h mm 1 keer optreedt

h	4,0	6,0	8,0	10,0
Le	1,0	2,2	3,2	7,2
Zo	0,3	0,5	0,8	0,9
He	1,0	2,2	2,9	4,6
Wi	?	?	?	?
Jr	0,1	0,3	0,4	0,7

The mean number of years in which a heavy rain of h mm occurs once

In nevenstaande tabel komt dit nog iets duidelijker uit.

Wij hebben ook een indeling der zware regens naar hun duur en hun gemiddelde intensiteit gemaakt. Bij iedere duur neemt het aantal zware regens met toenemende intensiteit af. Zo waren er onder de 92 z.r. van een duur 11-15 minuten 15 stuks met een gemiddelde

intensiteit 0,26-0,30 mm/min en 3 stuks met een gemiddelde intensiteit 0,51-0,55 mm/min; en onder de 26 z.r. van een duur 21-25 minuten 7 stuks van een gemiddelde intensiteit 0,21-0,25 mm/min en slechts 1 met een gemiddelde intensiteit 0,46-0,50 mm/min. Ook blijkt bij iedere gemiddelde intensiteit het aantal z.r. met toenemende duur af te nemen. Voorbeeld: er waren onder de

90 z.r. met een gemiddelde intensiteit 0,26–0,30 mm/min 37 stuks van een duur 6 à 10 minuten en slechts 3 stuks van een duur 26 à 30 minuten.

Tabel 116a geeft een totaal overzicht (de aantallen hebben betrekking op het gehele 29-jarige tijdvak).

TABEL 116a

TILBURG 1918–1947

Aantallen zware regens, ingedeeld naar de duur t (minuten) en de intensiteit I (mm/min)

Total number of heavy rains of t minutes and I mm/min

$I \backslash t$	t	≤ 5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-85	86-90	Som
0,20	Le		2	2	1									5
	Zo	2	2	3	1	1	1							10
	He		2	1	1	1								5
	Wi		1											1
	Jr	2	7	6	3	2	1							21
0,21-0,25	Le	3	7	6	3	1	1	1						22
	Zo	6	25	14	9	4			1				1	60
	He	5	13	4	2	2								26
	Wi		2	3	2									7
	Jr	14	47	27	16	7	1	1	1				1	115
0,26-0,30	Le	5	2	2	4									13
	Zo	8	26	7	3	2								50
	He	4	7	5	1	2	1							20
	Wi	4	2	1										7
	Jr	21	37	15	9	5	3							90
0,31-0,35	Le	3	4	4	2									13
	Zo	7	19	6	2	3					1		1	39
	He	8	7	1	2				1	1				20
	Wi	2	1											3
	Jr	20	31	11	6	3			1	1	1		1	75
0,36-0,40	Le	2	2	4		1	1							10
	Zo	7	6	2	2		1	1	2					21
	He	4	2	2	2									10
	Wi	1												1
	Jr	14	10	8	4	1	2	1	2					42
0,41-0,45	Le	1	1											2
	Zo	4	5	6	2	2		1						20
	He	2	3	3										8
	Wi													
	Jr	7	9	9	2	2		1						30

t	t	≤ 5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	Som
0,46-0,50	Le	1	1		1									3
	Zo	2	6	3	4	1	1							19
	He	1	2						1					4
	Wi													
	Jr	4	9	3	5	1	1		1					24
0,51-0,55	Le	1	1	1										3
	Zo	4	2	1	3	1	1							12
	He			1	2				1					4
	Wi													
	Jr	5	3	3	5	1	1		1					19
0,56-0,60	Le		2											
	Zo	2	1	2		1								6
	He	1	2											3
	Wi		1											
	Jr	3	6	2		1								12
0,61-0,65	Le				1	1								2
	Zo		2	2										4
	He									1				1
	Wi													
	Jr		2	2	1	1				1				7
0,66-0,70	Le			1										1
	Zo	3	3	2		1								9
	He													
	Wi													
	Jr	3	3	3		1								10
0,71-0,75	Le													
	Zo	1	3	1	1									6
	He	1												1
	Wi													
	Jr	2	3	1	1									7
0,76-0,80	Le	1			1									2
	Zo	1	2		2					1				6
	He													
	Wi													
	Jr	2	2		3					1				8
0,81-0,85	Le										1			1
	Zo													
	He													
	Wi													
	Jr										1			1

I	t	5 VII	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	Som
0,66-0,90	Le		1											1
	Zo	1	2											3
	He		1											1
	Wi													
	Jr	1	4											5
0,91-0,95	Le													
	Zo		1	1			1							3
	He													
	Wi													
0,96-1,00	Jr		1	1			1							3
	Le													
	Zo													
	He													
> 1,00	Wi													
	Jr													
	Le	1												1
	Zo	3	1	1		1								6
Som	He													
	Wi													
	Jr	4	1	1		1								7
	Le	18	23	20	13	3	2	1			1			81
Som	Zo	51	116	51	30	18	7	2	3	1	1		2	42
	He	26	39	17	10	5	1		3	2				103
	Wi	7	7	4	2									20
	Jr	102	175	92	55	26	10	3	6	3	2		2	476

De tabel wordt overzichtelijker, wanneer wij de zware regens in bredere intervallen indelen t.w. naar de duur 6-15; 16-25 minuten, en naar de intensiteit 0,21-0,30; 0,31-0,40 mm/min (zie tabel 116b).

De tabellen leren ons nog het volgende:

Er is een opvallend seizoen-effect. Verreweg de meeste zware regens komen voor in de zomer; bijv. $106/175 = 61\%$ z.r. van 6-10 minuten en $18:26 = 70\%$ z.r. van 21-25 minuten. Hoe langer de duur der z.r., hoe sterker de concentratie op de zomer. Zo zien wij, dat er 's winters géén zware regens van een duur 21 minuten of langer waren, maar 's zomers toch nog 34 stuks (in 29 jaren). Een analoog effect merkt men op voor de intensiteiten. Verreweg de meeste grote intensiteiten komen voor in de zomer. Bijv. $20/30 = 67\%$ intensiteiten

TABEL 116b

TILBURG 1918-1947

Aantallen zware regens; uren ingedeeld in groepen van 10 minuten en intensiteiten in groepen van 0,10 mm/min; totale aantallen (over 29 jaren)

$t \backslash \bar{I}$	6-15	16-25	26-35	36-45	46-55	56-65	66-75	76-85	≥ 86	Som
0,21-0,30	126	27	5	1					1	160
0,31-0,40	60	14	3	4	1				1	83
0,41-0,50	30	10	2	1						43
0,51-0,60	14	7	1	1						23
0,61-0,70	10	3		1						14
0,71-0,80	6	4		1						11
0,81-0,90	4				1					5
0,91-1,00	2		1							3
> 1,00	2	1								3
Som	254	66	12	9	2				2	345

Total numbers of heavy rains of t minutes and of mean intensity $\bar{I}$ mm/min

van 0,41 à 0,45 mm/min (68 à 75 l/sec.ha) en $9 : 10 = 90\%$ intensiteiten van 0,66 à 0,70 mm/min (110 à 112 l/sec.ha). Het behoeft nauwelijks gezegd te worden, dat deze getallen niet nauwkeurig zijn; daarvoor is de basisperiode – speciaal bij zulk een detailverdeling – te kort.

12.1.3 Het verband tussen de gemiddelde intensiteit en de duur van zware regens is in tegenstelling tot dat te De Bilt niet duidelijk (Te De Bilt gaat een afnemende van de intensiteit samen met een toeneming van de duur).

TABEL 117

TILBURG 1918-1947

t	6-15	16-25	26-35	36-45	46-55 minuten
$\bar{I}$	0,35	0,40	0,38	0,37	0,58 mm/min
Aantal	267	81	13	9	2

Mean value $\bar{I}$ of the mean intensity in a heavy rain of t minutes

12.1.4 Tabel 118 geeft weer de frequentieverdeling der zware regens, ingedeeld naar de intensiteit en wel voor elk der seizoenen (totale aantallen over de 29 jaren).

TABEL 118

TILBURG 1918-1947

i	0,21- 0,30	0,31- 0,40	0,41- 0,50	0,51- 0,60	0,61- 0,70	0,71- 0,80	0,81- 0,90	0,91- 1,00	> 1,00 mm/min
Le	35	23	5	5	3	2	2		1
Zo	110	60	37	18	13	12	3	3	6
He	46	30	12	7	1	1	1		
Wi	14	4		1					
Jr	205	117	54	31	17	15	6	3	7

Total numbers of heavy rains with mean intensity i mm/min

12.1.5 Tabel 119 geeft weer de frequentieverdeling der zware regens, ingedeeld naar de duur en wel voor elk der seizoenen.

TABEL 119

TILBURG 1918-1947

t	6-15	16-25	26-35	36-45	46-55	56-65	66-75	76-85	86-95
Le	43	16	3		1				
Zo	157	48	9	4	1				2
He	56	15	1	5					
Wi	11	2							
Jr	267	81	13	9	2				2

Total numbers of heavy rains of t minutes

12.1.6 Vervolgens hebben wij getracht een verband tussen de maximale intensiteit i_m in een zware regen en de duur van deze regen op te sporen. Is de

TABEL 120

TILBURG 1918-1947

Gemiddelde der maximale momentane intensiteit (i_m in mm/min)

i_m t mm/min min	5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	86-90
Le	0,41	0,41	0,48	0,57	0,69	0,46					
Zo	0,43	0,48	0,62	0,68	0,80	1,00	0,78	0,55	1,63	0,50	0,76
He	0,35	0,41	0,52	0,62	0,44	0,55		0,95	1,19		
Wi	0,31	0,37	0,38	0,39							
Jr	0,40	0,45	0,56	0,63	0,72	0,85	0,52	0,72	1,34	1,38	0,76

Mean values i_m mm/min of the maximum intensities in heavy rains of t minutes

maximale intensiteit (althans in het gemiddelde) groter in een langer durende zware regen, zoals te De Bilt? Zie tabel 120.

De getallen zijn natuurlijk weer niet nauwkeurig, maar ze duiden erop, dat in elk der seizoenen (en dus het meest betrouwbaar in de jaarcijfers) de maximale momentane intensiteit met toenemende duur toeneemt. Bijv. in een zware regen van 21–25 minuten (1 keer in gemiddeld 1,1 jaren) is, gemiddeld gesproken, een maximale intensiteit te verwachten van 0,72 mm/min (120 l/sec.ha); in een zware regen van 6 à 10 minuten (voorkomend gem. 6 keren per jaar) is ze: 0,45 mm/min (75 l/sec.ha).

TABEL 121

TILBURG 1918–1947

$\begin{matrix} t \\ \text{min} \\ i_m \\ \text{mm/min} \end{matrix}$	5	6–10	11–15	16–20	21–25	16–30	31–35	36–40	41–45	46–50	86–90
Le	1,30 0,72 0,55 0,46 0,44	0,95 0,78 0,60 0,59 0,48	1,34 0,68 0,68 0,60 0,58	1,31 0,88 0,83 0,58 0,48	1,24 0,48 0,36	0,56 0,35	0,56			2,26	
Zo	1,16 0,88 0,82 0,77 0,75	1,82 1,56 1,56 1,33 1,15	2,21 1,90 1,34 1,32 1,27	1,70 1,55 1,29 1,26 1,07	2,40 1,71 1,30 1,08 0,88	2,29 1,46 1,19 0,71 0,56	0,82 0,73	0,95 0,37 0,34	1,63	0,50	1,08 0,45
He	0,73 0,58 0,48 0,43 0,41	0,99 0,91 0,85 0,74 0,70	1,04 1,00 0,71 0,71 0,67	1,07 0,76 0,69 0,68 0,63	0,59 0,59 0,36 0,45 0,32	0,55		1,11 0,97 0,78	1,31 1,07		
Wi	0,38 0,34 0,33 0,28 0,28	0,66 0,47 0,43 0,38 0,24	0,51 0,37 0,34 0,28	0,41 0,37							
Jr	1,30 1,16 0,88 0,82 0,77	1,82 1,56 1,56 1,33 1,15	2,21 1,90 1,34 1,34 1,32	1,70 1,55 1,31 1,29 1,26	2,40 1,71 1,30 1,24 1,08	2,29 1,46 1,19 0,71 0,56	0,82 0,73 0,56	1,11 0,97 0,95 0,78 0,37	1,63 1,31 1,07	2,26 0,50	1,08 0,45

The highest 5 maximum intensities in the whole basic period, in heavy rains of t minutes

12.1.7 In tabel 121 zijn opgenomen de grootste vijf maximale intensiteiten i_m in mm/min (voor zover er minstens 5 zware regens in de 29 jaren waren) in zware regens van uiteenlopende duren 5, 6-10, 11-15 minuten en wel voor elk der seizoenen (men vergelijkte deze tabel met tabel 20 in M.V. 34a).

12.1.8 Tenslotte volgt in tabel 122 een overzicht der totale aantallen zware en zeer zware regens (gem. intensiteit resp. 0,20 en 1,00 mm/min, d.i. 33,3 en 167 l/sec.ha).

TABEL 122

TILBURG 1918-1947

Totale aantallen z.r. en z.z.r.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Le	Zo	He	Wi	Jr
z.r.	4	5	8	20	46	72	73	94	59	34	10	8	74	239	103	17	433
z.z.r.	0	0	0	2	3	4	10	16	3	1	0	0	5	30	4	0	39

Total numbers of heavy rains (z.r.) and very heavy rains (z.z.r.)

Men leest uit deze tabel, dat de concentratie der zeer zware regens op de zomer (voor $30 : 39 = 77\%$) markanter is dan voor de zware regens ($239 : 433 = 55\%$). Er was zelfs geen enkele z.z.r. in de Wi, maar er waren wel 17 z.r.

12.2 Zware en zeer zware regens te Den Haag (1910-1943)

12.2.0 Wij laten hier eveneens de resultaten van een eenvoudige bewerking van de pluviograafgegevens van het Hoofdrioolgemaal te Den Haag, betrekking hebbende op de 18 jaren 1926-1943, volgen.

Vooraf opnieuw een opsomming van de in M.V. 34a genoemde op Den Haag (1910-1930, station Lijnbaan, aangevuld met Hoofdrioolkanaal) betrekking hebbende tabellen:

tabel 8. De dagelijkse gang van het aantal stortregens; aantallen per uurvak.

tabel 16. De aantallen zeer zware regens per maand (genoemd met datum, hoeveelheid en duur in tabel 15).

tabel 17. De totale aantallen stortregens, ingedeeld in duurgroepen 0-10, 11-15 minuten.

tabel 19. Het aantal stortregens per maand.

tabel 20. De grootste 10 intensiteiten (voor zover tenminste 0,2 mm/min) in deelregens van 1-5, 6-10, minuten.

tabel 21. De grootste 3 hoeveelheden, gevallen in 30, 40 120 minuten.

12.2.1 De bewerking der pluviogrammen is anders dan die te De Bilt, maar gelijkt veel op die te Tilburg. Indien een regen in totaal geduurd heeft bijv. 65 minuten, dan zoekt men naar die achtereenvolgende 5 minuten, waarover het meest viel. Deze hoeveelheid (noem ze h_5) wordt genoteerd. Zij leidt tot een $i_5 = h_5 : 5$ mm/min. Daarna wordt naar die 10 minuten gezocht, waarover het meest viel, zijnde h_{10} , leidende tot $i_{10} = h_{10} : 10$ mm/min (zeker is $i_{10} \leq i_5$). Zo ook i_{15} , i_{20} , i_{30} , i_{45} , i_{60} en tenslotte i_{65} zelf. Dit gebeurde in het algemeen voor 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 360 minuten, voorzover de volledige duur dit toelaat.

Het net op de pluviogrammen was kromlijinig (pluviograaf van het tuimelbakje-type). De dikte van de pluviocurve was soms equivalent met 0,1 mm regen en 3 minuten duur. Aldus werden door de Gemeentewerken van Den Haag tabellen samengesteld voor de jaren 1926–1943. Om tijd te sparen werden door ons niet alle pluviogrammen opnieuw geanalyseerd op de door ons gewenste wijze. Wij zochten eenvoudig (interpolerend met behulp van genoemde tabellen) uit elke regen een zo lang mogelijk durend deel op, zodanig, dat hierover de gemiddelde intensiteit juist 0,20 mm/min of iets meer bedroeg (onze „zware regens”). De gemiddelde intensiteit over de meest intense 5 minuten namen wij weer gemakshalve als maximale intensiteit i_m .

Zo ook voor tenminste 1,00 mm/min (onze „zeer zware regens”). Aldus bouwden wij de frequentie-verdeling der zware en zeer zware regen te Den Haag op.

12.2.2 Thans de resultaten.

TABEL 123

DEN HAAG 1926–1943
Totale aantal zware regens

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Le	Zo	He	Wi	Jr
8	6	6	8	16	35	43	63	69	53	22	10	30	141	144	24	339
												9	42	42	7	100%

Total number of heavy rains

Het valt op, dat de jaarlijkse gang ook te Den Haag zeer markant is, maar dat de maand met de meeste z.r. niet meer in de (klimatologische) zomer, maar in de herfst ligt, te De Bilt en Tilburg daarentegen in de zomer. In de beschouwde 18 jaren waren er in de Zo en in de He ongeveer evenveel z.r. (Hierbij moeten wij bedenken, dat het meer zin heeft Den Haag met Tilburg te vergelijken – hoewel over tijdvakken van 18 resp. 29 jaren – dan met De Bilt, gezien de verschillen in analyses der pluviogrammen).

Natuurlijk is de jaarlijkse gang in het aantal stortregens (s.r.) markanter (immers dit zijn bijzondere, zware regens) dan die in het aantal zware regens

(z.r.), ook al berusten deze op 21 (tabel 19 in M.V. 34a) resp. 18 jaren. Zie tabel 124.

TABEL 124
DEN HAAG
Jaarlijkse gang in het aantal s.r. en z.r.

Type regen	Le	Zo	He	Wi	Jaar	Tijdvak
s.r.	6,8	55,4	33,8	4,0	100,0 %	1910-1930
z.r.	8,8	41,6	42,5	7,1	100,0 %	1926-1943

Annual variation in the number of downpours (based on 1910-1930) and in the number of heavy rains (based on 1926-1943)

12.2.3 Het ligt voor de hand, dat de jaarlijkse gang in het aantal z.r. samenhangt met de hoeveelheid in de z.r. Wij mogen verwachten: hoe groter de hoeveelheid, hoe sterker de concentratie op de zomer of herfst (zie tabel 124).

TABEL 125
DEN HAAG 1926-1943
Totale aantallen zware regens

<i>h</i>	≤ 1,0	1,1- 2,0	2,1- 3,0	3,1- 4,0	4,1- 5,0	5,1- 6,0	6,1- 7,0	7,1- 8,0	8,1- 9,0	9,1- 10,0	> 10,0 mm	Som
Le	2	8		8	1	2	1		1	2	5	30
Zo	7	11	11	13	24	7	14	4	11	11	28	141
He	16	21	15	13	16	15	12	3	10	4	19	144
Wi	2	6	2	3	4	3	1		1	2		24
Jr	27	46	28	37	45	27	28	7	23	19	52	339

*Total numbers of heavy rains of *h* mm*

Het valt op hoe groot het aantal zware regens van meer dan 10,0 mm is vergeleken met dat van kleinere hoeveelheden, geheel anders dan bijv. te Tilburg. Te Tilburg leverden 35 van de 433 z.r. (d.i. 8 %) over 29 jaren meer dan 10 mm en te Den Haag waren het er 52 stuks van de 389 (d.i. 15 %, bijna het dubbele) over 18 jaren.

Misschien mogen wij dus concluderen, dat Den Haag rijker is aan z.r. dan Tilburg (18,8 resp. 14,9 stuks per jaar); verder is te Den Haag de maand September het rijkst aan z.r., in Tilburg de maand Augustus. Voorts vallen er te Den Haag relatief veel meer z.r. van grote hoeveelheden (> 10 mm) dan te Tilburg.

12.2.4 De gemiddelde hoeveelheid (ongeacht de duur) en de gemiddelde duur (ongeacht de hoeveelheid) van een z.r. worden opgenomen in tabel 126.

TABEL 126 DEN HAAG 1926-1943

	Le	Zo	He	Wi	Jr
Gem. hoeveelheid	6,0	7,4	5,6	4,0	6,3 mm
Gem. duur	31,2	33,9	27,6	18,7	29,9 minuten

Mean rainfall in mm and mean duration in minutes per heavy rain

Een zware regen bevat dus het meest en duurt het langst in de zomer (7,4 mm en 33,9 minuten); in de winter: 4,0 mm en 18,7 minuten.

12.2.5 In tabel 127 maken wij een frequentieverdeling der zware regens; wij groeperen naar de duur t (5; 6-15; 16-25; 26-35 minuten) en naar de hoeveelheid h (1,0; 1,1-2,0; 2,1-3,0 mm).

TABEL 127 DEN HAAG 1926-1943

$\begin{matrix} t \\ h \end{matrix}$	5	6-15	16-25	26-35	36-45	46-55	56-65	66-75	76-85	86-95	> 95	Som
1,0	27											27
1,1- 2,0	15	31										46
2,1- 3,0		28										28
3,1- 4,0		9	28									37
4,1- 5,0			45									45
5,1- 6,0			1	26								27
6,1- 7,0			1	27								28
7,1- 8,0				4	3							27
8,1- 9,0					23							23
9,1-10,0					19							19
10,1-15,0					1	2	30					33
15,1-20,0							1	1		7		9
20,1-25,0										1	5	6
25,1-30,0											2	2
30,1-35,0												0
> 35,0											2	2
Som	42	68	75	57	46	2	31	1		8	9	339

Total numbers of heavy rains of t minutes and h mm

12.2.6 De intensiteiten der zware regens liggen uiteraard het meest bij 0,20 mm/min (qua definitie van een zware regen). Hebben wij te maken met abrupt beginnende en abrupt eindigende z.r., dan is het zeer wel mogelijk, dat er grote

intensiteiten ontstaan. Deze z.r. kwamen zo weinig voor, dat bij een indeling van hen naar de duur (5, 6-15 86-95 en ≥ 95 minuten) de gemiddelde waarde der intensiteiten vrijwel constant lijkt (geen significante verschillen, tabel 128).

TABEL 128

DEN HAAG 1926-1943

Zware regens. Gemiddelde waarde der intensiteiten bij verschillende duren

t	5	6-15	16-25	26-35	36-45	46-55	56-65	66-75	76-85	86-95	> 95 minuten
I	0,21	0,20	0,21	0,21	0,20	0,21	0,21	0,24	—	0,20	0,20 mm/min

Mean value I of the intensity (mm/min) of a heavy rain of t minutes

12.2.7 Tenslotte verwijzen wij naar tabel 129, aangevende het verband tussen de duur t van de zware regen en de maximale momentane intensiteit i_m . Wij hebben weer, teneinde enigszins betrouwbare gemiddelden te krijgen, de zware regens in slechts enkele duurintervallen ingedeeld.

TABEL 129

DEN HAAG 1926-1943

Het verband tussen de duur t en de maximale momentane intensiteit i_m in de zware regen

t	6-15	16-25	26-35	36-45	≥ 86 minuten
i_m	0,31	0,41	0,52	0,67	1,11 mm/min

Mean value (i_m mm/min) of the maximum intensity in a heavy rain of t minutes

Het is duidelijk, dat bij langere duur van een zware regen de maximale momentane intensiteit (althans gemiddeld over vele z.r.) ook toeneemt. Dit resultaat is met dat te Tilburg en De Bilt in overeenstemming. Het ziet er wel naar uit, dat te Tilburg al deze maximale intensiteiten op een wat hoger niveau dan te Den Haag liggen.

12.2.8 Vervolgens de zeer zware regens (z.z.r.). De totale aantallen vindt men in tabel 130.

TABEL 130

DEN HAAG 1926-1943

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Le	Zo	He	Wi	Jr
1	1			2	4	5	4	6	1	2	1	2	13	9	3	27

Total numbers of very heavy rains

De gemiddelde hoeveelheid in en de gemiddelde duur van een zeer zware regen (gemiddeld over het ganse jaar, dus ongeacht een eventueel seizoeneffect) bedroegen 5,9 millimeters resp. 5,1 minuten. Er waren 20 z.r. van een duur van 5 minuten of korter en 7 stuks langer dan 5 minuten. De kortdurende hebben uiteraard de grootste intensiteiten. Voor genoemde twee groepen bedroegen de intensiteiten, gemiddeld genomen, 1,5 en 1,0 mm/min. Het behoeft geen betoog, dat deze getallen lang niet exact zijn; immers meer betrouwbare uitkomsten zouden een zeer scherpe analyse der regencurven eisen (dus een prima registratie) en veel meer materiaal (groter tijdvak).

Voor de beschrijving van een toepassing van de „theorie der extreme waarden” (de theorie van Gumbel, Barricelli e.a.) op de jaar voor jaar uitgezochte grootste gemiddelde intensiteiten in deelregens van 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 360 minuten moge worden verwezen naar ons artikel in het tijdschrift „Publieke Werken” [29].

12.3 Zware en zeer zware regens te Amsterdam (Hortus Botanicus) 1925–1950

Wij hebben getracht met behulp van de op de Filiaalinstelling te Amsterdam aanwezige regentabellen (die berusten op de regencurven van de pluviograaf in de Hortus Botanicus) – zonder de pluviogrammen opnieuw aan een door ons gewenste wijze analyse te onderwerpen – een overzicht der zware en zeer zware regens samen te stellen. Dit zal zeker niet in alle opzichten vergelijkbaar met dat te De Bilt zijn, hetgeen duidelijk wordt, wanneer wij mededelen op welke wijze de pluviocurven in tabel gebracht werden. Iedere regencurve werd (gelijk in de eerste jaren ook op het K.N.M.I. de gewoonte was) op het oog in gedeelten van min of meer constante helling verdeeld (dit is op de stroken van een Hellmann-pluviograaf vrij gemakkelijk). Van zulk een gedeelte werd dan genoteerd het begintijdstip, de hoeveelheid en de duur. Wij namen derhalve over die deelregens, waarvan de gemiddelde intensiteit 0,20 mm/min of meer bedroeg (dat zijn dus deelregens, analoog aan de zware en zeer zware regens te De Bilt). Het is wel duidelijk, dat bij de gedeelten der pluviocurven, die zeer steil zijn (in deze gedeelten bevinden zich de „zeer zware regens” volgens onze nomenclatuur), kleine verschillen in steilheid moeilijk met het oog te onderkennen zijn, zelfs al hebben de stroken van de pluviograaf in de Hortus Botanicus een recht coördinatennet, waardoor een aflezing op 0,1 mm regen en soms zelfs op 1 minuut mogelijk is. Wij vermoeden derhalve, dat het aantal z.z.r., dat wij aldus tellen, kleiner is dan het werkelijke aantal, en dat dit voor de z.z.r. in grotere mate het geval zal zijn dan voor de z.r. De juiste grootte van dit, waarschijnlijk niet belangrijke, effect is natuurlijk alleen te achterhalen met behulp van een gans nieuwe analyse; om tijd te sparen is hiervan afgezien.

12.3.1 Het tijdvak omvat de jaren 1925–1950 (24 jaren; 1930 en 1931 ontbreken).

De jaarlijkse gang is zeer markant. De Zo + He bevatten ongeveer 6 keer zo veel z.r. als de Wi + Le.

12.3.2 De gemiddelde hoeveelheid en de gemiddelde duur van een zware regen (ongeacht seizoeneffect) bedroegen 4,3 mm resp. 10,2 minuten. Er is echter een tamelijk sterke jaarlijkse gang (zie tabel 132). Wij willen opmerken, dat de z.r. in de zomer meer regen levert dan in de winter (5,1 en resp. 1,8 mm, berustend op 148 resp. 8 stuks z.r.). Wanneer wij de zomer met de herfst vergelijken zien wij in de $\bar{h}$ wel (5,1 en 3,3 mm), maar in de $\bar{t}$ zo goed als geen verschil (10,2 en 10,0 minuten), hetgeen betekent, dat de intensiteiten in zware regens 's zomers hoger liggen dan in de herfst (zoals te De Bilt, Tilburg, Den Haag).

12.3.3 Voorts hebben wij de dagelijkse gang bekeken door te onderzoeken hoe de begintijdstippen over de dag verdeeld liggen. Zie tabel 133.

TABEL 131 AMSTERDAM 1925-1950
Totale aantallen z.r. per seizoen

Le	Zo	He	Wi	Jr
35	148	104	8	295
12	50	35	3	100 %

Total numbers of heavy rains

TABEL 132 AMSTERDAM 1925-1950
De gemiddelde hoeveelheden $\bar{h}$ en de gemiddelde duur $\bar{t}$

	Le	Zo	He	Wi	Jr	
$\bar{h}$	4,3	5,1	3,3	1,8	4,3	mm
$\bar{t}$	11,2	10,2	10,0	7,5	10,2	min

Mean rainfall $\bar{h}$ mm and mean duration $\bar{t}$ minutes per heavy rain

TABEL 133 AMSTERDAM 1925-1950
Totale aantallen z.r. in elk der zesurige tijdvakken

	0-6 h	6-12 h	12-18 h	18-24 h	Som
Le	11	6	11	7	35
Zo	35	43	40	30	148
He	24	22	28	30	104
Wi	3	2	0	3	8
Jr	74	72	79	70	195

Total numbers of heavy rains per 6-hours period of a day.
Diurnal variation

Noch in de seizoenen, noch in het jaar, is de dagelijkse gang in de aantallen z.r. statistisch significant (wij hebben dit onderzocht met de χ^2 -toets).

HOOFDSTUK 13

MOEILIKHEDEN BIJ HET UITTREKKEN VAN PLUVIOGRAMMEN

EEN VERGELIJKING TUSSEN EEN RECHT EN EEN GEKROMD COORDINATENNET

13.0 Wij hebben uitvoerig onderzocht hoe het komt, dat (in het bijzonder) de (grote) momentane en gemiddelde intensiteiten in regens, opgeschreven op

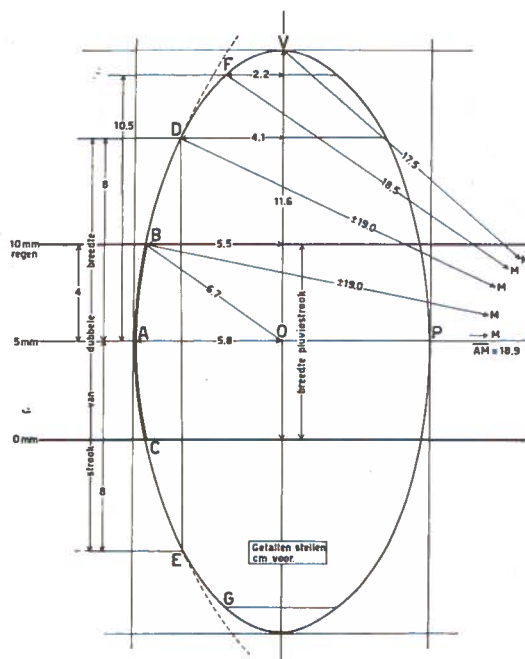


FIG. 50. The curve (GECABDF) has been drawn as it would be given by the pen of the selfrecording balance type rain gauge on the paper if the cylinder had stopped, and the strip of paper is broad enough. Only the part CAB, corresponding with 10 mm rainfall, is nearly a circle segment, as well as the larger part EAD. If the writing arm could be turned around M in all directions the pen would write the closed oval curve GAVPG on the surface of the resting cylinder. The time lines (between the 0 and 10 mm levels) on the pluviogram are circle segments parallel to CAB. The figures represent cm

de stroken, in gebruik bij de zelfregistrerende regenmeter van het „kantelend-bakje”-type (zie fig. 21 en 22), zo onnauwkeurig te bepalen zijn. Het bleek nodig allereerst de juiste vorm der gebogen krommen na te gaan en daarna te onderzoeken hoe wijd de indeling naar hoeveelheid en duur eigenlijk had behoren te zijn. In deze studie bleek duidelijk het voordeel van een recht coördinatennet, als aangegeven in fig. 21.

Aangezien er bij dit probleem meer wiskunde optreedt dan past bij het karakter van deze verhandeling, geven wij hier alleen de hoofdzaken weer en willen wij voor de finesses verwijzen naar ons artikel in de Meteorologische Annalen [40].

13.1 Het bleek, dat iedere gebogen lijn in goede benadering een deel van een cirkel is, althans over een niet te grote lengte. Zie fig. 50: tussen B en C is de kromme zo goed als een cirkel, tussen D en E al

wat minder, tussen F en G al zeker niet meer. Hierbij is GAF de kromme, die de schrijfpunten op de trommel schrijven zou, als wij de schrijfarm (bij stilstaande trommel) op en neer laten gaan (indien de trommel voldoende lang ondersteld wordt).

In dit gebogen net is een regencurve, waarin, van ogenblik tot ogenblik, de intensiteit constant zou zijn, niet een rechte lijn, maar een gebogen kromme (deel van een ellips). Verder moge worden opgemerkt: de interessante pluvio-curven (hier alle met een $i > 0,12$ mm/min) beginnen op de basislijn ($h = 0$) al direct met naar links te buigen. Voorts: welke ook de i -waarde moge zijn, alle regencurven (van constante i) snijden de middellijn (de hoogte $h = 5$ mm) onder een helling, als ware het coördinatennet recht.

Genoemde waarde 0,12 hangt samen met de afmetingen van het net, zijnde 1 cm papier = 1,31 mm regen en 51,8 minuten.

13.2 Voor een scherpe onderkenning van grote i -waarden, zegge meer dan 0,5 mm/min (en voor deze heeft de praktijk juist interesse), is het net beslist te nauw. Zelfs bij uiterst scherpe registraties en dan nog voor niet te grote i 's (bijv. beneden 2 mm/min), is de nauwkeurigheid in de i gering (20 à 50 %). Een 2 of 3 keer zo wijd net maakt dit ongetwijfeld beter.

13.3 Vanzelfsprekend hebben wij gezocht naar een hulpmiddel, waarmee de aflezing van de waarden van i van het diagram versneld zou kunnen worden.

In een recht coördinatennet (zie fig. 51) is dit gemakkelijk te bereiken door allereerst op een doorzichtig schaalteje een aantal *rechte* lijnen vanuit eenzelfde punt te trekken, aangevende regens met constante intensiteiten van 0,00 0,01 0,02 0,03 1,0 1,5 2,0 mm/min. Is het de rechte met $i = 0,2$ mm/min, die in een bepaald punt aan de regencurve raakt, dan is in dat punt dus de momentane intensiteit 0,2 mm/min.

In principe is zulk een intensiteitschaaltje ook voor een gebogen net (fig. 52) te construeren. Nu bevat het *gebogen* lijnen van constante i . Thans moet steeds de nul-kromme eerst op de nullijn van het diagram gelegd worden (in het geval van het rechte coördinatennet is een evenwijdige ligging al voldoende) en vervolgens moet gezocht worden naar die curve van het schaalteje, die in het gegeven punt van de registratie aan de regencurve raakt. Hier is een typische psychologische factor van grote betekenis. Ons oog „ziet de krommen en rechten liever” in een recht coördinatennet. In fig. 53 (gefantaseerd) zou men op het eerste gezicht zeggen, dat het in A intenser dan in B regende en toch is het omgekeerde het geval (in B: 0,15 en in A: 0,10 mm/min) en dit juist vanwege het gebogen-zijn der tijdlijnen.

13.4 Het uitzoeken van de regens of die gedeelten van regens, waarbij van moment tot moment de intensiteit zekere waarde moet overschrijden (bijv. 0,02;

FIG. 51 en 52. Twee "intensiteitschaaltjes"; op de werkelijk gebruikte waren meer krommen van constante intensiteit getrokken. In fig. 51 voor een pluviostrook met rechtlijnig net (pluviograaf van Hellmann-type; reeds in gebruik in 1900). In fig. 52 voor stroken met een gekromd net (pluviograaf van het kantelbakje-type). Het tijdnet is iets nauwer

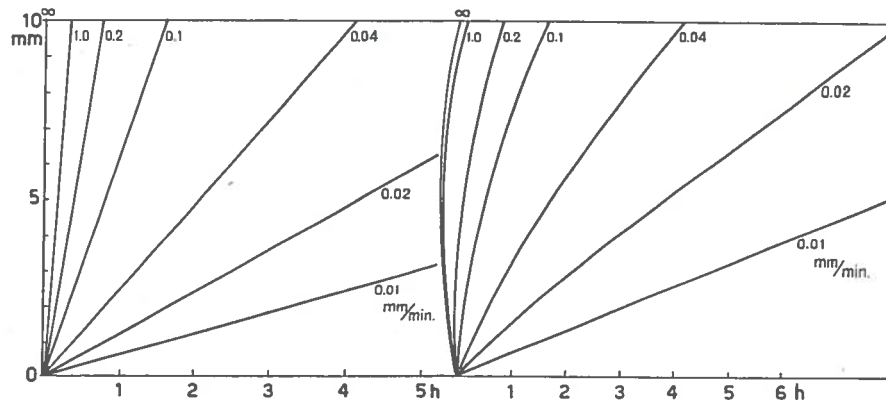
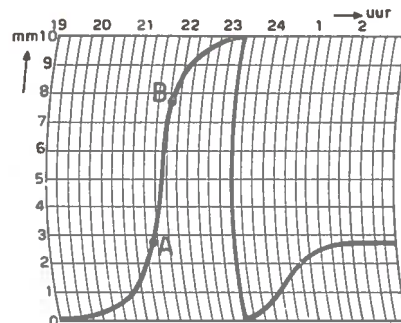


FIG. 51. The raincurves (straight lines) recorded by rains of constant intensity with values of 0,01 0,02 0,04 0,1 0,2 1,0 and ∞ mm/min. Floatgauge

FIG. 52. The same raincurves (parts of ellipses), but now for a raingauge of the balance type. Each clock hour is represented by a somewhat smaller number of centimeters of paper. In consequence the durations can be read less accurately than in fig. 51. Besides the time lines (approximately circle segments) are curved parallel to the raincurve $i = \infty$. See fig. 53

FIG. 53 Terwijl de momentane intensiteit in A groter dan in B lijkt (want de raaklijn in A helt meer dan die in B), is ze toch in A ongeveer 0,10 en in B ongeveer 0,15 mm/min. De kromlijnigheid van een coördinatennet is oorzaak van deze "paradox". Zie verder de text

FIG. 53. We have drawn a raincurve on a strip of paper belonging to a balance type raingauge. Although it seems that the intensity in A is higher than in B, it proves to be 0,10 in A and 0,15 mm/min in B. Obviously the curved time lines are responsible for such mistakes. Apparently our eyes are accustomed to judging the curvatures of a curve in various points in a scale with straight coordinate lines in both directions



0,1 of 0,2 of 0,5 mm/min) wordt een tijdrovend, vermoeiend en min of meer onmogelijk werk, vooral wanneer de drempel hoog gekozen wordt en de i -waarden daardoor uiterst onnauwkeurig afgelezen kunnen worden.

Bepaalde onderzoeken vragen bovendien naar de waarden en de tijdstippen van de maximale momentane intensiteiten of naar de tijdvakjes, gedurende welke de momentane intensiteit dicht bij de i_m -waarde lag.

Het zal de lezer duidelijk zijn, dat wij op zulke vragen, op basis van de gegevens van een pluviograaf van het kantelend-bakje-type en met een coördinatennet op het papier als in fig. 22 (bijna) niet kunnen antwoorden. Wanneer dan bovendien nog de grote intensiteiten in de regen in kwestie vallen in de ogenblikken, waarop het bakje kantelt, zijn wij wel heel erg gehandicapt. Een twee keer zo brede strook (met een neerslagtraject van 1 tot 20 mm) is reeds een grote verbetering, een twee à vier keren zo wijd tijdnet eveneens. De voorkeur geven wij echter aan het rechte net, als in fig. 21, hoewel ook nu de „zeer” grote intensiteiten (bijv. boven 4 mm/min) moeilijk zijn af te lezen. Men moet dan de *intensiteitsmeter* te hulp roepen (een instrument, dat niet de h , maar de $i = dh/dt$ als functie van t registreert).

HOOFDSTUK 14

VERGELIJKING DER AANWIJZINGEN VAN PLUVIOGRAAF EN GEWONE REGENMETER

14.0 In hoofdstuk 2 vertelden wij, dat de hoeveelheid neerslag, gemeten met de pluviograaf, dikwijls (aanzienlijk) verschilt van, d.w.z. meestal kleiner is dan, die volgens de gewone regenmeter [40]. Men leze ook de opmerking hierover van B r a k in M.V. 34a; de tekorten worden door hem echter niet nader toegelicht.

Wij hebben een uitvoerig statistisch onderzoek naar deze verschillen uitgevoerd, hopende, dat dit zou leiden tot een beter begrip der tekorten en tot opstelling van bepaalde regels, volgens welke men de van de stroken afgelezen hoeveelheden zou moeten corrigeren. Dat ons doel niet helemaal bereikt is, zal uit het volgende blijken. Een en ander bleek ingewikkelder dan gedacht werd. Een nauwgezette studie der tekorten, vooral een onderzoek van de instrumentele bijzonderheden, speciaal in het laboratorium, waarbij men regens van sterk uiteenlopende intensiteiten zou moeten nabootsen, blijkt nodig.

14.1 Het materiaal

Wij hebben in hoofdzaak het materiaal der jaren 1926–1945 bekeken. Met ingang van 1 Januari 1946 werden overal in het land de gewone regenmeters verlaagd van 150 tot 40 cm, doch de pluviograaf bleef op 150 cm hoogte staan. In M.V. 48 beschrijft B r a k de invloed van de wind op de regenwaarnemingen. Men leest er, dat door verlaging van 150 tot 40 cm hoogte, de gewone regenmeters omtrent het midden des lands gemiddeld genomen 3 % meer opvangen dan vroeger. Aangezien het effect, dat wij willen bekijken, tussen zegge 2 en 15 % gelegen is (wij dachten aanvankelijk meer bij 2 dan bij 15 %), lag het voor de hand allereerst alleen die jaren in het onderzoek te betrekken, waarin beide regenmeters even hoog stonden.

14.2 Frequentieverdelingen

Omdat wij de tekorten in verband wilden brengen met de volgens de gewone regenmeter gevallen hoeveelheden, hebben wij de laatste in de groepen 0,1–5,0; 5,1–10,0 mm ingedeeld (later bleek gewenst de eerste groep nog onder te verdelen in 0,1–1,0 en 1,1–5,0 mm). Als nevenresultaat ontstond dus een frequentieverdeling der etmaalsommen van uiteenlopende grootten. Bovendien hebben wij de dagen ingedeeld naar die met één regen en die met twee of meer regens. Dit eist nadere toelichting: elders rekenden wij een regen slechts tot die dag, waarin zijn beginpunt gelegen is. Bovendien bleven al die regen(tjes) buiten beschouwing, waarvan de gemiddelde intensiteit ten hoogste 0,001 mm/min

bedroeg (dus uiterst flauw hellende pluviocurven). Wij moeten thans anders te werk gaan. Zo moeten wij nu een regen, die begon op bijv. 3 Januari (d.w.z. tussen 8 uur van 3 en 8 uur van 4 Januari) en aanhield tot voorbij de 8 uur-aftapping van 4 Januari, d.w.z. eindigde op 4 Januari, zowel tot 3 als tot 4 Januari rekenen. Wij moeten wel zo handelen, opdat zich niet de vreemde situatie kan voordoen, dat zekere dag (8–8h) neerslag leverde (volgens de gewone regenmeter), maar geen enkele regen telde. Omdat wij de totale aflezing van het pluviogram vergeleken met de aftapping van de gewone regenmeter, zodat in die aflezing ook die regen(tje)s begrepen kunnen zijn, die wij elders niet beschouwden, dienden wij nu wèl met iedere stijging van de pluviocurve rekening te houden, hoe flauw ook (men bedenke, dat een zeer langdurige, zeer „zachte”, regen, van bijv. 0,001 mm/min, in 10 uren toch nog 0,6 mm levert).

Aldus zijn gedefinieerd de „regendagen” van type A (één regen) en van type B (meer dan één regen). Tenslotte zij vermeld, dat wij materiaal van twijfelachtige waarde buiten beschouwing lieten.

Wij geven allereerst in tabel 134 een overzicht der aantallen A- en B-dagen over het ganse tijdvak 1926–1945.

TABEL 134

DE BILT 1926–1945

Aantallen dagen

<i>h</i> mm	0,1– 5,0	5,1– 10,0	10,1– 15,0	15,1– 20,0	20,1– 25,0	25,1– 30,0	30,1– 35,0	35,1– 40,0	40,1– 45,0	45,1– 50,0	50,1– 55,0	som
A-dag	1319	96	38		1							1454
B-dag	1144	526	182	62	31	18	10	3	4	4	2	1986
samen	2463	622	220	62	32	18	10	3	4	4	2	3440

*Total numbers of A- and B-days of *h* mm. A „A day” is a day with one rain; a „B-day” contains two or more rains*

Het ganse tijdvak telde rond 7300 dagen, waarvan dus ongeveer 20 % A- en 27 % B-dagen. Op bijna de helft (47 %) aller dagen valt tenminste één regen. Overigens verschillen de frequentieverdelingen in de A- en B-rij aanzienlijk. B-dagen met 0,1–5,0 mm zijn er minder dan A-dagen met deze hoeveelheden, maar in alle andere intervallen komt het aantal B-dagen boven dat der A-dagen uit. Flinke dagsommen, bijv. meer dan 20 mm, zijn zo goed als uitsluitend aan meer dan één regen gebonden. Zoals behoort, is dit in overeenstemming met de resultaten, genoemd in Hoofdstuk 9.

14.3 De *q*-waarden (*q* = dagsom volgens de niet registrerende regenmeter, gedeeld door die volgens de pluviograaf)

Over alle dagen tezamen en ongeacht de dagsommen, kwam er als gemiddelde $\bar{q} = 1,12$ (de 3440 *q*-waarden liepen uiteen tussen 0,4 en 6,0). Het viel ons op,

TABEL 135

DE BILT 1926-1945

 $\bar{q}$ -waarden

Gemiddelde waarde van $\bar{q}$ (in iedere eerste rij), gebaseerd op zoveel q 's als in de tweede rij genoemd worden, voor verschillende waarden van h , voor A- en voor B-dagen; h = etmaalhoeveelheid, gemeten met de niet zelfregistrerende regenmeter; q = etmaalhoeveelheid, gemeten met de niet-, gedeeld door die, gemeten met de wel-registrerende regenmeter

Het algemeen gemiddelde is $\bar{q} = 1,12$

		h mm	0,1- 5,0	5,1- 10,0	10,1- 15,0	15,1- 20,0	20,1- 25,0	25,1- 30,0	30,1- 35,0	35,1- 40,0	40,1- 45,0	45,1- 50,0	50,0- 55,0	alle
A	$q \geq 1$	$\bar{q}$	1,21	1,07	1,06		1,09							1,20
		aantal	1198	80	36		1							1315
	$q < 1$	$\bar{q}$	0,85	0,97	0,98									0,86
		aantal	121	16	2									139
	alle q	$\bar{q}$	1,18	1,05	1,06		1,09							1,17
		aantal	1319	96	38		1							1454
B	$q \geq 1$	$\bar{q}$	1,14	1,06	1,06	1,04	1,06	1,04	1,04	1,02	1,06	1,05	1,08	1,10
		aantal	1007	442	170	58	31	16	9	3	4	4	2	1746
	$q < 1$	$\bar{q}$	0,92	0,95	0,98	0,98		0,98	0,96					0,93
		aantal	137	84	12	4		2	1					240
	alle q	$\bar{q}$	1,11	1,04	1,05	1,04	1,06	1,04	1,03	1,02	1,06	1,05	1,08	1,08
		aantal	1144	526	182	62	31	18	10	3	4	4	2	1986
A + B	$q \geq 1$	$\bar{q}$	1,18	1,06	1,06	1,04	1,06	1,04	1,04	1,02	1,06	1,05	1,08	1,15
		aantal	2205	522	206	58	32	16	9	3	4	4	2	3061
	$q < 1$	$\bar{q}$	0,88	0,95	0,98	0,98		0,98	0,96					0,90
		aantal	258	100	14	4		2	1					379
	alle q	$\bar{q}$	1,15	1,04	1,06	1,04	1,06	1,04	1,03	1,02	1,06	1,05	1,08	1,12
		aantal	2463	622	220	12	32	18	10	3	4	4	2	3440

Mean value of q ($\bar{q}$ in first row), based on so many q 's as mentioned in second row, for various values of h , for A- and B-days; h = daily rainfall, measured with nonrecording raingauge; for definition of A- and B-days see table 134; q = daily rainfall measured by the nonrecording raingauge divided by rainfall from pluviograph. The general average value $\bar{q} = 1,12$

dat $\bar{q}$ zeer veel hoger ligt dan men zo in de literatuur (1,02 à 1,06) leest. Wanneer de absolute tekorten (straks zal echter blijken, dat ook q -waarden kleiner dan 1 optreden) min of meer een vaste waarde hebben, zou het te begrijpen zijn, dat de q 's bij kleine dagsommen zeer veel groter zijn dan die bij grote; aangezien kleine dagsommen veel frequenter zijn dan grote wordt de $\bar{q}$ naar de grote

waarden getrokken. In tabel 135, waarin wij èn naar A- en B-dagen èn naar $q \geq 1$ en $q < 1$ gesplitst hebben, lijkt zulks inderdaad het geval te zijn.

Wanneer men de som van alle neerslaghoeveelheden op deze 3440 dagen deelt door de totale hoeveelheid, afgelezen van de pluviogrammen, komt men tot $\bar{q}_2 = 1,05$. Men lette op het verschil met de $\bar{q}_1 = 1,12$. Het is deze $\bar{q}_2$, die men in de literatuur dikwijls genoemd vindt. Wij willen erop wijzen, dat $\bar{q}_1$ en $\bar{q}_2$ langs verschillende wegen gevonden zijn. Men kan bewijzen, dat noodzakelijk $\bar{q}_2 < \bar{q}_1$. In dit bewijs [41] treden de correlatie tussen de hoeveelheden volgens de pluviograaf en volgens de gewone regenmeter en de variaties in elk van dag tot dag op. Wij prefereren de q_1 , omdat wij tot een correctie per dagsom willen komen.

Tabel 135 leert ons het volgende:

(1) Zien wij naar de laatste rij onder alle dagen (dus niet lettende op A- of B-dagen) dan merken wij gaande, van 0,1–5,0 naar 5,1 en meer mm per etmaal, een snelle daling van de $\bar{q}$ op. Wij moeten daarbij wel bedenken, dat voor grotere dagsommen de $\bar{q}$ (zeer) onnauwkeurig wordt vanwege het feit, dat er weinig gevallen waren. Bovendien is iedere $\bar{q}$ het gemiddelde van een aantal q -waarden, die vaak sterk spreiden. Zo liepen bij $\bar{q} = 1,06$ (onder 10,1–15,0 mm) de 220 q -waarden uiteen tussen 0,97 en 1,75. De volgende tabel geeft een indruk van deze variaties.

TABEL 136

DE BILT 1926–1945

Gemiddelde $\bar{q}$; max. en min. q . Alle dagen

h mm	0,1– 5,0	5,1– 10,0	10,1– 15,0	15,1– 20,0	20,1– 25,0	25,1– 30,0	30,1– 35,0	35,1– 40,0	40,1– 45,0	45,1– 50,0	50,1– 55,0	alle
$\bar{q}$	1,15	1,04	1,06	1,04	1,06	1,04	1,03	1,02	1,06	1,05	1,08	1,12
max. q	6,00	1,83	1,75	1,34	1,12	1,52	1,10	1,12	1,09	1,06	1,08	6,00
min. q	0,40	0,86	0,97	0,94	0,98	0,98	0,96	1,01	1,03	1,02	1,08	0,40
Aantal	2463	622	220	62	32	18	10	3	4	4	2	3440

From top to bottom: mean value $\bar{q}$, maximum q , minimum q and number of q -values for all days with rainfall h mm

Hoe groter het aantal q 's in een kolom, hoe groter ook de spreiding. Kunnen de grote verschillen tussen de q 's iets te maken hebben met het aantal „terugvallen” van de pen? Wij meenden te weten, dat de tekorten ontstaan in hoofdzaak bij het bereiken van de 10,0 mm lijn (d.w.z. meestal keert de curve al voor de 10,0 mm terug; een enkele keer komt ze er ook overheen). Bij een dagsom van 45 mm behoren zeker 4 terugvallen, bij een van 25 mm zeker twee en bij een van bijv. 3 mm (eerste kolom) nul of één (merendeels nul).

Wanneer een tekort, ontstaan bij een kanteling, gemiddeld genomen vrij

constant mocht zijn, dan is het te begrijpen, dat het bij kleine etmaalsommen (in de eerste kolom) procentueel aanzienlijk kan worden. Natuurlijk is de zaak niet zó eenvoudig. Wij weten immers bij ervaring, dat ook zonder een kanteling de pluviograaf dikwijls minder levert dan de gewone regenmeter, vooral als de hoeveelheid zeer „zacht” bij elkaar geregend is. Met andere woorden: het regent wel zeer licht (bijv. aan het begin of aan het einde van een regen), terwijl de pluviocurve dit niet laat zien. Zo ontstaan dus ook tekorten.

In elk geval leek het ons gewenst het eerste interval nog eens te verdelen en wel in de „zeer kleine” dagsommen 0,1–1,0 mm en de grotere 1,1–5,0 mm. Het resultaat is opgenomen in tabel 137.

TABEL 137 DE BILT 1926–1945
Als in tabel 135, doch nu alleen voor etmaalsommen van 5 en minder mm

		h mm	0,1–1,0	1,1–5,0	0,1–5,0
A	$q \geq 1$	$\bar{q}$	1,26	1,13	1,21
		aantal	763	435	1198
	$q < 1$	$\bar{q}$	0,72	0,98	0,85
		aantal	61	60	121
	alle q	$\bar{q}$	1,22	1,11	1,18
		aantal	824	495	1319
B	$q \geq 1$	$\bar{q}$	1,25	1,11	1,14
		aantal	187	820	1007
	$q < 1$	$\bar{q}$	0,79	0,94	0,92
		aantal	27	110	137
	alle q	$\bar{q}$	1,19	1,09	1,11
		aantal	214	930	1144
A + B	$q \geq 1$	$\bar{q}$	1,26	1,12	1,18
		aantal	950	1255	2205
	$q < 1$	$\bar{q}$	0,74	0,95	0,88
		aantal	88	170	258
	alle q	$\bar{q}$	1,22	1,10	1,15
		aantal	1038	1425	2463

Like table 135, but now only for daily rainfalls $h \leq 5,0$ mm

Deze tabel leert, dat voor de nog kleinere etmaalsommen, zowel voor de A- als B-dagen, de waarde van $|1-q|$ aanzienlijk toegenomen is. De tekorten vertonen derhalve iets „absoluuts”.

(2) Men lette speciaal op de vrij talrijke gevallen, dat de pluviograaf meer geeft dan de regenmeter ($q < 1$); in totaal 258 keren $q < 1$ tegenover 2205 keren $q \geq 1$.

Het is opvallend, dat zich deze omstandigheid bij grotere etmaalhoeveelheden steeds minder voor doet, bij A-dagen al niet meer voorbij 25 mm, bij B-dagen niet meer voorbij 35 mm. Misschien mogen wij het zo zeggen: bij zulke hoeveelheden worden blijkbaar de tevelen van de pluviograaf (tijdens de bijeenrekening) overgecompenseerd door de tekorten.

In doorsnee blijkt de positieve correctie, die op de pluviograaf aangebracht dient te worden, groter dan de negatieve. Zie in tabel 137, onder de A + B-dagen, 1,18 tegen 0,88.

14.4 Samenvatting

a. De tekorten en tevelen van de pluviograaf spreiden flink, vooral in de rubriek van kleine etmaalsommen (< 5 mm); de tekorten zijn ongeveer 8 keer zo frequent als de tevelen.

b. De waarde van $\bar{q} - 1$ voor een B-dag (meer dan 1 regen) is ongeveer 2 keer zo groot als voor een A-dag (1 regen).

c. Zowel voor A- als B-dagen lijkt de $\bar{q}$ -waarde voor grote etmaalhoeveelheden vrijwel constant te zijn; voor kleine hoeveelheden (< 1 mm) neemt $\bar{q}$ sterk toe.

d. Over al het beschikbare materiaal gemiddeld, bedraagt $\bar{q} = 1,12$.

Wij hebben reeds gezegd, dat de periode 1946–1948 buiten beschouwing gelaten werd, althans in dit eerste oriënterende onderzoek. De totale hoeveelheid, gevallen volgens de gewone regenmeter, over de drie jaren 1946, 1947 en 1948, gedeeld door de hoeveelheid, afgelezen van de pluviogrammen, geeft 1,07. In deze periode stond de regenmeter op 40 cm, de pluviograaf op 150 cm hoogte. Wij schreven reeds, dat de $\bar{q}$ in de jaren 1926–1945 (beide regenmeters op 150 cm hoogte) 1,05 was. De toeneming van 1,05 naar 1,07 met 2 % is in overeenstemming met wat B r a a k vond [42]. Wanneer de niet registrerende regenmeter reeds meer geeft dan de pluviograaf en de hoeveelheden nog toenemen door de opstellingshoogte te verlagen, zal het quotiënt $\bar{q}$ moeten toenemen ¹⁾.

Vastgesteld moet worden, dat bovenstaande statistische resultaten alleen niet kunnen leiden tot een volledig begrip van het verschijnsel der tekorten en tevelen; het is helaas niet mogelijk tot volstrekt juiste correctievoorschriften te komen. Een en ander is nog te ingewikkeld. De resultaten hebben sterk de nadruk gelegd op de wenselijkheid het verschijnsel gedetailleerder in de natuur,

¹⁾ Met toenemende hoogte neemt de gemiddelde windsterkte toe. Met toenemende wind vangt de regenmeter een kleinere hoeveelheid neerslag: het „windeffect” [34]

zowel als in het laboratorium te bestuderen. Zo bleek dikwijls, dat de regen-curve (bij een werkelijke – d.w.z. niet door ons nagebootste – regen), de 10 mm-lijn naderende, deze passeert (bijv. voor enkele tienden mm) als de intensiteit daarbij maar zeer klein is, bijv. ten hoogste 0,002 mm/min; doch een regel zonder uitzondering is dit niet. Het zal nodig zijn de *i*-waarden meer in de beschouwing te betrekken om te komen tot de best gefundeerde correctievoorschriften, althans als men wil corrigeren. Het is wellicht duidelijk, dat wij tenslotte besloten het pluviogram dagelijks te corrigeren en wel op basis van wat de pluviograaf ten opzichte van de gewone regenmeter tekort (een enkele keer teveel) aanwijst (zie 2.1).

HOOFDSTUK 15

 NAUWKEURIGHEIDSBESCHOUWINGEN
 BIJ DE GEMIDDELDE INTENSITEIT
 VAN EEN REGEN

15.0 In de hoofdstukken 2 en 13 werd reeds verteld, dat de wijidte van het coördinatennet op het pluviogram van grote invloed is op de nauwkeurigheid van uittrekking der registraties. Wij willen deze kwestie in dit hoofdstuk nader onder de loupe nemen (de meer mathematische details vermelden wij niet).

15.1 Zij weer h = hoeveelheid neerslag (in mm) in een regen of een deel ervan; t = duur in minuten; $i = h/t$ = gemiddelde intensiteit.

Aangezien zowel de t als de h met zekere onnauwkeurigheid wordt afgelezen, zegge met $a = dt$ (bijv. 1; 3; 5 minuten) en $b = dh$ (bijv. 0,1, 0,5, 1,0 mm), is ook de i onnauwkeurig.

(1) In de literatuur [7] wordt wel genoemd $di/i = dt/t$ als relatieve onnauwkeurigheid van de i .

(2) De juiste uitdrukking is evenwel: $di/i = \sqrt{\left(\frac{dh}{h}\right)^2 + \left(\frac{dt}{t}\right)^2}$ (althans indien de nauwkeurigheid van aflezing van h onafhankelijk is van die van t).

Wij willen eerst ter oriëntatie aan enige getallen laten zien, hoe de waarden van di/i uiteen kunnen lopen en (2) toch goed door (1) benaderd wordt voor de in de praktijk interessante i -waarden (zie tabel 138).

TABEL 138 De relatieve nauwkeurigheid di/i van de intensiteit i

	h	t	dh/h	dt/t	di/i		h	t	dh/h	dt/t	di/i
$i = 1,0$	40	40	0,25	12,5	12,5	$i = 0,10$	40	400	1,25	1,25	1,3
	20	20	0,50	25,0	25,0		20	200	0,50	2,50	2,6
	10	10	1,0	50,0	50,0		10	100	1,00	5,00	5,1
	5	5	2,0	100,0	100,0		5	50	2,00	10,00	10,2
							1	10	10,00	50,00	51,0
							0,5	5	20,00	100,0	102
$i = 0,5$	40	80	0,25	6,25	6,2	$i = 0,05$	40	800	0,25	0,62	0,7
	20	40	0,50	12,50	12,5		20	400	0,50	1,2	1,3
	10	20	1,00	25,00	25,1		10	200	1,00	2,5	2,7
	5	10	2,00	50,00	50,1		5	100	2,00	5,0	5,3
	2,5	5	4,00	100,00	100,1		1	20	10,00	25,0	27,0
							0,25	5	40,0	100,0	108

	<i>h</i>	<i>t</i>	<i>dh/h</i>	<i>dt/t</i>	<i>di/i</i>		<i>h</i>	<i>t</i>	<i>dh/h</i>	<i>dt/t</i>	<i>di/i</i>
<i>i</i> = 0,2	40	200	0,25	2,5	2,5	<i>i</i> = 0,02	40	2000	0,25	0,2	0,4
	20	100	0,50	5,0	5,0		20	1000	0,5	0,5	0,7
	10	50	1,00	10,0	10,0		10	500	1,0	1,0	1,4
	5	25	2,00	20,0	20,0		5	250	2,0	2,0	2,8
	1	5	10,0	100,0	100,0		1	50	10,0	10,0	14,1
							0,1	5	100,0	100,0	141
<i>i</i> = 0,1	40	400	0,2	1,2	1,3	<i>i</i> = 0,01	40	4000	0,2	0,1	0,3
	20	200	0,5	2,5	2,6		20	2000	0,5	0,2	0,6
	10	100	1,0	5,0	5,1		10	1000	1,0	0,5	1,1
	5	50	2,0	10,0	10,2		5	500	2,0	1,0	2,2
	1	10	10,0	50,0	51,0		1	100	10,0	5,0	11,2
	0,5	5	10,0	100,0	102		0,1	10	100,0	50,0	112

	<i>h</i>	<i>t</i>	<i>dh/h</i>	<i>dt/t</i>	<i>di/i</i>
<i>i</i> = 0,05	40	800	0,2	0,6	0,7
	20	400	0,5	1,2	1,3
	10	200	1,0	2,5	2,7
	5	100	2,6	5,0	5,3
	1	20	10,0	25,0	27,0
	0,25	5	40,0	100,0	108,0

The percentage error *di/i* in the intensity *i* = *h* :
t for rains of various *i*, *h* and *t*; *h* = amount
of precipitation in the rain (mm); *t* = duration
of the rain (minutes); *dh/h*, *dt/t* and *di/i* in %

In deze tabel is *dh* = 0,1 mm;
dt = 5 minuten (zoals op vele stro-
ken het geval was); *h* in mm; *t* in
minuten; *dh/h*, *dt/t* en *di/i* in %.
Men ziet, dat er voor *i* ≥ 0,1 geen
noemenswaardig verschil is tussen
wat formules (1) en (2) leveren. De
volledige regens met *i* ≥ 0,1 mm/min
maken ongeveer 65 % uit van alle
regens.

Wij stellen vervolgens de vraag
hoeveel procent men mis is, door
voor *di/i* niet (2) doch (1) te nemen.

Dit percentage blijkt alleen met de
verhouding van *dt/t* tot *dh/h* samen te hangen. Voor een verhouding 2 is het
5, voor 10 slechts 0,4. Het blijkt, dat men voor alle *i*-waarden, groter dan 0,1
mm/min, voor minder dan 2 % fout is, als men (1) i.p.v. (2) neemt.

De verdere analyse van (2) gaat als volgt. Zij $H = 1/h$, $T = 1/t$, $H_0 = k/dh$,
 $T_0 = k/dt$ en $k = di/i$, d.i. de relatieve nauwkeurigheid van de *i*. Wij be-
schouwen de ellips (zie fig. 54)

$$(3) \quad \frac{T^2}{T_0^2} + \frac{H^2}{H_0^2} = 1.$$

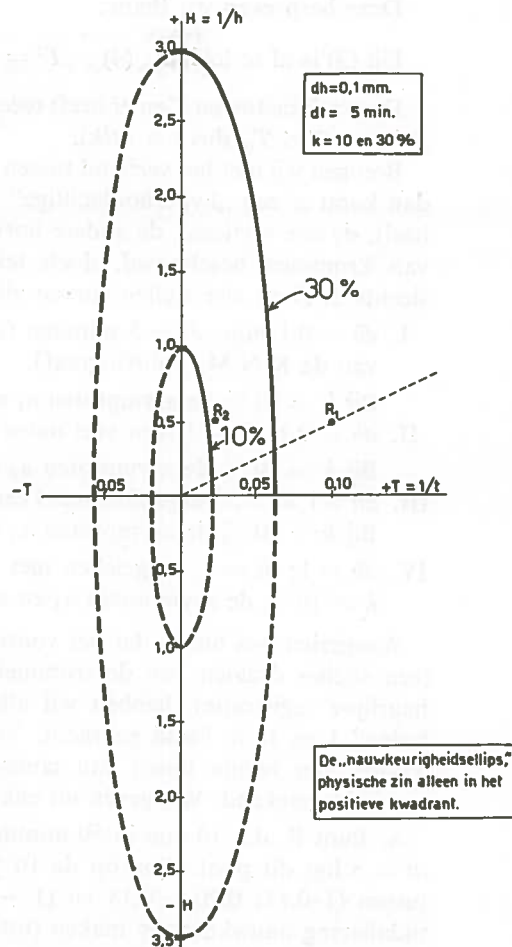
De lopende coördinaten zijn *H* en *T*; de parameter, welke de ellips bepaalt,
is *k*, bijv. 10 en 30 %. Fysische zin heeft natuurlijk alleen het eerste kwadrant,
dat der positieve *H*- en *T*-waarden.

FIG. 54. The ellipse shows the error (in %) made in computing the mean intensity $i = h/t$ of a rain of t minutes and h millimeters. It is assumed that the instrumental accuracy is 5 min for the duration and 0,1 mm for the amount of precipitation. We have drawn the ellipses of 10 and of 30 %; R_2 represents a rain with $1:h = 0,5$ ($h = 2$ mm) and $1/t = 0,02$ ($t = 50$ min); the error in the intensity 0,04 mm/min amounts to 11 %. Such a error might be called small

Verder hangt de vorm van de ellips, welke wij de „nauwkeurigheidse ellips” kunnen noemen, nog samen met de waarden van dh en dt (in fig. 54 resp. 0,1 mm en 5 minuten). Wij maken van deze figuur gebruik als volgt: iedere regen of elk regendeel wordt door een punt voorgesteld, bijv. punt R_1 , als $h = 2$ mm ($H = 0,5$) en $t = 10$ minuten ($T = 0,1$), dus een zware regen, geen stortregen. Hoe groter de h , bij eenzelfde t , hoe meer de punten tot de oorsprong naderen en omgekeerd. Men ziet aldus direct, dat de intensiteit van de regen R_1 zeer onnauwkeurig is (ca 50 %), en van R_2 vrij nauwkeurig (ongeveer 11 %). Door de ellipsen kan men het ganse vlak derhalve in nauwkeurigheidse zones verdelen, bijv. 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % enz.

Wanneer wij alleen de k veranderen (5 %, 10 %) ontstaan concentrische (d.w.z. gelijkvormige) ellipsen. Wanneer wij alleen dt vergroten (afleesnauwkeurigheden van 1, 5, 10, 30 minuten) wordt de kleine as van de ellips kleiner. Wanneer wij dh groter maken (afleesnauwkeurigheden van bijv. 0,1, 0,5, 1,0 mm), wordt de grote as kleiner.

15.2 Aangezien wij deze nauwkeurigheidsbeschouwingen wilden combineren met de frequenties van regens en regengedeelten, ingedeeld naar duur en hoeveelheid, en het juist dan veel praktischer is in plaats van de coördinaten $1/h$ en $1/t$ de h en t (bijv. in logaritmische schaal) te gebruiken, hebben wij uiteindelijk toch aan een andere grafische voorstelling de voorkeur gegeven.



Deze bespreken wij thans:

$$\text{Uit (3) is af te leiden: (4) } T^2 = \left[\frac{dh}{dt} \right]^2 \sqrt{H_0^2 - H^2}.$$

Deze relatie tussen T en H heeft reële zin alleen voor $H \leq H_0$ (dus $h \geq 1/H_0 = dh/k$) en $T \leq T_0$ (dus $t \geq dt/k$).

Brengen wij niet het verband tussen H en T in grafiek, maar dat tussen h en t , dan komt er een „hyperboolachtige” tak, welke twee orthogonale asymptoten heeft, de ene verticaal, de andere horizontaal (zie fig. 55). Wij hebben 4 paren van krommen beschouwd, doch tekenen er terwille van de duidelijkheid slechts 2. Deze vier stellen curven zijn:

- I. $dh = 0,1$ mm; $dt = 5$ minuten (in overeenstemming met vele registraties van de K.N.M.I.-pluviograaf).
Bij $k = 10$ % de asymptoten a_1 en a'_1 ; bij $k = 30$ % b_1 en b'_1 .
- II. $dh = 0,1$; $dt = 1$ (een veel nauwkeuriger tijdaflezing).
Bij $k = 10$ % de asymptoten a_2 en a'_2 ; bij $k = 30$ % b_2 en b'_2 .
- III. $dh = 1$; $dt = 5$; vergeleken met I een veel grovere aflezing van de hoeveelheid.
Bij $k = 10$ % de asymptoten a_3 en a'_3 ; bij $k = 30$ % b_3 en b'_3 .
- IV. $dh = 1$; $dt = 1$; vergeleken met III is de tijdaflezing nauwkeuriger. Bij $k = 10$ % de asymptoten a_4 en a'_4 ; bij $k = 30$ % b_4 en b'_4 .

Aangezien ons bleek, dat het vooral zin heeft de tijdaflezing te verscherpen (een sneller draaien van de trommel of een grotere trommelomtrek en een haarfijne registratie), hebben wij alleen de stellen nauwkeurigheds-„hyperbolen” I en II in beeld gebracht. Verder zijn t en h logaritmisch uitgezet. Voorts zijn rechte lijnen van constante intensiteit $i = 0,002$; $0,004$ mm/min getekend. Wij geven nu enkele voorbeelden van toepassing:

a. Punt R, d.i. 10 mm in 50 minuten, dus een zware regen. Bij $dh = 0,1$ en $dt = 5$ ligt dit punt bijna op de 10 % hyperbool, precieser 11 %. Dus i ligt tussen $(1-0,11) 0,20 = 0,18$ en $(1+0,11) 0,20 = 0,22$ mm/min. Als wij de tijdaflezing nauwkeuriger maken (tot $dt = 1$), dan ligt punt R ver buiten de 10 %-hyperbool en wel bij ongeveer 2,2 %, hetgeen betekent, dat de i thans uiterst nauwkeurig is. Men zou de nauwkeurigheid van aflezing van de hoeveelheid vervolgens weer iets kunnen verminderen door $dh = 1$ te maken, waardoor men tot de oude nauwkeurigheid in de intensiteit van 11 % terugkeert. Het blijkt aldus duidelijk, dat verwijding van de tijdschaal de intensiteiten veel nauwkeuriger doet aflezen.

b. Regens van 2 mm/min gemiddeld (zie Hoofdstuk 4). Dat kan zijn 100 mm in 50 minuten, voorgesteld door punt P (uiterst zeldzaam, één keer in de 1000 jaren?), maar ook 20 mm in 10 minuten (veel minder zeldzaam; 1 keer in de 50 jaren). De nauwkeurigheden van al deze i -waarden = 2,0 zijn zeer verschillend. Voor K.N.M.I.-omstandigheden is $i = 100 : 50$ voor 10 % en $i = 20 : 10$ voor 50 % nauwkeurig (dus zeer onnauwkeurig).

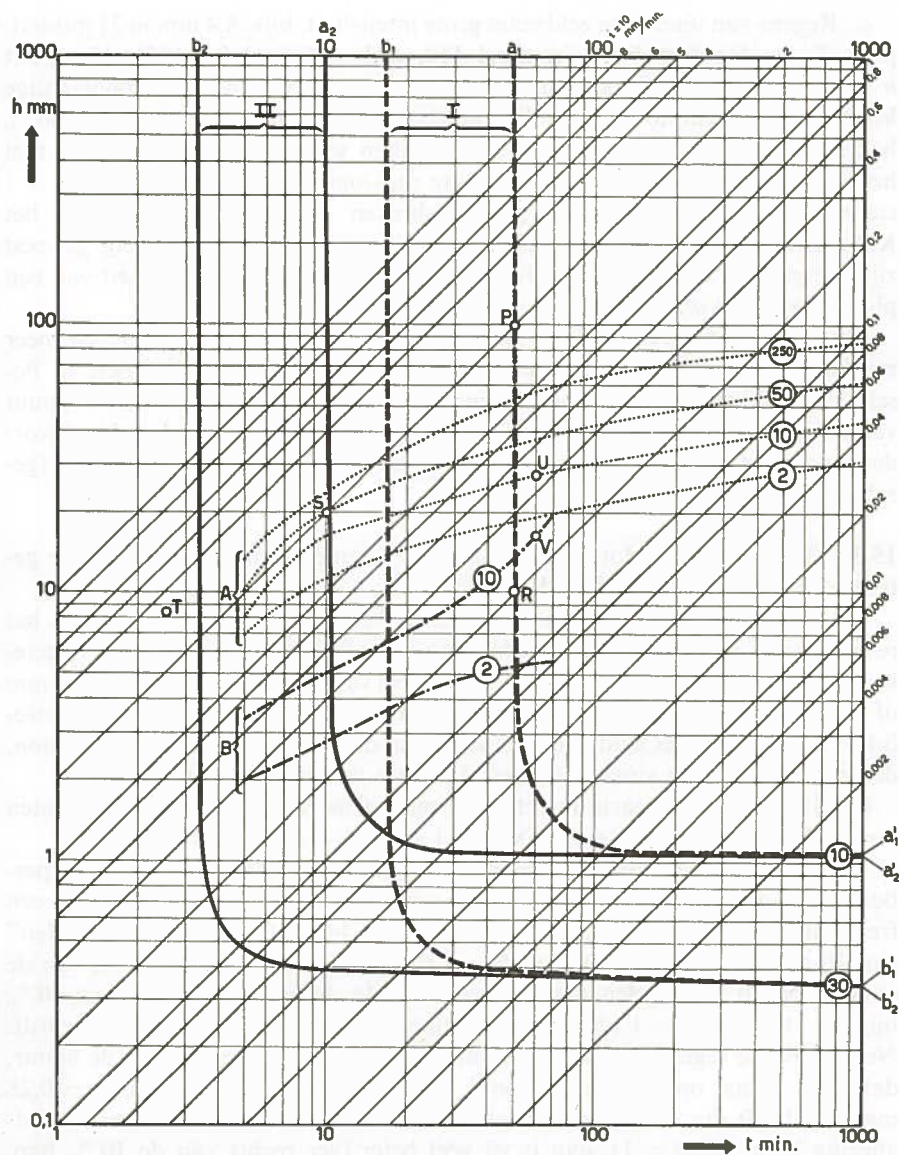


FIG. 55. In this diagram it is illustrated in which manner the intensity of a rain (considering rains of frequencies from once in 2 years to once in 250 years) depends on the accuracy with which the amount of rainfall and the duration can be read from the pluviogram. See text

c. Regens van uitermate zeldzaam grote intensiteit, bijv. 8,4 mm in $2\frac{1}{2}$ minuut, punt T, zie Hoofdstuk 11, in tabel 110, A'dam Filiaal 9-8-1951. Het punt $h = 8,4$, $t = 2\frac{1}{2}$ ligt links van het stijgende deel van de hyperboolachtige kromme met asymptoten b_2 en b'_2 , hetgeen beduidt, dat $di : i$ meer dan 30 % bedraagt. Uitgerekend: 40 %, althans indien wij, in overeenstemming met het coördinatennet van de Amsterdamse pluviogrammen, $dh = 0,1$ en $dt = 1$ stellen. Zou daarentegen de regen geschreven zijn op een strook van het K.N.M.I. ($dh = 0,1$; $dt = 5$), dan zou de i voor 100 % nauwkeurig geweest zijn, hetgeen betekent, dat het dwaasheid is zulk een grote intensiteit van een pluviogram met $dh = 0,1$ en $dt = 5$ af te lezen.

Wij willen derhalve concluderen: men diene de grote i -waarden (2 en meer mm/min), waarvan de literatuur melding maakt, uitermate kritisch te beschouwen. Zij zijn eigenlijk van weinig of geen waarde (tenzij uit louter oogpunt van curiositeit), wanneer niet tevens instrumentele gegevens medegedeeld worden, met behulp waarvan de nauwkeurigheid van de intensiteit berekend (geschat) kan worden.

15.3 Wij hebben tenslotte ook nog enige frequentiecurven in de figuur getekend en wel een tweetal stellen.

Het stel A hangt samen met tabel 33 in M.V. 34, het andere stel B is het resultaat van eigen berekeningen (slechts twee frequentiecurven werden getekend). Ter toelichting: Bij A: Een regen of deel van een regen met daarin 28 mm of meer in 60 minuten – punt U – is te verwachten op een bepaalde plaats (plaatselijke verschillen in het land zijn verwaarloosd, d.w.z. gedacht is aan een station, dat een gemiddelde situatie inneemt) 1 keer in gemiddeld 10 jaren.

Bij B: Een regen, waarin in totaal 17 mm of meer viel in totaal 60 minuten – punt V – is te verwachten te De Bilt 1 keer in gemiddeld 10 jaren.

Wij brengen deze twee systemen in dit beeld van nauwkeurigheidshyperbolen met deze bedoeling: beschouwen wij bijv. de regens te De Bilt met een frequentie van 1 op 10 jaren, dan vergelijk men het stuk, dat de „hyperbolen” van 10 en 30 % bij $dh = 0,1$ en $dt = 5$ (bij de pluviograaf te De Bilt) van de curve 1 op 10 j. afsnijden, met dat wat door de „hyperbolen” van 10 en 30 % bij $dh = 0,1$ en $dt = 1$ (de situatie, welke wij prefereren) afgesneden wordt. Neem bijv. de regen 14 mm bij 50 minuten in het oog. Men ziet in de figuur, dat deze bijna op de „hyperbool” van 10 % ligt. De $i = 14/50 = 0,28$ mm/min heeft dus een nauwkeurigheid van ca 10 %. Maar wanneer de tijdaflezing beter is ($dt = 1$), dan is zij véél beter (ver rechts van de 10 % hyp. gelegen) en wel 2 %. De grafische voorstelling maakt dus duidelijk, dat wij van de juist in de praktijk interessante regens (de zeldzame) – bijv. die, waarvan $\bar{i} \geq 0,2$ – de gemiddelde intensiteiten nauwkeuriger kunnen berekenen, indien maar het tijdnet voldoende wijd is ($dt = 1$ minuut is beter dan $dt = 5$ minuten); met $dh = 1$ mm (i.p.v. 0,1 mm) kunnen wij daarbij tevreden zijn.

HOOFDSTUK 16

TOEPASSING VAN DE „THEORIE DER EXTREME
WAARDEN”

16.0 Inleiding

De laatste jaren vraagt men meer en meer naar de kans op, of naar de (gemiddelde) herhalingstijd van een hoeveelheid neerslag in k achtereenvolgende dagen ($k = 1, 2, 3, \dots$), die een grote waarde bereikt of overschrijdt. Analooq daarmee is de vraag naar de kans op een regen met een duur t minuten ($t = 5, 10, 15, \dots$) en tenminste h mm ($h = 2, 4, 6, \dots$) ¹⁾, waarbij men graag h zeer groot kiest. Er bestaat een „Theorie der Extreme Waarden” (van G u m b e l, B a r r i c e l l i e.a.) die zich bezighoudt met het probleem der uiterste waarden. Het is hier niet de plaats om uitvoerig op deze in haar meest abstracte vorm puur mathematische theorie in te gaan. Daarvoor moeten wij verwijzen naar de literatuur [43]. Zo valt het ook buiten het kader van deze mededeling de door de T.d.E.W. gestelde voorwaarden onder de loupe te nemen met de bedoeling na te gaan in hoeverre onze gegevens daar al of niet aan gehoorzamen.

Wij laten nu een zeer korte behandeling van het wezenlijke van de Theorie d.E.W. voorafgaan; wij kunnen dan naar deze beschrijving verwijzen, als wij tot de toepassing op de regens overgaan.

16.1 Theorie

Zij x een initiaal-variabele met een waarschijnlijkheidsdichtheid $f(x)dx$, d.w.z. de kans, dat x ligt tussen x en $x + dx$, is $f(x)dx$. Deze $f(x)$ is zodanig gedacht, dat $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$. De grootste waarde u , genomen uit een N -tal onafhankelijke

¹⁾ Zo is het bij de bouwplannen van gebouwen, torens, wegen, bruggen, vliegvelden enz. van groot belang rekening te houden met de „grootste” regenval, die in een gegeven tijdvak te verwachten is.

Wij hebben hier opzettelijk het woord „grootste” tussen aanhalingstekens geplaatst, daarmee aangevende, dat het begrip min of meer zinloos is. In statistische zin zeer zeker, indien de bovengrens van de neerslaghoeveelheid oneindig zou zijn of althans zo groot, dat de overschrijdingskans van zulk een hoeveelheid verwaarloosbaar klein zou zijn (zie verder onder 16.6). Er is natuurlijk een bovengrens in zuiver fysische zin. Het vraagstuk hoe men voor Nederlandse atmosferische toestanden berekenen kan wat er maximaal kan vallen in een gegeven tijdvak en welke daarbij de bovengrens van de momentane intensiteit kan zijn, maakte geen deel uit van de aan onze verhandeling ten grondslag liggende studie. Voor zover wij hierover door de literatuur goed zijn ingelicht, is het wel zeker, dat deze bovengrens, statistisch gesproken, met oneindig gelijkgesteld mag worden. Men leze verder de hierop betrekking hebbende, in de literatuurlijst opgenomen, artikelen

waarnemingen (metingen) van x , is eveneens een statistische variabele u . De waarschijnlijkheidsdichtheid van u is dan

$$v_N(u) du = N f(u) [P(u)]^{N-1}$$

waarin

$$P(u) = \int_{-\infty}^u f(x) dx \quad (P(\infty) = 1)$$

De kans, dat de grootste waarde (van een N -tal waarnemingen) hoogstens a is, wordt gegeven door

$$\int_{-\infty}^a v_N(u) du = V_N(a) = [P(a)]^N$$

(de index N duidt erop, dat V en v van N afhankelijk zijn).

N.B. De ondergrens van x is hier $-\infty$ gesteld, hij kan ook eindig (bijv. 0, zoals bij hoeveelheden neerslag) zijn.

Indien aan een zeer bepaalde limietvoorwaarde streng of vrij goed wordt gehoorzaamd (zodat alleen bijzondere frequentieverdelingen $f(x)$ in aanmerking komen; wij gaan er hier niet verder op in) en N voldoende groot is, geldt (althans in benadering), dat de kans op een grootste waarde, die hoogstens gelijk u is, wordt:

$\Phi(u) = \exp(-e^{-y})$, met $y = \alpha(u - \tilde{u})$; hierin is $\alpha = N f(\tilde{u})$ en $\tilde{u}$ = meest waarschijnlijke u , waarvoor v_N maximaal is. In benadering geldt $P(\tilde{u}) = 1 - 1/N$; y heet de „gereduceerde grootste waarde”; immers men neemt eerst het verschil van u tot $\tilde{u}$, en drukt dit in de „eenheid” α^{-1} uit.

De frequentieverdeling der u 's is scheef. Er is een modus $\tilde{u}$ (meest waarschijnlijke waarde), een gemiddelde $\bar{u}$ en een mediaan $\hat{u}$ (waarvoor $V(\hat{u}) = \frac{1}{2}$), met $\tilde{u} < \hat{u} < \bar{u}$. Het verband is ongeveer $\tilde{u} = \bar{u} - 0,45 \sigma$ en $\hat{u} = \bar{u} - 0,16 \sigma$, waarbij σ de standaarddeviatie in het u -universum is; verder is $\alpha = \frac{\pi}{\sigma \sqrt{6}}$.

In plaats van met de kans $1 - \Phi(u_0)$ op een $u > u_0$, werkt men soms liever met de gemiddelde „herhalingstijd” (herhalingsinterval) $\bar{T}$ van een $u > u_0$.

Natuurlijk is $\bar{T}(u) = 1 : [1 - \Phi(u)]$ [44].

Men kan ook schrijven $y = \alpha(u - \tilde{u}) = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{\bar{T}} \right) \right] \approx \ln \bar{T}$, althans als u (en dus $\bar{T}$) zeer groot is en aldus de u berekenen bij gegeven $\bar{T}$ (als α en $\tilde{u}$ bekend zijn). Zo is $\bar{T}(\tilde{u}) = 1,58$; $\bar{T}(\hat{u}) = 2,00$; $\bar{T}(\bar{u}) = 2,32$.

16.2 Werkschema

Men kan bij de toetsingen volgens het volgende schema te werk gaan.

1. Zoek in n groepen van onafhankelijke „waarnemingen” van N stuks

elk, de grootste waarde u op. Rangschik deze in volgorde van niet-afnemende grootte $u_1, u_2, \dots, u_n$. Bereken de gemiddelde $\bar{u}$ en de standaarddeviatie s_u ; daarna $\alpha_1 = \pi/s_1\sqrt{6}$; $\tilde{u}_1 = \bar{u} - 0,45 s_1$ (één stel α_1, s_1).

2. Er zijn onder de n u 's p u 's, die $\leq u_p$ ($p = 1, 2, \dots, n$). Bij de Φ -waarden $0,05; 0,10; 0,15, \dots, 0,95$ behoren zekere y -waarden. Elk van deze Φ_k 's bepaalt één y_k en één $n \Phi_k$ (meestal geen gehele waarde). Bereken (grafisch) die u_k (nu meestal niet een der waarden $u_1, u_2, \dots, u_n$), zodanig, dat het aantal u -waarden, alle $\leq u_k$, gelijk $n \Phi_k$ is. Aldus komen er 19 paren y_k, u_k . Breng deze in grafiek. De theorie eist, dat de punten lineair liggen. Bereken de beste rechte. Zij deze $y = \alpha_2(u - \tilde{u}_2)$. Aldus komt er een tweede stel $\alpha_2, \tilde{u}_2$, dat wij vergelijken met $\alpha_1, \tilde{u}_1$. Een goede overeenkomst kan een indicatie zijn, dat het zin heeft de G u m b e l-theorie toe te passen.

3. Gegeven een reeks y -waarden, bijv. $-2,00; -1,75, \dots, 0, \dots, 5,25$. Bij elke y_k behoort één Φ_k en één u_k (via de reeds getekende rechte $y_k = \alpha_1(u - \tilde{u}_1)$). Iedere Φ_k bepaalt één $\bar{T}_k = 1 : [1 - \Phi_k]$, d.w.z. gemiddeld om de $\bar{T}_k$ keren zal men een N -groep ontmoeten met een grootste waarde $> u_k$. Breng de paren $\bar{T}_k, u_k$ op enkel-logaritmisch papier ¹⁾.

De theorie eist, dat voor grote u (in het bijzonder voor $\bar{T} > 10$) het verband tussen $\log \bar{T}$ en u lineair wordt. Probeer dus de rechte asymptoot te vinden ²⁾: $\log \bar{T} = 0,43 \alpha_3(u - \tilde{u}_3)$, waardoor men tot een derde tweetal $\alpha_3, \tilde{u}_3$ komt, dat vergeleken moet worden met $\alpha_1, \tilde{u}_1$ en $\alpha_2, \tilde{u}_2$. In dezelfde grafiek tekent men ook de punten $1 : (1 - i/n), u_i$ (n u_i 's, uit de reeks $u_1, u_2, \dots, u_n$). Immers i/n is een grove schatting van $\Phi(u_i)$. Deze n punten behoren „netjes” om de theoretische curve $\bar{T}$ tegen u te liggen.

4. Elke u_i (der $u_1, u_2, \dots, u_n$) bepaalt één y_i -waarde (via $y = \alpha_1(u - \tilde{u}_1)$). Deze y_i bepaalt één Φ_i en één $n \Phi_i$. Breng de punten $n \Phi_i, u_i$ in grafiek en trek er een vloeiende kromme door. De punten i, u_i behoren netjes rondom deze vloeiende kromme („S-kromme”) te liggen.

¹⁾ Toen wij deze berekeningen maakten kenden wij de T.d.E.W. nog maar kort. Daarna lazen wij vele andere artikelen (waaronder van G u m b e l zelf) met zeer uiteenlopende waarderingen voor de T.d.E.W. Thans zouden wij een en ander iets anders aangepakt hebben. Onze indruk is echter, dat, vanwege het kleine materiaal, de consequenties op de resultaten (die zeker niet nauwkeurig zijn) onbelangrijk zijn.

²⁾ Ruim een jaar na het schrijven van de resultaten van dit onderzoek kregen wij een artikel van G u m b e l onder ogen, waarin hij de constructie van een speciaal papier met een „waarschijnlijkheidsnet voor extreme waarden” beschrijft. Aan de hand daarvan hebben wij zulk papier voor eigen gebruik vervaardigd (later konden wij het ook door tussenkomst van het Mathematisch Centrum [46] te Amsterdam verkrijgen). Het voordeel van het coördinatennet op dit papier is, dat *alle* punten $\bar{T}, u$ (dus ook die met $\bar{T} < 10$) op een rechte moeten liggen, tenminste als de T.d.E.W. geldt. Wij achtten het niet nodig al onze berekeningen alsnog op dit papier opnieuw uit te voeren.

Wij vatten dit procédé nog eenmaal samen in tabel 139.

TABEL 139 Werkschema T.d.E.W.

	„Methode”	Primair	Secundair
1	Uit directe metingen	$\bar{u}$ s_u	α $\bar{u}$
2	Uit rechte $y = \alpha (u - \bar{u})$	α $\bar{u}$	s_u $\bar{u}$
3	Uit de log $\bar{T}$, u -rechte	α $\bar{u}$	s_u $\bar{u}$

Scheme of computations for the application of the Theory of Extreme Values

16.3 Toetsing; toepassing op de regens [45]

In elk der jaren 1926–1948 zochten wij de grootste hoeveelheid in een regen van 1 à 5 minuten op; ook in regens van 6 à 10 minuten 66 à 70 minuten. Zie tabel 140. Tenslotte ook in regens, ongeacht hun duur (tabel 141). In elke kolom is de kleinste waarde cursief, de grootste vet gedrukt. Het spreekt vanzelf, dat het gemiddelde der in een zelfde kolom staande hoeveelheden toeneemt als de kolom meer rechts ligt. Men moet goed onderscheid maken tussen de 23 grootste en de grootste 23 hoeveelheden in regens van dezelfde duurtintervallen (zie tabel 94). Natuurlijk stemmen de bovenste getallen in tabel 94 overeen met de vetgedrukte in tabel 140. Maar er dient bedacht te worden, dat de op een na grootste hoeveelheid in regens van een gegeven duur in zeker jaar groter kan zijn dan de grootste hoeveelheid in regens van dezelfde duur van een ander jaar, zodat dit getal dan wél in tabel 94 en niét in tabel 140 verschijnen zal. Tabel 94 werd gebruikt bij de constructie der frequentie-krommen der regens van verschillende duren, tabel 140 gaan wij nu gebruiken bij de T.d.E.W

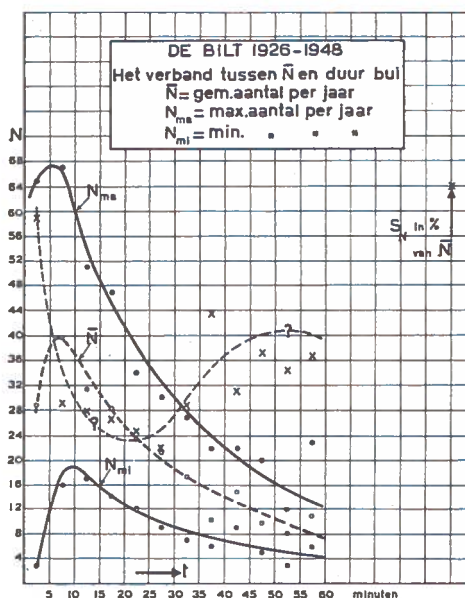


FIG. 56. The mean annual number ($\bar{N}$) of rains of a duration t minutes. N_{ma} is the maximum, N_{mi} is the minimum annual number in the basic period 1926–1948; s_N is the mean error (in % of $\bar{N}$) in the 23 annual numbers of rains of t min

TABEL 140

DE BILT 1926-1948

De 23 grootste hoeveelheden

Toelichting: in elk der 23 jaren is genoteerd voor (volledige) regens, gerangschikt naar de duren $t = 1-5, 6-10, \dots$ minuten, de grootste hoeveelheid neerslag (in mm).
Voor elk duurinterval dus de 23 grootste hoeveelheden

t	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70
1926	1,1	2,0	2,6	3,9	3,8	4,8	1,7	3,8	1,5	4,1	3,9	5,7	2,1	2,3
1927	0,3	1,8	3,3	4,3	2,0	3,1	3,6	8,8	3,8	19,0	2,5	4,9	4,5	14,0
1928	0,9	3,5	3,6	2,3	2,4	5,8	2,2	1,9	2,6	7,6	0,6	3,1	3,0	4,8
1929	1,9	1,8	1,1	1,7	5,7	1,7	7,3	4,7	5,6	3,7	2,0	1,2	1,8	6,5
1930	2,4	2,5	4,9	4,6	7,0	12,4	6,2	4,9	11,8	5,9	4,1	9,9	3,8	4,9
1931	1,8	5,6	1,6	4,2	1,8	2,7	4,5	3,1	13,7	27,2	2,7	2,3	11,3	3,6
1932	1,2	1,8	3,3	3,2	1,7	4,9	2,3	3,2	5,5	0,9	7,4	4,2	7,2	2,5
1933	2,0	1,2	2,6	1,3	2,9	2,2	1,2	3,2	5,5	5,5	5,4	2,3	3,3	7,0
1934	3,5	1,8	3,9	2,7	4,7	2,2	3,1	3,9	4,9	5,1	2,5	3,6	10,5	7,6
1935	1,2	2,8	4,6	3,9	5,2	8,7	10,9	1,6	2,2	6,9	4,4	5,3	2,6	8,0
1936	1,3	1,8	5,6	8,3	2,4	5,0	6,1	15,2	8,9	19,8	1,2	4,0	6,9	3,3
1937	1,8	3,5	8,2	6,1	2,4	2,3	5,1	3,7	3,3	1,0	1,4	5,0	3,8	2,9
1938	1,6	5,1	5,6	5,3	3,8	4,3	5,1	1,7	3,5	18,6	1,7	10,6	4,7	6,8
1939	0,9	2,7	2,5	7,9	3,0	6,0	3,5	2,8	7,3	3,4	2,8	5,6	1,0	4,5
1940	1,5	1,6	2,2	2,5	6,9	5,0	1,8	1,9	6,8	2,9	6,0	2,6	1,6	2,6
1941	1,3	1,9	1,4	2,9	4,1	7,3	9,2	3,1	2,9	2,3	5,9	2,8	8,3	4,8
1942	1,6	2,6	3,4	2,6	4,1	2,1	16,7	1,4	1,9	7,0	3,7	3,2	2,9	8,6
1943	0,5	1,5	2,2	5,5	2,9	2,9	5,4	2,5	1,8	5,0	2,6	6,2	3,0	5,4
1944	2,1	1,4	2,5	4,1	3,8	4,6	3,2	4,0	5,3	5,4	1,9	6,2	3,6	7,6
1945	2,0	1,1	1,5	3,9	4,7	3,9	8,7	6,3	6,1	3,2	4,1	3,5	1,2	23,3
1946	0,7	0,6	1,0	2,9	2,1	8,0	2,7	5,0	2,5	3,1	4,7	2,5	1,0	7,6
1947	0,4	1,4	1,0	4,6	2,0	1,0	2,3	7,8	1,9	19,3	1,7	14,2	3,1	3,0
1948	1,0	1,8	5,2	3,0	2,1	2,2	16,3	2,7	12,3	1,5	1,9	8,2	4,9	2,9

The largest amounts of precipitation (in mm) in rains of every type for durations t minutes, year for year

Wij moeten hier nog bijzondere aandacht vragen voor iets, dat men in de meeste artikelen, waarin de Theorie van G u m b e l toegepast wordt, niet ontmoet: de „groep” waarnemingen, waaruit men de grootste waarde kiest, is bij ons namelijk niet steeds even groot. Hij loopt uiteen van jaar tot jaar. In de T.d.E.W echter denkt men N constant. Zo schommelde, om een voorbeeld te noemen, in de 23 jaren het aantal regens van 16 à 21 minuten tussen 14 en 47, rondom een gemiddelde $\bar{N} = 28,4$ (fig. 56). Wij doen nu toch alsof de N elk jaar 23 was. D. J. B o u m a n bewees, dat wij de eis, dat N van groep tot groep constant moet zijn, mogen laten vallen, mits N gehoorzaamt aan een

TABEL 141

DE BILT 1926-1948

De grootste hoeveelheid in volledige regens, ongeacht de duur. Voorbeeld: in 1941 was de grootste hoeveelheid neerslag in een regen 30,7 mm (op een dag in October). Deze regen duurde 935 minuten. 17 keren in de Zomer of Herfst; 6 keren in de Winter of Lente.

h = hoeveelheid in mm; t = duur in minuten

	h	t	Maand		h	t	Maand
1926	24,4	625	Oct	1938	18,6	50	Aug
1927	21,9	480	Apr	1939	19,8	430	Nov
1928	29,2	1610	Mei	1940	24,0	200	Jul
1929	16,2	560	Aug	1941	30,7	935	Oct
1930	34,9	180	Jun	1942	49,3	875	Jul
1931	51,8	580	Mei	1943	22,0	485	Aug
1932	21,5	515	Oct	1944	32,3	765	Nov
1933	15,5	455	Sep	1945	23,0	560	Aug
1934	25,4	165	Mei	1946	48,7	1415	Feb
1935	26,3	135	Mei	1947	37,4	195	Aug
1936	27,6	360	Jul	1948	43,2	190	Aug
1937	18,7	510	Sep				

The largest amount of precipitation (h in mm) per rain of any type or duration whatever, year for year. E.g. in 1941 the largest rainfall in a rain was 30,7 mm. This rain lasted 935 minutes. It fell in October

verdeling van een zeer bepaald type (waartoe o.a. de Poisson-verdeling behoort; aan de uitbreiding van de theorie in deze richting wordt nog gewerkt). Ons materiaal is te klein voor een toetsing of aan de Poisson-distributie voldaan wordt. Een en ander komt, eenvoudiger gezegd, hierop neer: als de gemiddelde waarde van N maar voldoende groot is en de N -waarden relatief weinig spreiden, mag men doen alsof N constant (en wel $\bar{N}$) is en de „gewone” theorie van G u m b e l toepassen.

Wij nemen de voornaamste resultaten in tabel 142 op.

De tabel is afgebroken bij $t = 56$ à 60 minuten, omdat naar onze indruk de $\bar{N}$ voor langere regens moeilijk „groot” genoemd kan worden en dan zeker de benaderingsformules uit de T.d.E.W. niet meer gelden.

De tabel overziende, valt op, dat de overeenkomst tussen de primair en secundair (volgens de „methoden” 1, 2 en 3) berekende waarden van α en $\bar{h}$ niet slecht is, althans niet beter verwacht mocht worden bij zulk een klein materiaal. Verder vallen de vrij grote s_N -waarden op (gemiddeld 33 %): het is duidelijk dat de jaarlijkse aantallen regens van een gegeven duur zeer sterk uiteenlopen, althans voor de regens, korter dan een uur. Die der langere regens variëren blijkbaar minder, gezien het feit, dat de relatieve standaarddeviatie in het aantal regens, ongeacht hun duur, slechts 9 % bedraagt (fig. 57). Het feit,

TABEL 142

DE BILT 1926-1948

 t = duur van de regen in minuten $\bar{N}$ = gemiddeld aantal regens per jaar N_1 = kleinste aantal regens per jaar N_2 = grootste aantal regens per jaar s_N = de standaarddeviatie in de N -waardenDe jaarlijkse grootste hoeveelheid in een regen van t minuten heet h (in tabel 139 de u); dus 23 h 's, met gemiddelde $\bar{h}$ en kleinste h_1 en grootste h_2 . De standaarddeviatie der 23 h 's heet s_h , in millimeters $\tilde{h}$ = meest waarschijnlijke grootte van h (in tabel 139 de $\tilde{u}$), in millimeters $\hat{h}$ = mediaanwaarde der h 's (50% waarde), in millimeters

t	N _i	$\bar{N}$	N _s	s _N %	1				2		3					
					primair				secundair		primair		primair		$\hat{h}$ = mediaan	
					h _i	$\bar{h}$	h _s	s _h	α	$\tilde{h}$	α	$\tilde{h}$	α	$\tilde{h}$	exp.	theorie
1- 5	3	28,4	65	59	0,3	1,4	3,5	0,7	1,76	1,19	1,87	1,05	1,76	0,91	1,3	1,2
6-10	16	39,5	67	29	0,6	2,2	5,6	1,2	1,06	1,71	1,10	1,62	1,06	1,50	1,8	2,0
11-15	17	31,5	51	28	1,0	3,2	8,2	1,8	0,71	2,40	0,73	2,27	0,82	2,51	2,6	2,8
16-20	14	28,4	47	27	1,3	4,0	8,3	1,8	0,73	3,20	0,71	3,06	0,64	2,51	3,9	3,6
21-25	12	23,4	34	25	1,7	3,6	7,0	1,6	0,79	2,80	0,73	2,73	0,73	2,46	3,0	3,2
26-30	9	21,3	30	22	1,0	4,5	12,4	2,7	0,47	3,26	0,52	3,13	0,53	3,07	4,3	3,8
31-35	7	17,4	27	29	1,2	5,6	16,7	4,3	0,30	3,74	0,30	3,42	0,30	3,22	4,5	4,6
36-40	6	10,2	12	44	1,4	4,2	15,2	3,0	0,42	2,86	0,57	2,80	0,56	2,68	3,2	3,4
41-45	9	14,8	22	31	1,5	5,3	13,7	3,5	0,36	3,70	0,36	3,43	0,35	3,25	4,9	4,5
46-50	5	9,9	20	37	0,9	7,8	27,2	7,2	0,18	4,50	0,18	3,96	0,18	3,40	5,1	6,0
51-55	3	8,2	12	34	0,6	3,3	7,4	1,8	0,72	2,47	0,70	2,34	0,66	1,98	2,7	2,9
56-60	6	10,8	23	37	1,2	5,1	14,2	3,1	0,41	3,69	0,45	3,54	0,47	3,72	4,2	4,1
Alle	255	367	504	9	15,5	27,7	49,3	9,4	0,14	23,6	0,13	22,2	0,13	22,2	24,2	25,1

General survey of characteristic quantities in using the Theory of Extreme Values; t = duration of rain in minutes; $\bar{N}$ = mean annual number of rains of t minutes; the 23 values of N varied between N_1 and N_2 ; s_N = standard deviation (in % of $\bar{N}$) of the 23 N -values; the 23 annual largest rainfalls in rains of t minutes varied between h_1 and h_2 mm with a mean value $\bar{h}$ mm; $\tilde{h}$ = the most probable value of the annual largest rainfall per rain of t minutes; $\hat{h}$ = median value; α = constant; s_h = standard deviation in the 23 h 's

dat s_N zo groot is, betekent wellicht helaas, dat wij aan een toepassing van de T.d.E.W. niet al te veel waarde moeten hechten.

Wij kunnen niet alle grafieken, gemaakt bij het beschreven rekenprocédé, publiceren. Volstaan moge worden met die behorende bij de regens van 16 à 20 minuten. Zie de fig. 58, 59 en 60. De fig. 61, 62 en 63 hebben betrekking op de regens ongeacht hun duur.

Alvorens verdere berekeningen uit te voeren, willen wij de gevonden waarden van α , $\tilde{h}$, $\hat{h}$ en $\bar{h}$ wat „fatsoeneren”. Hoe sterk de $\tilde{h}$ en $\hat{h}$ uiteenlopen met toenemende t (dus hoe scheef de h -universa bij grote t 's worden) toont fig. 64, waarin wij de gladgestreken krommen $\tilde{h}(t)$ en $\hat{h}(t)$ in één grafiek bijeen brengen [Men houde wel in het oog, dat de in fig. 64 gebruikte $\tilde{h}$ en $\hat{h}$ andere betekenissen hebben dan die in fig. 7].

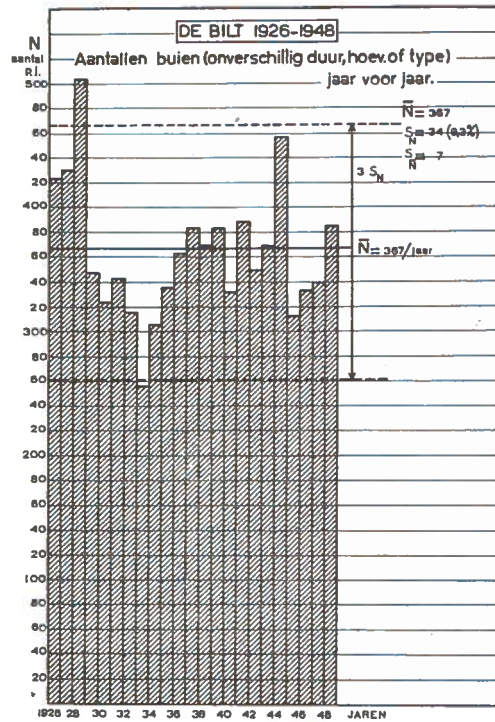


FIG. 57. Diagram of the numbers of rains (of any duration whatever) year for year; $\bar{N}$ is the mean annual number, s_N is the mean error (standard deviation) in the numbers N . The basic period is 1926-1948

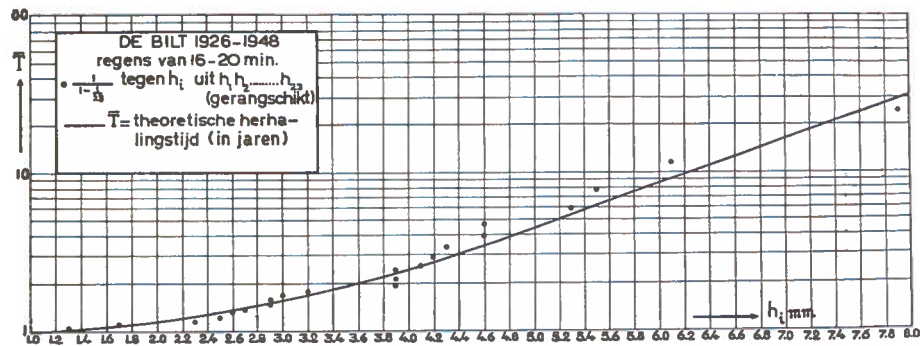


FIG. 58. Application of the Theory of Extreme Values to rains. The figure shows the mean return period $\bar{T}$ in years (in logarithmic scale) as a function of the annual largest rainfall in rains of 16 up to 20 min. For instance: an annual largest rainfall of at least $h = 6,3$ mm in a rain of 16-20 min occurs once in $\bar{T} = 10$ years. The points represent direct computations; the curve results from the theory

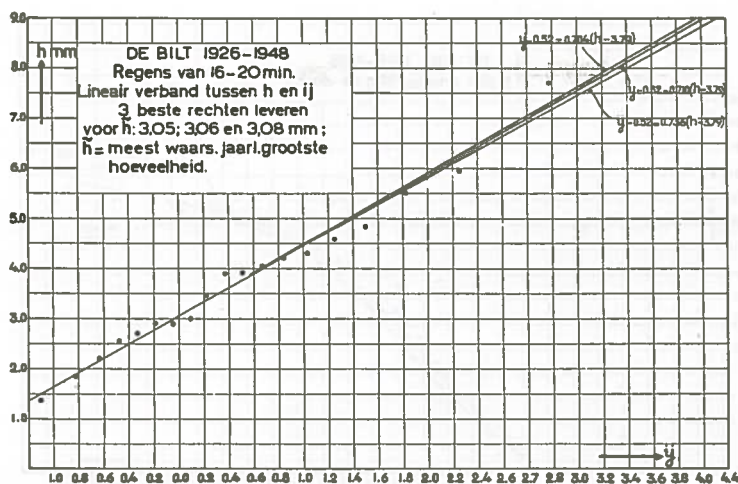


FIG. 59. Application of the Theory of Extreme Values to rains. The most probable annual largest amount of precipitation in a rain of 16 up to 20 min proves to be about 3,1 mm. The points that have been measured lie virtually linear. The theoretical straight line has been drawn

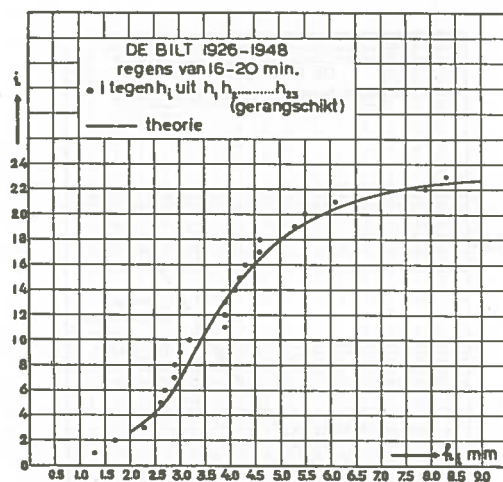


FIG. 60. The annual largest falls in rains of 16 up to 20 min have been put in ascending order $h_1, h_2, \dots, h_{23}$ (basic period of 23 years). Twenty-three points i, h_1 have been drawn.

The curve results from theoretical considerations (Theory of Extreme Values)

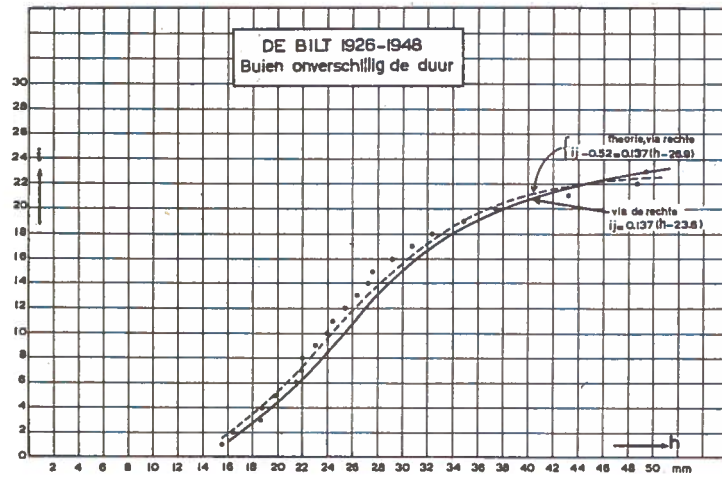


FIG. 61. Like fig. 60 but now for rains of any duration whatever. Two theoretical curves were drawn

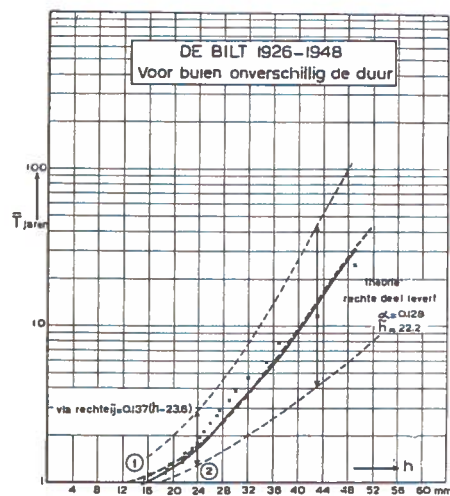


FIG. 62. This diagram shows the mean return period $\bar{T}$ (in years) as a function of an annual largest amount of rainfall of at least h mm in rains of any duration whatever

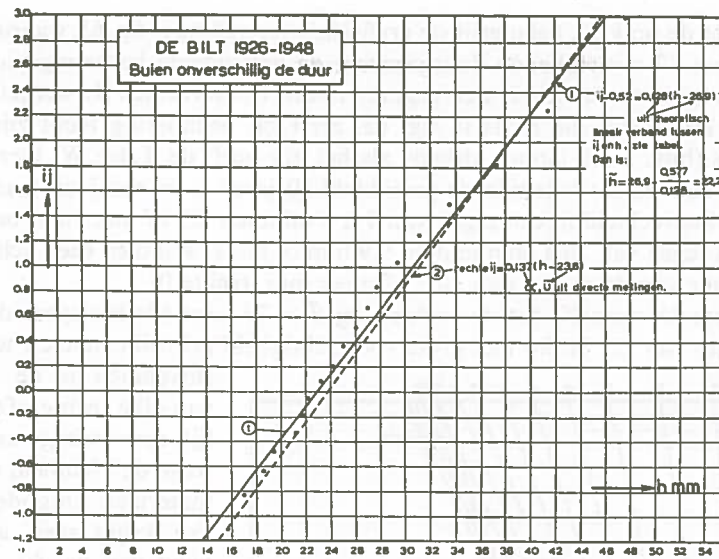


FIG. 63. The straight lines result from application of the Theory of Extreme Values.
See text

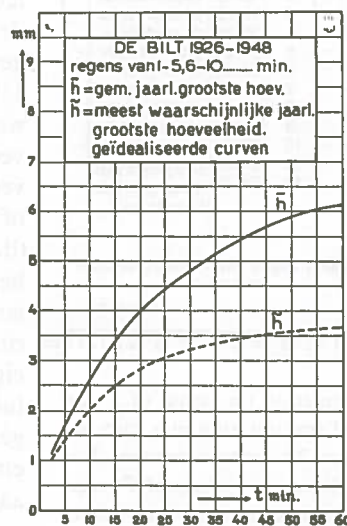


FIG. 64. $\bar{h}$ and h (in mm) are the mean and most probable values of the annual largest amounts of precipitation in a rain of t minutes. Stress is laid on the fact that $\bar{h}$ is larger than h especially for large duration

De voor de praktijk belangrijkste grafische voorstelling is fig. 65, waarin, voor regens van 12 verschillende duurgroepen, de gemiddelde herhalingstijd $\bar{T}$ als functie van de hoeveelheid is weergegeven in een 12-tal rechten [In werkelijkheid zijn het krommen, die zoals in fig. 62, eerst bij benadering recht zijn voor grote $\bar{T}$'s (bijv. > 10 jaren), althans als het zin heeft de T.d.E.W. hier toe te passen]. Voorbeeld: 1 keer in de gemiddeld 10 jaren is er een jaar, waarin de grootste hoeveelheid in een regen van 1 à 5 minuten 2,3 of meer mm bedraagt en in een regen van 56 à 60 minuten: 9,9 mm of meer. Wil men geen acht slaan op de duur van de regen, dan 10,2 of meer mm (rechte 0).

Het spreekt vanzelf, dat de rechten bij $\bar{T} > 23$ jaren (de basisperiode heeft een lengte van 23 jaren) met grote voorzichtigheid gebruikt moeten worden.

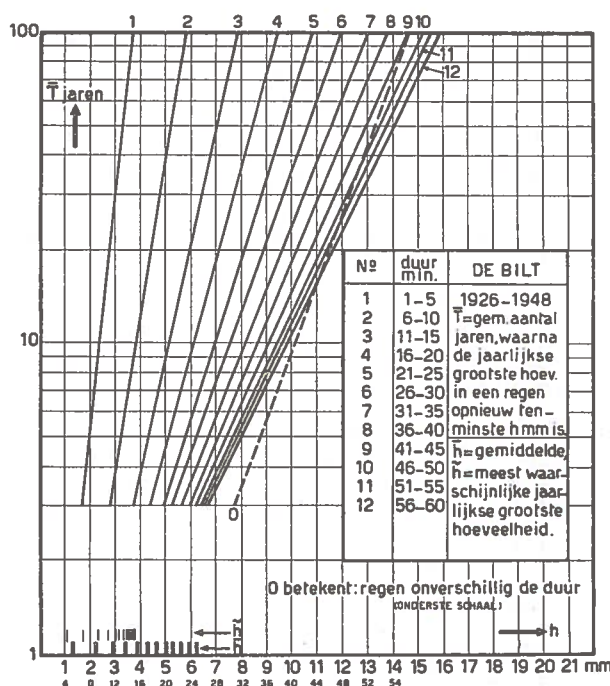


FIG. 65. $\bar{T}$ is the mean returnperiod (in years) of a year in which the largest amount of precipitation in a rain of t minutes equals or exceeds h mm. The relation between $\bar{T}$ (in a logarithmic scale) and h is linear for values of $\bar{T}$ larger than, say, 10 years. We have drawn 12 straight lines i.e. for $t = 1$ up to 5; 6 up to 10 56 up to 60 minutes and also a straight (indicated by 0) line for rains of any duration whatever. We have indicated the values of h and $\bar{h}$ on the horizontal axis (See for $\bar{h}$ and $\bar{h}$ in fig. 64)

Bovendien is de ligging van elke rechte afzonderlijk zeer weinig vast, vanwege de kleinheid van het materiaal. Enig idee hiervan krijgt men aan de hand van fig. 62, waarin rondom de dikke curve een betrouwbaarheidsmarge [47] gelegd is. Men lette bijv. op de lengte van de verticale pijl. Er wordt gevonden een kans $k = 1/12 = 0,083$ op een jaar, waarin de grootste hoeveelheid in een regen (onverschillig zijn duur) 43,4 of meer mm bedraagt (d.w.z. een gemiddelde herhalingstijd van 12 jaren). Vanwege het geringe basismateriaal moet eigenlijk de uitspraak luiden: de kans, dat k er-gens tussen de door de eindpunten van de pijlen aangewezen waarden $1/43 = 0,024$ en $1/4 = 0,25$ ligt ($\bar{T}$ tussen 4 en 43 jaren en niet exact 12) is 95 % (Een statisticus geeft graag

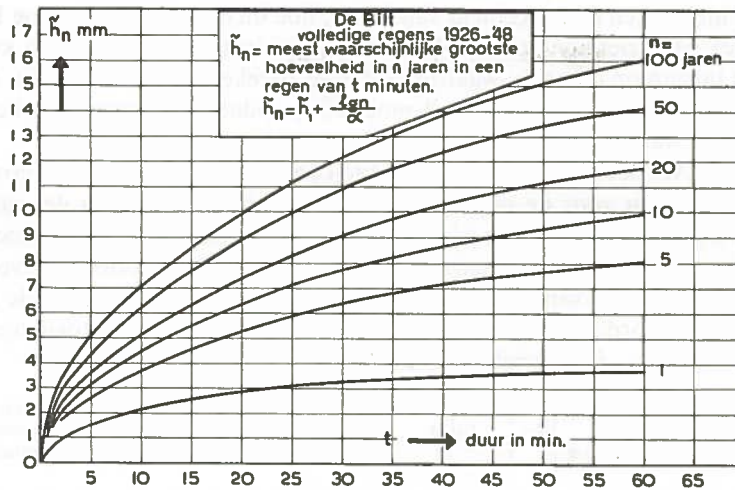


FIG. 66. $\tilde{h}_n$ is the most probable value of the largest amount of precipitation of a rain with a total duration of t minutes in a period of n successive years. For $n = 1$ see fig. 64 and 65 (h_1 and $\tilde{h}$). We prove that $\tilde{h}_n = \tilde{h}_1 + \frac{1}{\alpha} \ln n$ (α is constant). We have drawn curves for 6 values of n : 100, 50, 20, 10, 5, 1 years

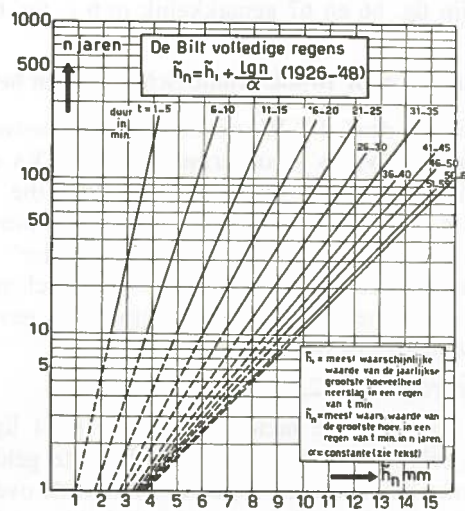


FIG. 67. In this diagram we have chosen as coordinates n (vertical axis in a logarithmic scale) and $\tilde{h}_n$ (horizontal axis). Now t is parameter (1 up to 5; 6 up to 10, 56 up to 60 minutes). Each curve is nearly straight (in consequence of the Theory of Extreme Values). See for h_1 , $\tilde{h}_n$ in fig. 66

aan zijn uitspraken een zekerheid van 95 %; hoe dichter bij 100 %, hoe breder de marge). Men ziet hoe onzeker de k (en de $\bar{T}$) wordt voor grote h . Wij kunnen hier niet ingaan op de wijze, waarop de marge berekend wordt, evenmin op de vraag hoe groot het materiaal wél moet zijn, opdat deze marge smaller dan een gegeven waarde blijft.

De T.d.E.W. heeft een zeer interessante consequentie, die ons van grote betekenis voorkomt voor de praktijk. Indien na gemiddeld n jaren de jaarlijkse grootste hoeveelheid neerslag in een regen van t minuten $h_1(n)$ of meer mm bedraagt en indien de meest waarschijnlijke waarde van de grootste hoeveelheid neerslag in een regen van t minuten in n jaren (bijv. n achtereenvolgende jaren) $\tilde{h}_n$ mm is, kan worden bewezen, dat $\tilde{h}_n > h_1(n)$, voor elke n . Met toenemende n echter neemt $\tilde{h}_n - h_1(n)$ snel af. Exact geldt:

$$h_1(n) = \tilde{h}_1 - \frac{1}{\alpha} \left[\ln \left\{ 1 - \frac{1}{n} \right\} \right] \quad \text{en} \quad \tilde{h}_n = \tilde{h}_1 + \frac{1}{\alpha} \ln n \quad \begin{array}{l} \text{(ln staat voor de} \\ \text{natuurlijke} \\ \text{logarithme)} \end{array}$$

Als wij dus aflezen, dat de jaarlijkse grootste hoeveelheid neerslag in een regen van 46 à 50 minuten 1 keer in gemiddeld 11 jaren 9,6 of meer mm bedraagt (dat zijn regens, die voor de volle duur zwaar zijn), betekent dit ook, dat de meest waarschijnlijke waarde, die men voor de grootste hoeveelheid in een regen van 46 à 50 minuten in de komende 11 jaren verwachten, mag ongeveer 9,6 mm bedraagt.

Via deze relatie zijn fig. 66 en 67 gemakkelijk m.b.v. fig. 65 te construeren.

16.4 Bevestiging van een door Brooks empirisch gevonden betrekking

Wij hebben tot nu toe de T.d.E.W. op de extreme hoeveelheden in regens nog niet toegepast gezien. Wel is waar vermelden Brooks en Carruthers in hun boek „Climate in Every Day Life” (1950): „the maximum to be expected in n years is $(1 + \log n)$ times the average maximum in one year”, doch wij menen uit een artikel van Brooks in „Water” [48], begrepen te hebben, dat deze zeer simpele relatie uitsluitend empirisch te voorschijn trad. Wij kunnen er thans een theoretische „verklaring” van geven. Met onze gegevens komen wij namelijk tot de tabel 143.

Bij $n = 1$ wordt $\tilde{h}_1$ resp. 1,15 2,20 6,15 mm.

Het is opvallend hoe dicht de factor voor $\log n$ bij 1 ligt, zodat de door Brooks bedoelde relatie ook voor de Bilt schijnt te gelden. Natuurlijk is meer materiaal gewenst om te mogen concluderen, dat de overeenkomst beslist niet louter toevallig is, terwijl ook de onnauwkeurigheid van de door Brooks langs zuiver empirische weg gevonden betrekking in rekening gebracht zou moeten worden. Pluviograafgegevens (in de zin als door ons bedoeld) van bijv. 100 jaren bezitten wij helaas (nog) niet.

TABEL 143

DE BILT 1926-1948

Volledige regens van t minuten h_n = gemiddelde waarde van de in een groep van n jaren aanwezige grootste hoeveelheid neerslag in een regen van t minuten

t	h_n mm	t	h_n mm
1-5	1,15 (1 + 1,14 log n)	31-35	4,95 (1 + 0,95 log n)
6-10	2,20 (1 + 0,90 log n)	36-40	5,30 (1 + 0,96 log n)
11-15	3,00 (1 + 0,87 log n)	41-45	5,60 (1 + 0,95 log n)
16-20	3,75 (1 + 0,86 log n)	46-50	5,80 (1 + 0,97 log n)
21-25	4,25 (1 + 0,90 log n)	51-55	5,90 (1 + 1,00 log n)
26-30	4,70 (1 + 0,91 log n)	56-60	6,15 (1 + 0,98 log n)

h_n = theoretical mean value of the largest rainfall in any rain of t minutes in a series of n years; h_n increases with t , but the factor in front of log n seems to be constant (nearly 1) Brooks had found empirically $h_n = h_1 (1 + \log n)$ with $h_1 = h_1(t)$

16.5 Interpretatiemoeilijkheden

Wij willen er tot slot op wijzen, hoe noodzakelijk het is bovenstaande en soortgelijke gegevens op een juiste wijze te interpreteren. Zo geeft het door Brooks in „Climate in Every day life” gepubliceerde kaartje fig. 25 (blz. 202) gemakkelijk aanleiding tot een door elkaar halen van begrippen. In dit kaartje loopt de kromme 1 inch, d.i. 25,4 mm, over Nederland, hetgeen betekent, dat „de maximale regenval in één uur, verwacht één keer in twee jaren” ongeveer 25 mm bedraagt. Wij hebben hier Brooks opzettelijk letterlijk geciteerd. De betekenis is niet onmiddellijk duidelijk. Brooks zal dit bedoelen: in iedere regen (langer dan een uur geduurd hebbende) is gezocht naar dat 1 uur-gedeelte, waarin het meeste viel. Elke regen van tenminste een uur levert aldus één 1-uursom. Van alle op één enkel jaar betrekking hebbende 1-uursommen wordt de grootste beschouwd (u). Het volgende jaar levert een andere u , enz. Al deze u 's gehoorzamen aan zekere frequentieverdeling, waarmee gezocht wordt naar de gemiddelde herhalingstijd $\bar{T}$ van een jaar, waarin de grootste 1-uursom u_0 of meer bedraagt. Blijkbaar is $\bar{T} = 2$ als $u_0 = 25,4$ mm. Hoe is dit in Nederland? De berekeningen en tabellen van Braak (M.V. 34a, onze M.V. blz. 126 e.v.) leren, dat 1 keer in gemiddeld 2 jaren een regen te verwachten is (op een gegeven plaats) met een uur met 19 of meer mm. Men lette erop, dat deze 2 en 19 een andere betekenis hebben dan de 2 en 25,4 van Brooks. Wel is het volgende te begrijpen (men kan het ook bewijzen [49]): gesteld wij beschouwen de jaren, waarin de grootste hoeveelheid in een regen van t minuten a of meer mm bedraagt. Hoe groter nu deze a is, hoe „zekender” zal het zijn, dat zulk een jaar slechts één zulk een regen bevat. Alleen als zich deze situatie voordoet is de m.b.v. de tabellen van Braak gedane uitspraak

(ongeveer) gelijk aan die van Brooks. Maar voor zulk een kleine $a = 19$ mm (waarbij een kleine $\bar{T} = 2$ jaren behoort) geldt deze „gelijkluidendheid” nog zeker niet.

En wat leren onze grafieken, behandeld in dit hoofdstuk (De Bilt 1926–1948)? In fig. 65 gaan de rechten tot $\bar{T} = 3$. De oorspronkelijke gegevens raadplegende, zien wij, dat er om de gemiddeld 2 jaren een jaar is, waarin de grootste hoeveelheid neerslag in een volledige regen van 56 à 60 minuten 4,1 mm of meer bedraagt, terwijl de meest waarschijnlijke jaarlijkse grootste hoeveelheid 3,7 mm is. Dus $\tilde{h}_1 = 3,7$ en $h_1(2) = 4,1$. Dan is $\tilde{h}_2 = \tilde{h}_1 + \ln 2/\alpha = 5,5$ mm (met $\alpha = 0,38$). Dus de meest waarschijnlijke grootste hoeveelheid neerslag in een 1-urige regen in elke 2 jaren bedraagt 5,5 mm (de gemiddelde hoeveelheid is 8,0 mm). Het is deze 5,5 mm, die wij met die van Brooks (25,4 mm) zouden willen vergelijken. De vergelijking is echter niet „eerlijk”: wij beschouwen regens van precies 1 uur lengte, Brooks bedoelt de zwaarste 1 uur-gedeelten in regens. Dat maakt blijkbaar groot verschil voor kleine gemiddelde herhalings-tijden. Wij willen erop wijzen hoe noodzakelijk een juiste interpretatie is. Het is onze ervaring, dat vele onderzoekers te weinig deze noodzakelijkheid in acht nemen als zij hun resultaten met die van anderen vergelijken.

16.6 Enige principiële opmerkingen

Het moge uit het bovenstaande tevens zijn duidelijk geworden, dat het begrip „grootste” zonder meer zinloos is. Men kan, zo men wil (dus per definitie), zeggen, dat de waarde, die 1 keer in gemiddeld 50 jaren wordt bereikt of overtroffen de „grootste” is. Een ander zal 1 op 25 of 1 op 100 of 1 op 500 jaren kiezen. Men kan ook invoeren het begrip: grootste per jaar, grootste per 10 jaren, grootste per 100 jaren, etc. en deze „grootste waarde” als een nieuwe variabele beschouwen, die óók weer geen bovengrens heeft, echter wél een meest frequente (d.i. meest waarschijnlijke) waarde. Aldus komen wij tot het begrip „meest waarschijnlijke grootste waarde” en natuurlijk ook (de frequentie-verdelingen zijn immers asymmetrisch) tot „gemiddelde grootste waarde” en „50 %-grootste waarde”. Het kan in sommige beschouwingen gewenst zijn tussen deze 3 „typen” grootste waarden scherp onderscheid te maken.

HOOFDSTUK 17

ENKELE VRAGEN,

WAAROP DEZE M.V. GEEN ANTWOORD GEEFT

Het spreekt vanzelf, dat juist in een zich naar zovele zijden ontwikkelende maatschappij, als die in Nederland, vooral zij, die de neerslagcijfers in de praktijk gebruiken, bij het K.N.M.I. met vragen komen, zo talrijk en zodanig verschillend, dat daarop eerst na jaren tot tevredenheid van allen geantwoord kan worden (men leze de artikelen onder [50] om enig idee te krijgen van zulke vragen). Wij hebben dit vooral in de laatste jaren, toen wij werkten aan een analyse der regens, waarvan in deze M.V. de resultaten neergelegd zijn, wel zeer duidelijk ervaren.

Ongetwijfeld zullen sommigen tevreden zijn met de in deze M.V. opgenomen gegevens, terwijl anderen een geheel andere bewerking van het materiaal verlangen. Dit was niet te vermijden. In volgende publicaties zal wellicht aandacht geschenken kunnen worden aan andere vormen van bewerking.

Het is o.i. daarom goed deze verhandeling te besluiten met de opsomming van een reeks vragen (typen van vragen), waarop wij momenteel het antwoord nog schuldig moeten blijven.

1. De vragen van type 2, zie blz. 126. Voorbeeld:
Welke kans is er op meer dan 50 mm regen tussen 14 en 16h in de maand Augustus?
2. Hoe is een regen opgebouwd?
Een regen van bijv. 40 mm in bijv. 60 minuten kan op vele manieren bijeen geregend zijn. De verschillende wijzen van opbouw zullen wel niet even waarschijnlijk zijn. Welke is de meest waarschijnlijke of de gemiddelde opbouw? Hoe dikwijls treden andere opbouw mogelijkheden op? (kortom, de *morphologie* der regens).
3. Hoe *uitgebreid* is een (zware) regen? Hoe zijn de intensiteiten verdeeld over een ruimtelijke doorsnede, aangebracht evenwijdig aan het aardoppervlak, en hoe verandert dit beeld van ogenblik tot ogenblik?
4. Bij welke *regenpauzen* zullen twee regens nog als een geheel beschouwd mogen worden?
5. Hoe is de verdeling der *druppelgrootten* in een (zware) regen, op een gegeven ogenblik en verandert deze nog, zo ja hoe, van moment tot moment? In hoeverre onderscheiden zich de verschillend intense regens en de regens van verschillende meteorologische oorsprong in dit druppel-grootte-spectrum?
6. Is het gewenst en mogelijk eenheid te brengen in de thans nog zeer verwarde *nomenclatuur* der regens, eventueel alleen voor Nederland?

7. Volgens welke richtlijnen zullen wij het meest doeltreffend een statistiek van de regens opbouwen, die meer op *bijzondere gedeelten* van deze regens gebaseerd is dan op de regens als totaal? Verschillende onderzoekers hebben verschillende richtlijnen opgesteld. Is meer eenheid gewenst en hoe is deze te bereiken?
8. Wenst men een statistiek van *regens* gecombineerd met een van de *windsnelheid*? ¹⁾
9. Tot de neerslag behoort ook de sneeuw. Weliswaar valt in ons land veel meer regen dan sneeuw, doch van verschillende zijden vernamen wij, dat er zeker interesse is voor bepaalde *sneeuwstatistieken*. Is het beschikbare materiaal voldoende? Moeten de sneeuwmetingen frequenter gebeuren dan thans het geval is en hoe dicht moet het waarnemingsnet zijn? Is de ontwikkeling en de aanschaffing van bepaalde sneeuwmeters gewenst resp. verantwoord?
10. Is er van de regens of regengedeelten van uiteenlopende hoeveelheden en duren zulk een statistiek op te stellen, dat deze en die der neerslaghoeveelheden in reeksen van dagen, te zien zijn als twee continu in elkaar overgaande typen van *een enkele algemene statistiek*? Is het wenselijk en, zo ja, mogelijk de verzameling der met deze statistiek samenhangende tabellen te vervangen door een stelsel van *grafische voorstellingen* (nomogram) terwille van de gebruikers?

¹⁾ In Nederland spreekt men wel, als een grote intensiteit met sterke wind samengaat, van slagregen. De Duitsers gebruiken het woord Schlagregen; in het Engels heet het pelting rain, shockrain, in het bijzonder wanneer men denkt aan de indringing van het regenwater in muren etc. (het indringingsvermogen schijnt rechtevenredig met de intensiteit en het kwadraat van de windsnelheid te zijn)

HOOFDSTUK 18

LITERATUUR

18.1 Achter de naam van het tijdschrift volgen de jaargang (vetgedrukt), de eerste pagina van het artikel en het jaar. Bij een boek: de plaats der uitgeverij en het jaar van de laatste druk.

Afkortingen

AdM	Annalen der Meteorologie
AHMM	Annalen der Hydrographie und maritiemen Meteorologie
AMGB	Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie
BAMS	Bulletin of the American Meteorological Society
CIMO	Commission for instruments and methods of observation
GI	Gesundheitsingenieur
HD	Hemel en Damkring
JSI	Journal of scientific instruments
MWR	Monthly Weather Review
MZ	Meteorologische Zeitschrift
OMI	Organisation météorologique internationale
PW	Publieke Werken; Officieel orgaan van de Vereniging van Directeuren van gemeentewerken, openbare werken, bouw- en woningtoezicht en woningdienst
QJ	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society
TAGU	Transactions of the American Geophysical Union
WMO	World Meteorological Organisation

Auteur	Artikel	Tijdschrift
1. C. GOODMAN	Die Niederschlagsverhältnisse von Pawlowsk, mit besonderer Berücksichtigung der stärkeren Regengüsse	Dr H. Wild's Rep. f. Meteor. kais. Akad. Wissenschaften, St. Petersburg, 15 1892
2. A. RIGGENBACH	Ergebnisse siebenjähriger Niederschläge in Basel	Karlsruhe 1898
3. E. LESS	Über den täglichen Gang der Sommerregen bei verschiedenen Wetterlagen	MZ 17 49 1900
4. G. HELLMANN	Niederschläge in den nord-deutschen Stromgebieten Andere artikelen	Veröff. d. Kön. Preus. Meteor. Inst. 1 141 1906 Idem 1891 S. 8; 1892 S. 9; 1893 S. 10; 1894 S. 6

Auteur	Artikel	Tijdschrift
5. W. KÖPPEN	Über den Zusammenhang der Platzregen und ihrer Dauer	Das Wetter 21 169 1904
6. G. J. SYMONS	Classification of heavy falls in short periods	Meteor. Off.: British Rainfall 1908
7. W. BREITUNG	Auswertung von Regenbeobachtungen	Leipzig 1912
8. O. L. FASSIG	Tropical rains; their duration, frequency, and intensity	MWR 44 329 1916
9. J. BOEREMA	Empirische waarden voor de te verwachten grootste regenval in verband met waterafvoer	Waterstaatsingenieur No. 10 1918
10. J. HÄUSER	Kurze starke Regenfälle in Bayern, ihre Ergiebigkeit, Dauer, Intensität, Häufigkeit und Ausdehnung	MZ 36 297 1919; <i>en</i> Abh. d. Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde, München, 242 S, 1919
11. G. WÜSSOW	Untere Grenzwerte dichter Regenfälle	MZ 39 173 1922
12. J. DE JONG	Regenwaarnemingen in de Gemeente Tilburg van 1 Jan. 1918 tot 1 Januari 1925	Techn. Gemeenteblad 11 107 1925
13. E. G. BILHAM	Classification of heavy falls in short periods	Meteor. Off.: Brit. Rainf. 75 1935; 76 1936
14. F. REINHOLD	Regenspenden in Deutschland	GI 58 672 1935
	Die Anweisung zur Durchführung von Niederschlagsmessungen; (A.D.N. 1936)	GI 59 741 1936
	Einheitliche Richtlinien zur Auswertung von Schreiberregennesseraufzeichnungen; (AAR 1936)	GI 60 22, 40, 55, 178 1937
	Genaue Bestimmung von Niederschlagsmessungen	GI 60 735 1937
	Die einheitliche Durchführung von Niederschlagsmessungen	GI 64 231; 246 1941

Auteur	Artikel	Tijdschrift
15. W. DAMMANN	Über die Definition von Starkregen	AHMM 66 69 1938
16. M. MINNAERT	De Natuurkunde van het vrije veld; Deel II	Zutphen 1941
17. A. HELD	Beitrag zu einer Definition für Starkregen im Ostalpengebiet	AMGB B 2 448 1951
18.	Das Handbuch des Klima-beobachtungsdienstes Kapittel C Absatz 8	1952
19. WMO-CIMO	First Session of the CIMO Definition of the intensity of rainfall; slight, moderate, heavy	I/Doc. 75 (10-8-53) Item 42
20. A. HAUER	A new recording raingauge	JSI 28 84 1951
21. S. SKRAB	Definition eines Regenfalles	MZ 24 391 1927
OMI	Guide des Méthodes Internationales contenant les Instruments et les Observations Météorologiques	Publ. No. 78 1953
22. H. HARTMAN	De talrijkheid der stortbuien	HD 6 53 1908
23. H. JAVILLIEY	Etude sur la répartition des précipitations en fonction de l'intensité à Alger	Météor. Paris 24 303 1948
C. THAMS	Ergebnisse zehnjähriger Niederschlagsregistrierungen in Locarno-Monti	Wasser- und Energiewirtschaft, Nr 3, 4/5 1948
24. C. LEVERT	Toepassing van de Theorie der Extreme Waarden op de berekening van de grootte en de „periodiciteit” van extreme hoeveelheden in regens van verschillende duur	PW 19 166 1951

Auteur	Artikel	Tijdschrift
25. F. W. LANE	The elements rage 1945	BAMS 29 434 1948 en 29 552 1948
J. C. TANNER	Weather and traffic flow	Weather 7 270 1952
26. W. KÖPPEN	Regenhäufigkeit und Regendauer Grundriss der Klimakunde	MZ 15 362 1880 Berlin-Leipzig 1931
27. C. E. P. BROOKS and N. CARRUTHERS	Statistical Methods in Cli- matology	London 1953
28. J. HANN und R. SÜRING	Lehrbuch der Meteorologie	Leipzig 1926
29. C. LEVERT	Uiterst zware regens	HD 49 1 1951
30. C. LEVERT	Het verband tussen de Theo- rie der Extreme Waarden en de overschrijdingsfrequent- ies van extreme waarden	KNMI Rapport R III 66 1951
31. K. CLARKE-HAFSTAD	Reliability of station-year rainfall frequency determi- nations	Proc. Amer. Soc. civ. Eng. 66 1603 1940
C. LEVERT	Toepassing van de „sta- tionsjarenmethode” op de berekening van de frequen- ties van zeer grote dag- sommen van de neerslag De veelvuldigheid van zeer grote etmaalhoeveelheden neerslag. Toepassing van de stationsjarenmethode	KNMI Rapport R III 116 1952 HD 51 89 1953
32. C. LEVERT	De grootste te verwachten hoeveelheden neerslag (toe- lichting bij de paragrafen 18-23 in M.V. No. 34 A)	KNMI Rapport R III 96 1952
33. W. VAN DER BIJL	Toepassing van statistische methoden in de klimatologie	KNMI MV No. 58 1952
34. M. G. KENDALL	Rank correlation methods	London 1948
35. D. KUYPER	Onweersfrequentie in Ne- derland 1907-1936	KNMI MV No. 44 1940

Auteur	Artikel	Tijdschrift
35. W. DAMMANN	Zur Physiognomie der Niederschläge in Nordwestdeutschland	Geogr. Abh. 1 58 1948
E. G. BOWEN and K. A. DAVIDSON	A raindrop spectograph	QJ 77 445 1951
J. MAULARD	Mesure du nombre de gouttes de pluie	J. Sc. Météor. 3 69 1951
G. ZIMMERMAN	Die Abhängigkeit der Wolkenbrüche von der Orographie und von bestimmten Wetterlagen	Meteor. Rundschau 5 128 1952
H. FLOHN und J. HUTTARY	Zur Kenntnis der Struktur der Niederschlagsverteilung	Z. f. Meteor. 6 304 1952
36. C. LEVERT	Een werkje voor amateurs: het waarnemen van zware regenbuien	HD 49 17 1951
37. J. v. D. AKKER	Rioleringen. Deel 1 blz. 258 e.v.	Leiden 1952
38. R. D. FLETCHER	A relation between maximum observed point and areal rainfall values	TAGU 31 344 1950
39. C. LEVERT	Nieuwe records. De grootste intensiteit in een zware regen	HD 50 102 1952
40. C. LEVERT	De pluviograaf van het type „kantelend bakje” Die Schwierigkeiten bei der Auswertung der Aufzeichnungen infolge des besonderen Koordinatennetzes des Schreibstreifens beim Niederschlagsmesser des Waageprinzips	KNMI Rapport R III 54 1950 AdM 7 26 1953
41. C. LEVERT	Iets over de betekenis van de stelling „Het gemiddelde der quotiënten is niet gelijk aan het quotiënt der gemiddelden” in de klimatologie	KNMI Rapport R III 90 1952

Auteur	Artikel	Tijdschrift
42. C. BRAAK	Invloed van den wind op regenwaarnemingen	KNMI MV No. 48 1945
43. M. FRÉCHET	Sur la loi de probabilité de l'écart maximum	Ann. Soc. Polon. Math. 6 93 1927
R. A. FISHER and L. H. C. TIPPETT	Limiting forms of the frequency distribution of the largest and smallest members of a sample	Proc. Cambr. Philos. Soc. 24 180 1928
E. J. GUMBEL	Les valeurs extrêmes des distributions statistiques	Ann. Inst. H. Poincaré 5 115 1935
	Les plus grandes précipitations	Météor. Paris 15 17 1939
	The return period of flood flows	Ann. Math. Stat. 12 163 1941
	La durée de retour	Météor. Paris 18 71 1942
	On the frequency distribution of extreme values in meteorological data	BAMS 23 95 1942
	Simplified plotting of statistical observations	TAGU 26 69 1945
J. VIALAR	Calcul des Probabilités et Statistique 1. Chapitre VI, la plus grande valeur 2. Chapitre X, la plus grande valeur et la durée de retour	Paris 1947
N. A. BARRICELLI	Les plus grands et les plus petits maxima ou minima annuels d'un variable climatologique	Arch. f. Math. og Naturvidenskab B XLVI Nr. 6 1948
D. v. DANTZIG	Hoofdstuk 3 § 9 Hoofdstuk 6 § 2	Kadercursus Statistiek 1947-1948
H. KESTEN en J. T. RUNNENBURG	Colloquium over hoge waterstanden. Voordracht: „Theorie der uiterste waarden, I” door C. Levert	Math. Centrum A'dam 32 (1) 1953

Auteur	Artikel	Tijdschrift
43. R. DORRESTEIN	Enkele opmerkingen over de z.g. Theorie der Extreme Waarden	KNMI Rapport R IV 5 1953
44. C. LEVERT	Herhalings- en afwezigheidstijden van zeer grote waarden van klimatologische elementen (zeldzame verschijnselen)	KNMI MV No. 59 353 1954
45. C. LEVERT	Toepassing van de Theorie der Extreme Waarden op de berekening van de frequentie van extreme hoeveelheden in regens van verschillende duren	KNMI Rapport R III 57 1950
46. PH. VAN ELTEREN	Handleiding voor het gebruik van Gumbel-papier	Rapport S 119 (M 47) Math. Centrum Amsterdam 1953
47. H. VON SCHELLING	Die mathematisch-statistische Beurteilung von Stichproben und deren Bedeutung für die Beurteilung von Tierversuchen II. Die Abgrenzung von Mutungsgrenzen	Arbeiten Staatl. Inst. für exp. Therapie u. Forschungsinst. f. Chemotherapie Frankfurt a.M. 81 Heft 37 1939
S. KOLLER	Graphische Tafeln zur Beurteilung Statistischer Zahlen	Dresden und Leipzig 1943; Michigan 1945
H. CRAMÉR	Mathematical Methods of Statistics	Princeton 1946
R. A. FISHER and F. YATES	Statistical tables for biological, agricultural and medical research	London 1949
48. C. E. P. BROOKS and N. CARRUTHERS	The distribution of heavy rains in one and two hours	Water and Water Eng. 49 275 1946
49. C. LEVERT	La durée de retour et la durée d'absence de la plus grande valeur ¹⁾	C.R. Acad. Sc. Paris 237 374 1953

¹⁾ Na het schrijven van deze M.V. verscheen nog: C. Levert: Quelques détails mathématiques sur le théorème de Gumbel appliqué aux événements rares. C.R. Acad. Sc. Paris 239 149 1954

Auteur	Artikel	Tijdschrift
50. W. THALM	Massgebliche Schlagregenwirkungen in der Bautechnik	AHMM 61 196 1933
L. PONCELET	Sur la représentativité des stations pluviométriques	Météor. Paris 15 249 1939
C. E. P. BROOKS	Climate and the deterioration of materials	QJ 72 87 1946
B. VISSER	Toepassing van de kansberekening op de regenval met het oog op polderbemaling	Dissertatie Delft 1947
F. W. BECKEN	Sturmfluten und Regenmengen in Cuxhaven	AdM 2 51 1949
N. SATAPOKAN	Time-depth-area curves of maximum precipitation for the Damedar area	Ind. J. Meteor. Geoph. I 229 1950
F. J. RIBBIUS	WATERverontreiniging door regenoverstorten	PW 19 164 1951
R. BRICAULT et M. STRIFFLING	Pluies et agriculture dans la région Lyonnaise	Météor. Paris 28 1 1952
W. KOPP	Auswertung von Tropfenschreibregistrierungen und Vergleich der Registrierungen benachbarter Stationen	Ber. Deuts. Wetterd. U.S. Zone Nr. 35 1952

18.2 In zeer vele artikelen (en boeken) worden met regens samenhangende aangelegenheden behandeld, die wij in deze M.V. uiteraard maar even aanroerden. Wij doen hieronder een bescheiden keuze uit de rijke literatuur. De aanduidingen H 1, H 2 etc. bedoelen aan te geven met welk onzer hoofdstukken het onderwerp het meest verwant is.

Auteur	Artikel	Tijdschrift
H 1. C. E. FOSTER	Rainfall and runoff	New York 1948
G. HELLMANN	Über den Regenfall zu Batavia	MZ 19 322 1902

Auteur	Artikel	Tijdschrift
G. HELLMANN	Intensität der Platzregen in Batavia	MZ 19 474 1902
E. G. BILHAM	Classification of heavy falls in short periods. Revision of the curves showing the lower limits of „note-worthy”, „remarkable” and „very rare” falls	Meteor. Off. Brit. Rainf. 75 262 1936
C. W. SHERMAN	Frequency and intensity of excessive rainfalls at Boston Massachusetts	Trans. Amer. Soc. civ. Eng. 95 951 1931
A. A. MARCHETTI	Frecuencia de las lluvias intensas de corta duracion en la ciudad de Buenos Aires	Meteoros 2 7 1952
R. BUCHNER	Klassifikation der Regenfälle	Wasserkraft u. Wasserwirtschaft 38 39 1943
A. HELD	Beitrag zu einer Definition für Starkregen im Ostalpengebiet	AMGB B. II 448 1951
W. DAMMANN	Über die Definition von Starkregen	AHMM 66 69 1938
D.J.Mc.CONALOGUE	On the distribution of rainfall rates at some coastal stations in the British isles	Meteor. Mag. 82 304 1953
CH. BOIS	Sur les pluies torrentielles en Tunisie	C.R. Acad. Sc. Paris 207 1064 1938
H 2. G. HELLMANN	Über die Auswertung der Aufzeichnungen selbstregistrierender Regenmesser	MZ 17 136 1900
W. DAMMANN	Zur Frage der Auswertung der Aufzeichnungen von Schreibregennessern	Z. ang. Met. 55 162 1938
M. J. W. OOSTWOUDE WIJENES	De „specifieke regenintensiteit” voor Nederland	PW 10 145 1941

Auteur	Artikel	Tijdschrift
H 2. P. L. MERCANTON	Les recherches de technique pluviométrique et la nouvelle carte des précipitations de la station centrale suisse de météorologie	Météor. Paris 25 173 1949
H 4. R. BILLWILLER	Starke Regenfälle und Hochwasser in der Südschweiz vom 21-28 August 1900	MZ 17 463 1900
J. GLASSPOOLE	Heavy falls of rain in short periods (two hours or less)	QJ 57 57 1931
J. A. PRINS, D. A. DE VRIES en C. H. M. VAN BAVEL	Dagelijkse gang en statistiek van de neerslag te Wageningen en te De Bilt	Med. Landb. Hogeschool. Wageningen Verh. 4 47 1946
C. LEVERT	Een zeldzame zware slagregen	HD 49 159 1951
C. LEVERT	Een zeer zware plasregen boven Amsterdam	HD 49 171 1951
C. LEVERT	De zware slagregens op 3 Juli 1952, 's avonds	HD 50 154 1952
H 4.1. H. RENQUIST	De dagelijkse gang van den regenval te De Bilt	HD 13 7 1915/16
C. LEVERT	Frequentie van regens, zware en zeer zware regens	Landb. Tijds. 51 682 1951
H 4.2. Notes by the Editor	Heavy rainfall in local storms	MWR 28 207 1900 QJ 26 286 1900
C. KASZNER	Über sehr dichte Regenfälle	MZ 36 125 1919
G. WUSSOW	Untere Grenzwerte dichter Regenfälle	MZ 39 173 1922
H. HENZE	Häufigkeit und Dauer einer Niederschlagsintensität von mindestens 0,2 mm in der Minute nach 32-jährigen Registrierungen in Potsdam	MZ 50 382 1933
H. JAMESON	Constant frequency graphs for heavy rainfall at Colombo and Labugaua	Ceylon J. Sci. Colombo 2 69 1937

Auteur	Artikel	Tijdschrift
H. LEHNMANN	Häufigkeit und meteorologische Ursachen von Starkregen im Dresdener Gebiet	Veröff. geophys. Inst. Univ. Leipzig; 2. Serie 15 1946
H. KAUFMANN	Intensität von Gewitterregen	Meteor. Rundschau 3 213 1950
G. J. SYMONS	Heavy falls in short periods	Meteor. Off. Brit. Rainf. 105 1872, 1922 1874, 134 1887, 122 1894, 73 1908
H 4.3. D. W. KÖPPEN	Über den Zusammenhang zwischen der Stärke der Platzregen und ihrer Dauer	Das Wetter 21 169 1904
H 4.5. C. LEVERT	Zeer zware regens	Landb. Tijds. 51 404 1951
H 4.7. J. HOFFMEISTER	Untersuchung einiger Niederschläge von langer Dauer und weiter Verbreitung in Norddeutschland	Abh. Preus. Meteor. Inst. No. 7 1926
K. POMIANOWSKI	Die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Regen grosser Intensität in einem bestimmten Zeitraume	GI 51 337 1928
M. M. BERNARD	Formulas for rainfall intensities of long duration	Trans. Amer. Soc. civ. Eng. 96 592 1932
J. HOFFMEISTER	Über die Struktur der Niederschlagsintensität bei langdauernden Niederschlägen	Tät. Ber. Preus. Meteor. Inst. 1932 Berlin 1933 S. 111
A. J. SCHAFMAYER and B. E. GRANT	Rainfall intensities and frequencies	Trans. Amer. Soc. civ. Eng. 103 344 1938
H 5. W. THEIN	Massgebliche Schlagregenvirkungen in der Bau-technik	AHMM 61 196 1933
L. BESSON et H. GRISOLLET	Probabilité de la pluie à Paris. Application aux assurances contre la pluie	Ann. Serv. techn. d'hygiène Paris Météor. 16 26 1935
R. REIDAT	Bauwesen und Wetterdienst (Der deutsche Holzbau 1951)	Hamburg 1951

auteur	artikel	tijdschrift
H 8. E. BRÜCKNER	Über die Methode der Zählung der Regentage und deren Einfluss auf die resultierende Periode der Regenhäufigkeit	MZ 4 241 1887
D. L. YARNELL	Rainfall intensity-frequency data	U.S. Dept. Agric.; Misc. Publ. 204; Washington 1935
C. K. STIDD	Cube-root-normal-precipitation	TAGU 34 31 1953
H 11. W. J. v. BEBBER	Wolkenbruch in Fiume	MZ 15 439 1898
C. KADEL	The most intense rainfall on record	MWR 48 274 1920
	Ausserordentlich intensiver Regenfall in Porto Bello, Panama	MZ 38 123 1921
C. BRAAK	Zware regenval op 7 Juli 1936	HD 34 252 1936
Anon.	The record rainfalls of the world	MWR 69 356 1941
P. H. KUENEN	De kringloop van het water	Den Haag 1948
A. H. JENNINGS	Worlds greatest observed point rainfalls	MWR 78 4 1950
E. L. HAWKE	Rainfall in cloudbursts	Nature London 169 204 1952
H 14. S. L. BASTAMOFF W. J. WITKEWITSCH	Windeinfluss auf Niederschlagsmesser	MZ 44 71 1927
P. L. MERCANTON	Les recherches de technique pluviométrique et la nouvelle carte des précipitations de la station centrale suisse de météorologie	Météor. Paris 25 173 1949
E. HOECK J. C. THAMS	Zur Problem der Niederschlagsmessung	Geof. Pura e Appl. 19 220 1951
C. C. WARNICK	Experiments with wind-shields for precipitation gages	TAGU 34 379 1953

auteur	artikel	tijdschrift
H 15. J. R. BIBBY	An instrument for recording the rate of rainfall or the wind velocity	QJ 70 277 1944
H 16. H. ERTEL	Die vertikale Luftbewegung bei Starkregen	MZ 50 149 1933
S. B. SOLOT	Computation of depth of precipitable water in a column of air	MWR 67 100 1939
A. K. SHOWALTER	Computation of maximum possible precipitation Rates of precipitation from pseudo adiabatically ascending air Quantitative determination of maximum rainfall	TAGU (Nat. Res. C.) Part. II 258 1942 MWR 72 1 1944 In F. A. Berry, N. R. Beers, E. Bollay: Handbook of Meteor. p. 1015 New York, 1945
A. L. SHANDS and D. AMMERMAN	Maximum recorded U.S. point rainfall	Weather Bureau Techn. Paper No. 2 Ap. 1947
G. W. PLATZMAN	Computation of maximum rainfall in the Willamete basin	TAGU 29 467 1948
T. BERGERON	Über den Mechanismus der ausgiebigen Niederschläge	Ber. Deuts. Wetterd. U.S.-Zone No. 12 225 1950
J. M. SIL	Relationship between vertical currents and intensity of precipitation	Ind. J. Meteor. Geoph. 1 52 1950
R. D. FLETCHER	Maximum possible precipitation (Hydrometeorology in the U.S.)	In T. F. Malone: Compendium of Meteorology 1033 1951
Anon.	Maximum station precipitation for 1, 2, 3, 6, 12, 14, hours	U.S. Dep. of Commerce Weather Bureau Techn. Paper No. 15; Washington 1951-52; parts 1, 2, 3
A. C. BEST	The relation between rain current and rate of rainfall	J. Atm. Terr. Phys. 3 285 1953

SUMMARY

Chapter 0 explains why it was necessary to continue the analysis of the diagrams of the selfrecording raingauge at De Bilt for a longer basic period. Moreover, the evaluation should be carried out somewhat more extensively than had been done by B r a k in "Mededelingen en Verhandeligen" 34a.

Chapter 1 illustrates by means of many examples the lack of any international uniformity in the nomenclature of rains of various types. Remarks are being made on expressions like excessive rain, cloudburst, downpour, torrential rain, heavy rain, burst of rain, rain in sheets, shockrain; averse, pluie torrentielle, orage excessive, ondée; Platzregen, Wolkenbruch, Regen höher Gewalt, Dauerregen, Schlagregen, Regenguss; slagregen, plasregen, wolkbreuk, stortregen; etc.

Chapter 2 gives a survey of the pluviograph types that have been used by the Royal Meteorological Institute of the Netherlands since early 1897. A "rain" is defined as each part of the record during which there is an uninterrupted rise in the curve. As soon as the curve becomes horizontal the rain has ended, irrespective of the fact that the rainpause may last a few minutes. For every rain the readings are recorded of the starting moment t_0 , the whole amount of precipitation h mm, the whole duration t minutes, the mean intensity $\bar{i} = h : t$ mm/min and the maximum momentary intensity i_m mm/min. The same figures have been read for the particular types of rain called "heavy rain" (z.r.), "very heavy rain" (z.z.r.), "downpour" (s.r.) and "very intense rain" (h.r.). In section 2 a description is found of the evaluation difficulties which arise from the properties of the network of coordinates on the strip and the quality of recording. Generally h can be read with an error of 0,1 mm and t with an error of 2 to 5 minutes. Special difficulties are discussed with regard to intense rains because they are drawn as steep curves.

In Chapter 3 special stress is laid on the definitions. A "heavy rain" (z.r.) is defined as

1. a rain which has an intensity $i (= h : t)$ equalling or exceeding 0,20 mm/min; h = total rainfall; t = total duration,
2. a part of a rain; this part should have such a "length" that the mean intensity ($i^* = h^* : t^*$, h^* and t^* being rainfall and duration of this part) should exceed 0,20 mm/min as little as possible.

A "downpour" (s.r.) is defined as a heavy rain with 4 mm rainfall at least (we also considered heavy rains with less than 4 mm, which formed part of a parent rain in which at least 4 mm came down within one hour).

A "very heavy rain" (z.z.r.) is defined as

1. a rain with an intensity that is equal to or higher than 1,00 mm/min,
2. a part of a rain; this part should have such a "length" (at least 5 minutes) that the mean intensity should exceed 1,00 mm/min as little as possible.

Finally a "very intense rain" (h.r.) is introduced as a part of a rain (taken as large as possible) which has continuously (from moment to moment) an intensity equalling or exceeding 0,20 mm/min. Obviously every h.r. is a z.r., but generally a z.r. is not a h.r.

Chapter 4 presents many data with regard to the number of rains of every type, intensity, amount of precipitation, duration, etc. Table 2 shows an extensive survey for the basic period 1926–1948. The diurnal variation which becomes clearer the more intense the rain, is also a point of discussion. This chapter also contains the description and photographs of a wooden model representing the frequency of rains of various rainfalls and durations, which enables us to find more easily the most important features of the frequency-distribution. Next the relation is investigated between the amount of precipitation in a rain and its total duration, and the way is considered in which the mean intensity decreases with the total duration. Moreover, the frequency of maximum intensities is examined for heavy rains and downpours. It seems significant that the longer the rain the higher the maximum intensity. In sections 4.2, 4.3, 4.4 and 4.5 the frequencies, mean duration, mean rainfalls, diurnal and annual variations etc. of all types of rains are dealt with.

The chapter also gives a survey of the most particular rains of each of the types mentioned above. Section 4.7 discusses "very long" rains. These rains are defined in two ways

1. a L_L rain is a rain that lasts more than 6 hours without any interruption,
2. a L_B rain consists out of so many successive "clock hours" that the average rainfall per 1-hour period equals or exceeds 1 mm (according to B r a k)
(A "clock hour" is one of the 24 hours in which the natural day between two successive midnights can be divided).

Generally a L_B rain has many rainpauses. It is pointed out that there is a great difference between the frequencies of these two types of long rains. Also the diurnal variations are studied. There appear to be twice as many long rains (L_L) in the afternoon as in the morning. In section 4.8 a solution of the problems is given: "Where in the whole rain (i.e.: in the central part, at the beginning or at the end of the parent rain) is the heavy part to be found?" "What proportion of the total rainfall or of the total duration does result from the heavy rain?" Sewerage and drainage engineers are greatly interested in these problems. The most important conclusions are: i) the higher the mean intensity of the parent

rain, the more the middle of the heavy rain will run towards the centre of the whole rain; for low parent-rain intensities the heavy rain is found in the beginning (about $1/3$ of the parent rain duration); ii) in summer the duration of the rain preceding the heavy rain, is about 19 minutes; in autumn this is 67 minutes; iii) on an average the duration of the heavy rain is less than 50 % of the duration of the parent rain, but the rainfall is about 65 %.

Chapter 5 deals with the problem at which intensities and rain durations the outdoor work must be stopped. Reports are given about the results of three incidental investigations; more statistics are necessary.

Chapter 6 gives the computation of the duration of rain according to three methods:

1. by means of the "proposition": the duration of rain is directly proportional to the number of wet clock hours,
2. "Stichprobenmethode von K ö p p e n"; let the probabilities of rain be at the moments 8, 14 and 19 o'clock in January k_8 , k_{14} and k_{19} ; then the mean duration of rain in January can be approximated by $31 \times 24 \times (k_8 + k_{14} + k_{19})/3$ hours,
3. by means of reading all diagrams. Advantages and disadvantages of the three methods are discussed.

Chapter 7 shows in what proportions the total annual rainfall results from the various types of rain. The mean is computed of rainfall resulting from rains (of every type) of t up to $t + \Delta t$ minutes and it is concluded, among other things, that this mean rainfall depends only on Δt .

In chapter 8 there is a detailed discussion of the computation of the frequency of rains of various duration and amount of precipitation while several sets of frequency curves are presented. We might refer to the figures and tables. The frequency curves in fig. 39 and 40 are based on data by B r a k mentioned in "Mededelingen en Verhandeligen" 34a.

Chapter 9 is concerned with the relationship between the daily amount of rainfall and the daily number of rains. Three methods were tried:

1. by means of the correlation coefficient,
2. graphically,
3. with the aid of the so-called rank correlation test of K e n d a l l.

Something is said about this simple modern statistical test, the use of which encounters, however, special difficulties in our case. In addition the problem

was met in what circumstances we should consider two or more rains separated by short pauses as one rain. This problem is of theoretical and practical importance.

In chapter 10 the mean numbers are given of days with N ($= 1, 2, 3 \dots$) rains. Only days with "ordinary" rains (without heavy or very heavy rains) are considered and days with rains of every type.

Some conclusions are made:

1. the autumn has many days with many ordinary rains per day, but the summer has fewer raindays with fewer rains per day,
2. rainfall being more abundant in summer than in winter, the conclusion must be that the summer is characterized by relatively few raindays with few rains, which latter, however, are much more intense than in autumn or winter.

Chapter 11 contains a list of many downpours measured by enthusiastic observers by means of non-recording raingauges at many places in the country. A very rough approximation is the relation $h_0 = 1,98 j^{0,54} t^{0,26}$. This means: a rain with a part of t minutes with h_0 or more mm occurs once in j years (Investigations with regard to better relations are still in progress). There is also a list of very high maximum intensities (2 mm/min or more). Next the occurrence of the so-called "cloudbursts" in our country is taken into consideration. Some examples are given.

In chapter 12 surveys are given of frequencies, durations, rainfalls etc. of heavy rains and very heavy rains in some stations outside De Bilt. The fact is stressed that the selfrecording raingauge diagrams have been analyzed by the local municipal works in a way which differs somewhat from ours.

Chapter 13 goes further into the subject in what manner the curved coordinates on the strip of the balance type selfrecording raingauge affect the value of the mean and maximum intensity read from the pluviogram. More details of this mathematical problem are given in [40].

In chapter 14 a statistical survey is given of the differences between the daily rainfalls measured by the pluviograph and the non-recording raingauge. On an average per day the former measures 12 % less than the latter.

Chapter 15 states the results of an extensive study of the errors in computing the mean intensity of rains of various rainfalls and durations. The question is considered whether these errors could be reduced by changing the width of the network of coordinates on the strip.

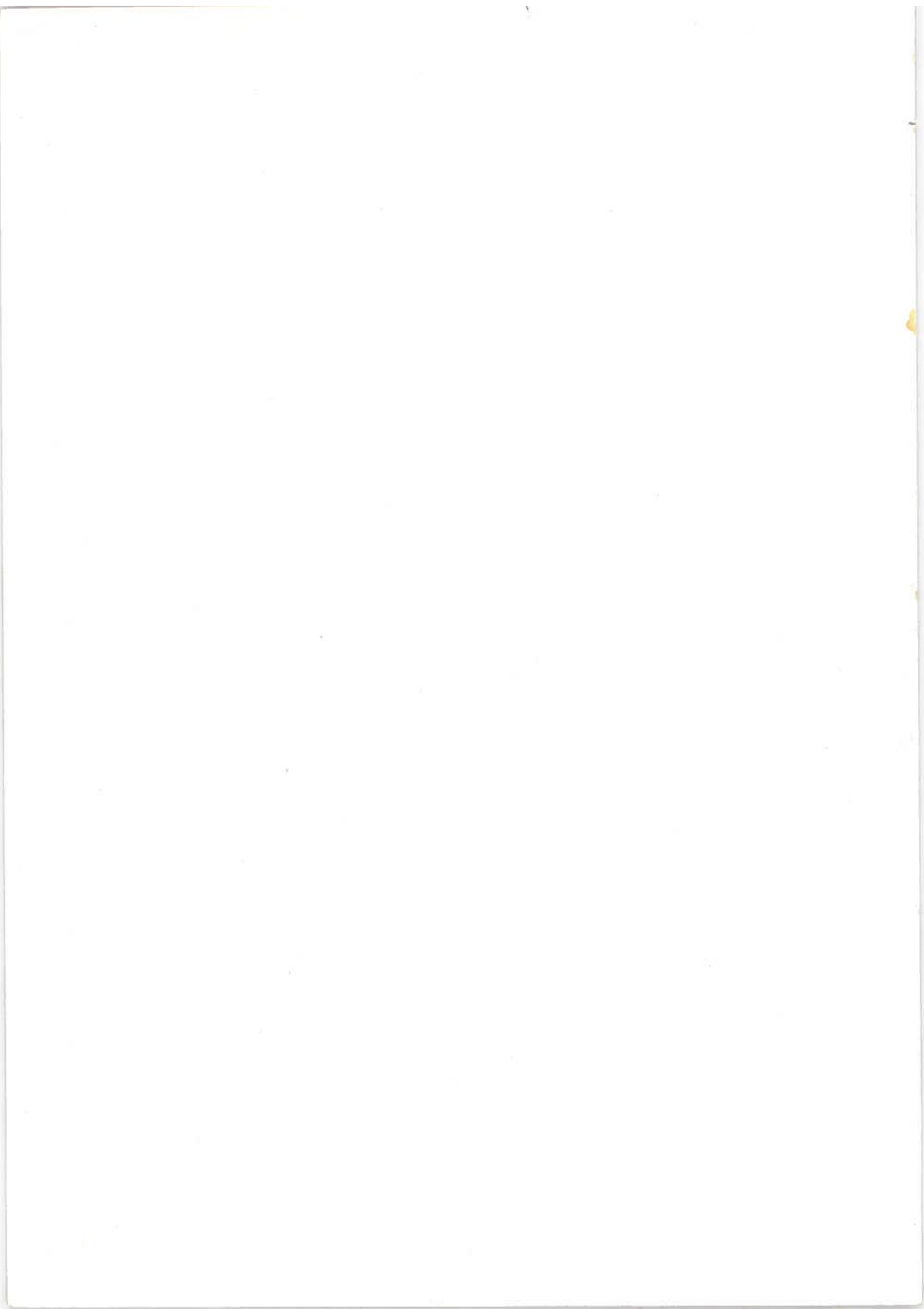
Chapter 16 deals with the application of the so-called Theory of Extreme Values (developed by Gumbel, Barri celli, etc.) to rains. Many articles were studied in which this theory is applied to largest values of several climatological elements, but we believe to be the first in applying this theory to largest values in rains. We begin with some theoretical explanations. For rains of one hour and more the annual number becomes so small that application of the theory is not allowed. The conviction is expressed that such an application to rains is very useful, but it should be emphasized that more data are necessary to get more reliable results.

Theoretically an empirical relation by Brooks can be proved, according to which the maximum in a rain to be expected in n years is $1 + \log n$ times the average maximum in one year [48]. Finally the fact is emphasized that the idea of "largest" has no sense, unless there are real physical limits. One should consider more and more "the mean largest value", "the most probable largest value" per season, per year, per 10 years etc.

The last chapter contains a summing up of several practical questions of different importance which cannot be answered by the data in this new publication.

For instance: rain-wind statistics; snow statistics; analysis of rains in still more details in view of purely practical uses; investigations as to the extensiveness of downpours or as to the distribution of droplets in rains etc. These subjects probably become points of study in future.

Numerous practical questions gave rise to this new publication; naturally it has largely been adapted to use in practice. Nevertheless the necessity has several times been pointed out to work according to modern statistical methods in order, among other things, to estimate the reliability of the results, which of course leaves much to be desired for a basic period of only 23 years.



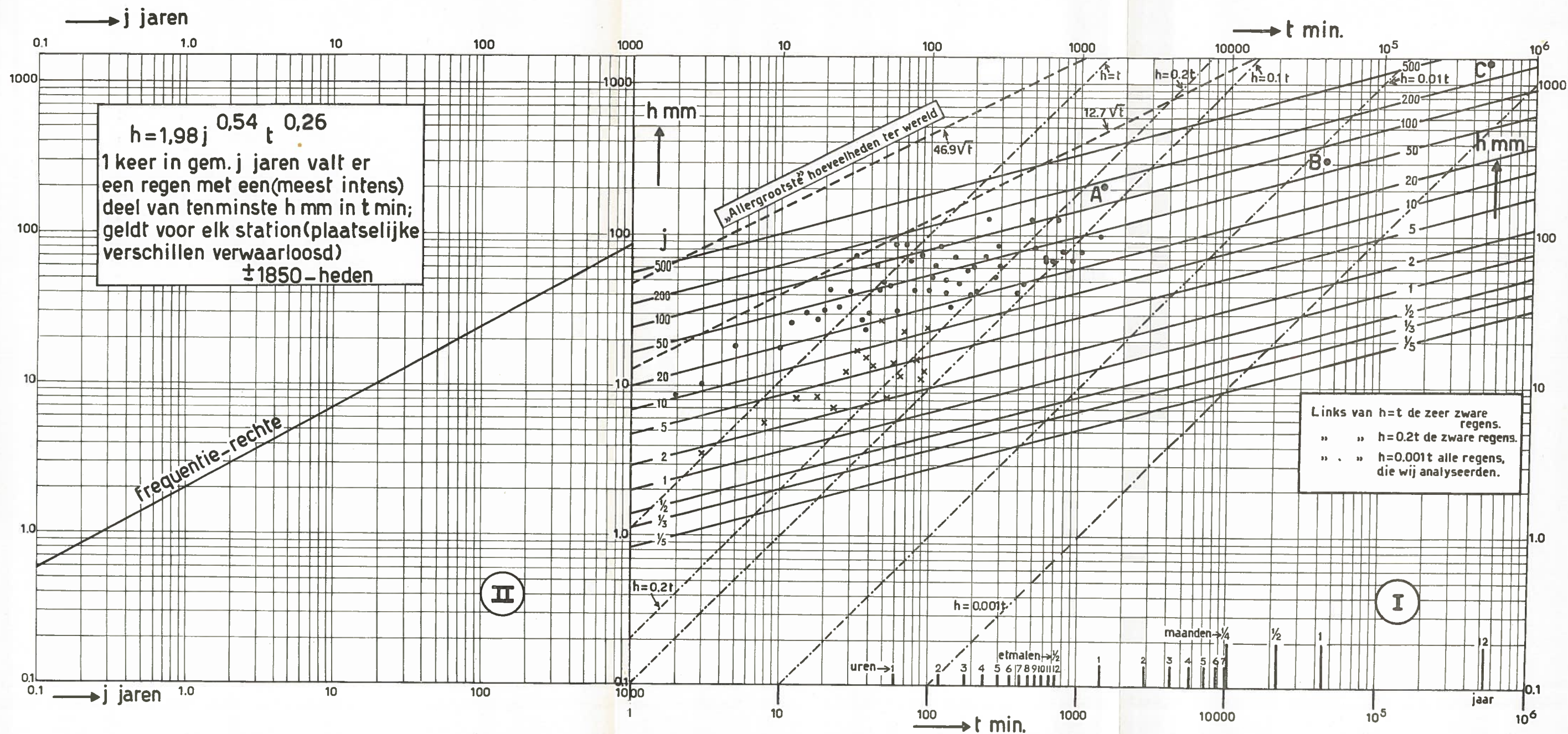


FIG. 49. A rain with a part of t minutes with at least h mm occurs on an average once in j years. The straight lines with $j = 1/5, 1/3, \dots, 500$ have been drawn according to the relation $h = 1,98 j^{0,54} t^{0,26}$. For further explanation see text