Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz

Von A. HÖRLER und H. R. RHEIN

Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
(EAWAG) an der ETH, Zürich
Direktor: Prof. Dr. O. JAAG

Manuskript eingegangen am 10. Juli 1962

<i>Formelzeichen</i>	292
1. <i>Einleitung</i>	294
2. <i>Bisher in der Schweiz verwendete Regenintensitätskurven</i>	295
3. <i>Vorhandenes Beobachtungsmaterial</i>	298
3.1 Vorhandene Schreiblegenmesser	298
3.2 Vorhandene Regenstreifen	299
4. <i>Das Auswerteverfahren</i>	299
4.1 Verfahren von REINHOLD	299
4.2 Kritik am Verfahren von REINHOLD	303
4.3 Beschränkung der Auswertearbeit unter Berücksichtigung der speziellen Bedürfnisse der Kanalisationstechnik	304
4.4 Gang der statistischen Auswertung	305
4.5 Gang der Auswertung am Beispiel der Stadt Bern	312
4.6 Die Abweichungen der theoretischen von den gemessenen Werten	316
5. <i>Die Ergebnisse der Auswertung</i>	320
5.1 Tabellen der Häufigkeitsverteilung	320
5.2 Summenhäufigkeitsdiagramme	320
5.3 Beziehung zwischen den Zentralwerten und der Regendauer	336
5.4 Die Häufigkeitsfaktoren b	336
5.5 Genauigkeit der Auswertung	339
6. <i>Zusammenfassung der Ergebnisse</i>	341
6.1 Gleichung der Regenintensitätskurven für die praktischen Bedürfnisse	341
6.2 Die Grundzahlen G	341
6.3 Die Zeitbeiwerte φ	342
6.4 Die Häufigkeitsfaktoren b – Näherungsformel für die Praxis	344
6.5 Tabelle der Regenintensitäten für den praktischen Gebrauch	344
7. <i>Schlussbetrachtung</i>	348
<i>Anhang: Umkehrfunktion $\Psi(P)$</i>	351
<i>Literaturverzeichnis</i>	352

Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Bedeutung
A	mm	} Konstanten in der Funktion, die die Abhängigkeit von der Regendauer beschreibt.
B	Min.	
C		
F	ha	Koeffizient im vereinfachten Häufigkeitsfaktor
G	l/s ha	Fläche des Einzugsgebietes (für Berechnungspunkt P)
K		Grundzahl, d.h. Intensität eines Regens von 15 Minuten Dauer, die durchschnittlich jedes Jahr einmal erreicht oder überschritten wird (a.o. auch $r_{15}^{(1)}$)
N	mm	Von z abhängiger Wert in der Formel für den praktischen Gebrauch
P_i	%	Niederschlagshöhe (eines Regenabschnittes)
Q_R^P	l/s	Summenhäufigkeit, das heisst Häufigkeit, mit welcher im Beobachtungszeitraum die Intensität den Betrag i überschreitet
S	Jahre	Maximaler Regenwasserabfluss im Berechnungspunkt P
T	Min.	Dauer des Beobachtungszeitraumes
U_i		Regendauer (eines Regenabschnittes)
		Wert der stochastischen Variablen u für die Intensität i aus theoretischer Verteilungsfunktion
a	mm/Min.	} Konstanten in der linearisierten Zeitfunktion des Zentralwertes
b		
e		Basis der natürlichen Logarithmen (2,7183)
f		Relativer Fehler der Regenintensität (in Prozenten)
h		Häufigkeitsfaktor
i		Regenstärke (Regenintensität)
k		Konstante in der linearisierten Verteilungsfunktion (im Wahrscheinlichkeitsnetz)
m		Rang von Grössen, nach absteigendem Betrag geordnet
n		Jährliche Häufigkeit eines Ereignisses
n_j		Anzahl Fälle, die im Beobachtungszeitraum in einem Intensitätsintervall Δi eingetroffen sind
p_i		Summe der Anzahlen aller Fälle grösser als der Intensitätswert i
p_s		Gesamtsumme der Anzahlen aller beobachteten Fälle
r		Regenspende (Regenintensität), auch $r_T^{(2)}$
t		Konstante in der linearisierten Verteilungsfunktion (im Wahrscheinlichkeitsnetz)
u		Stochastische Variable in der Verteilungsfunktion

Zeichen	Einheit	Bedeutung
u_i	Jahre	Wert der stochastischen Variablen u für die Intensität i aus Messung
x		} Koordinaten im ebenen, rechtwinkligen System
y		
z		Durchschnittliche Zeitspanne, innert welcher ein Intensitätswert einmal erreicht oder überschritten wird
Φ		Gaußsche Integralfunktion (Verteilungsfunktion)
Ψ		Umkehrfunktion der Gaußschen Integralfunktion
α		Einheit auf der Ordinatenachse des Wahrscheinlichkeitsnetzes
β		Einheit auf der Abszissenachse des Wahrscheinlichkeitsnetzes
γ		Einheit auf der Ordinatenachse im Diagramm Zentralwert/Regendauer
δ		Einheit auf der Abszissenachse im Diagramm Zentralwert/Regendauer
ϑ		Steigungswinkel der Geraden im Diagramm Zentralwert/Regendauer
κ		Steigungswinkel der Summenhäufigkeitslinien (im Wahrscheinlichkeitsnetz)
λ		} Koeffizienten im Häufigkeitsfaktor
μ		
ξ		Zentralwert der Verteilungsfunktion (statistischer Parameter)
σ		Streuungsmaß der Verteilungsfunktion (statistischer Parameter)
φ		Zeitbeiwert
ψ		Abflussbeiwert (Scheitelabflussbeiwert)
n		Anzahl der verwendeten Wertepaare bei der Fehlerberechnung
r		Korrelationskoeffizient

1. Einleitung

Für die Dimensionierung verschiedener Bauwerke auf dem Gebiete der Wasserwirtschaft ist die genaue Kenntnis der Niederschlagsverhältnisse von wesentlicher, wenn nicht sogar von ausschlaggebender Bedeutung. In der Kanalisationstechnik werden die Regenwasserkanäle bei einer Entwässerung im Trennsystem sowie sämtliche Kanäle des Mischsystems grösstenteils nach folgender Gleichung berechnet:

$Q_R^P = r \psi F$, wobei

Q_R^P = maximaler Regenwasserabfluss im Berechnungspunkt P in l/s,

r = für die Grösstwassermenge im Punkt P massgebende Regenintensität in l/s ha,

ψ = Abflussbeiwert (Scheitelabflussbeiwert),

F = Einzugsgebiet für den Berechnungspunkt P in ha.

Der für die Dimensionierung der Kanalisationen massgebende maximale Regenwasserabfluss ist somit um so einwandfreier erfassbar, je genauer die einzelnen Faktoren ermittelt werden können, die den Grösstabfluss bedingen. Dabei zeigt es sich, dass für die Dimensionierung einer Kanalisation für eine gewählte, als zweckmässig erachtete Rückstauhäufigkeit nicht der Regen mit der maximalen Regenintensität massgebend ist, sondern in der Regel ein Regen, dessen Regendauer der Abflusszeit vom obern Ende der Kanalisation bis zum Berechnungspunkt P entspricht, wobei Ausnahmen, je nach der Topographie des Geländes und der Form des Einzugsgebietes zu berücksichtigen sind.

Viele Städte und Ortschaften in der Schweiz besitzen heute bereits generelle Kanalisationsprojekte, die häufig auf fragwürdigen Regenintensitätskurven unbekannter Häufigkeit aufgebaut sind. Einerseits wurden die Regenintensitätskurven, mit wenigen Ausnahmen, nach verschiedenen Verfahren ausgewertet, die nicht miteinander verglichen werden können; andererseits werden Regenintensitätskurven, wie sie zum Beispiel für die Stadt Zürich ermittelt wurden, auf Gebiete mit ganz anderem Witterungscharakter übertragen. Dabei werden oft gefühlsmässige Zuschläge oder Abminderungen an den Zürcher Kurven vorgenommen, die dem Witterungscharakter der Gegend Rechnung tragen sollen. Hier und da werden die Zürcher Kurven unbesehen übernommen.

Um einen besseren Einblick in die Niederschlagsverhältnisse bei Starkregenfällen in der Schweiz zu erlangen und zugleich eine Vereinheitlichung der Ergebnisse zu erzielen, hat es die Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der ETH, Zürich

(EAWAG), übernommen, die der Anstalt zugänglichen Regenmessstreifen nach einem einheitlichen Verfahren auszuwerten und die Ergebnisse der Praxis zur Verfügung zu stellen. Dabei wurden der EAWAG Hilfen mannigfacher Art gewährt. Auf den 1. Mai 1958 bewilligte der Schweiz. Schulrat die Einstellung einer Arbeitskraft, die sich ausschliesslich mit der Auswertung der Regenstreifen befassen konnte. Zudem gewährten uns die Kantone Bern und Baselland sowie die Gemeinden Uster und Rorschach und durch Subventionierung dieser Arbeiten die Kantone Zürich und St. Gallen, einen Beitrag an die Auswertekosten. Für die Auswertung der Regenstreifen der Stadt Basel konnte das Ingenieurbüro ED. HOLINGER, Liestal, gewonnen werden. Die Regenstreifen von Locarno und Como wurden durch Dipl.-Ing. A. RIMA, Locarno, ausgewertet, und zwar nach dem nämlichen Verfahren, das im folgenden beschrieben wird. Die Beschaffung der Regenstreifen stiess glücklicherweise auf keine Schwierigkeiten. Im Gegenteil: Von sämtlichen Stellen wurden uns die gewünschten Registrierstreifen in ausserordentlich bereitwilliger Weise für die Dauer der Auswertung zur Verfügung gestellt. Unserer Behörde, den kantonalen und kommunalen Verwaltungen und den meteorologischen Anstalten, die uns durch ihre Unterstützung und ihr Entgegenkommen die Arbeit wesentlich erleichtert haben, möchten wir auch an dieser Stelle danken. Ein besonderer Dank gebührt der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich, die unsere Bestrebungen in hohem Masse unterstützt hat.

2. Bisher in der Schweiz verwendete Regenintensitätskurven

2.1 Stadt Zürich

Aus der Erkenntnis heraus, dass bei grösseren Einzugsgebieten der Regenwasserabfluss nicht proportional mit der Einzugsfläche zunimmt, hat Stadtingenieur BÜRKLI-ZIEGLER im Jahre 1880 seine Abflussformel entwickelt, die eine universelle Verbreitung gefunden hat und die als sogenannte Verzögerungsformel in der Kanalisationsliteratur, selbst in neuester Zeit noch, erwähnt wird. Da damals noch keine Registrierungen der Niederschläge vorlagen, konnte man nicht wissen, dass die sogenannte Verzögerung durch die Abnahme der Regenintensität mit der Regendauer bei gleicher Häufigkeit bedingt ist und nicht durch einen Abminderungsbeiwert, entsprechend der vierten Wurzel des Quotienten aus Gefälle in ‰ und Abflussfläche in ha. Doch gebührt BÜRKLI-ZIEGLER das Verdienst, als erster erkannt zu haben, dass die allgemeine Abfluss-

gleichung einer Korrektur bedürfe, im Sinne einer Abminderung der maximalen Regenwassermenge bei grösseren Einzugsgebieten, das heisst längeren Fliesszeiten.

Auf Grund einer Auswertung von einzelnen Starkregen hat Dipl.-Ing. J. MÜLLER, früherer Chef des Kanalisationsbüros der Stadt Zürich, Potenzkurven für die Stadt Zürich veröffentlicht, die als 10jährige, 20jährige und 50jährige Regenintensitätskurven des Tiefbauamtes der Stadt Zürich (TAZ) nicht nur für die Dimensionierung der Kanalisation der Stadt Zürich verwendet wurden, sondern auch heute noch als Grundlage für die Bemessung der Kanalisation anderer Gemeinden dienen.

Erst später, in den Jahren 1936 und 1940, sind die grundlegenden Veröffentlichungen von Prof. REINHOLD, Darmstadt, erschienen, die eine systematische Auswertung der Regenstreifen nach einem einheitlichen Verfahren bezweckten und die in ganz Deutschland Eingang gefunden hatten. Um eine Beziehung zwischen den Zürcher Regenintensitäten und denjenigen von Deutschland zu erhalten, hat Dipl.-Ing. A. KROPF, früherer Chef der Technischen Abteilung der EAWAG, Zürich, die Regenstreifen der Meteorologischen Zentralanstalt, Zürich, erneut nach dem von REINHOLD veröffentlichten Verfahren ausgewertet und dabei zum Teil wesentliche Abweichungen gegenüber den TAZ-Kurven gefunden. So entsprach zum Beispiel die sogenannte 50jährige Regenintensitätskurve der Auswertung des TAZ ungefähr einem Regen, der durchschnittlich nach KROPF alle 15 Jahre einmal erreicht oder überschritten wird¹⁾. Die Ergebnisse der Auswertung von A. KROPF sind in der Schweiz. Bauzeitung erschienen [1].

2.2 Stadt St. Gallen

Das Kanalisationswesen der Stadt St. Gallen wies schon frühzeitig einen bemerkenswert hohen Stand auf. Auf Grund von Schreibregennessaufzeichnungen wurden seinerzeit nach einem unbekannten Verfahren zwei Regenintensitätskurven ermittelt, die alle 10 bzw. alle 20 Jahre einmal erreicht oder überschritten werden. Die ersterwähnte Regenintensitätskurve wird für die Dimensionierung der Kanalisation in den Aussengebieten, die letztere für die Bemessung der Kanäle im Stadtzentrum verwendet.

Neuere Auswertungen nach dem von REINHOLD veröffentlichten Verfahren [2] ergaben, dass die 10jährige Kurve auch mit den neueren Er-

¹⁾ Nach den neuesten, hier vorgelegten Resultaten wird allerdings diese Regenintensitätskurve durchschnittlich alle 9–12 Jahre einmal erreicht oder überschritten werden.

Zusammenstellung der verwendeten Regenintensitätsgleichungen

Ort	Verwendete Regenintensitäten r in l/s ha, T = Regendauer in Minuten ($z = 1/n$ = Anzahl Jahre, innert welcher die Intensität im Durchschnitt einmal erreicht oder überschritten wird)	Häufigkeit z in Jahren	Autor
Zürich	$r = \frac{950}{\sqrt{T}}$		Schweiz. Ing.-Kalender 1948
Zürich	$r = \frac{952}{T^{2/3}}$	10	J. Müller, Tiefbauamt der Stadt Zürich
	$r = \frac{1080}{T^{2/3}}$	20	
	$r = \frac{1248}{T^{2/3}}$	50	
Zürich	$r = \frac{698}{T^{0.692}}$	1	A. KROPP [1] 1944
	$r = \frac{1150}{T^{0.726}}$	5	
	$r = \frac{1460}{T^{0.762}}$	10	
St. Gallen	$r = \frac{1036}{\sqrt{T}}$	10	—
	$r = \frac{1180}{\sqrt{T}}$	20	—
Winterthur	$r = \frac{950}{\sqrt{T}}$ (Stadtgebiet)	—	—
	$r = \frac{5435}{T+9}$ (Vororte)	20	—
Wetzikon	$r = \frac{1140}{\sqrt{T}}$	—	Meyer, Wetzikon
Langenthal	$r = \frac{934}{T^{0.675}}$	5?	WEGENSTEIN [3]
	$r = \frac{1117}{T^{0.665}}$	10?	
Lugano	$r = \frac{1203}{T^{0.463}}$	10?	
Biel	$r = \frac{1667}{T}$	—	—
	$\times (\sqrt[3]{T} + \sqrt{T^2+11} + \sqrt[3]{T - \sqrt{T^2+11}})$		

hebungen in guter Übereinstimmung steht, während die frühere 20jährige Kurve eher als zu hoch erachtet wurde. Im übrigen weist die Gleichung der Regenintensitäten von St. Gallen einen andern Aufbau auf als die

früher verwendeten Gleichungen. Sie entspricht bereits den von REINHOLD für Deutschland gefundenen Beziehungen.

2.3 Stadt Winterthur

Die Stadt Winterthur verwendet für das engere Stadtgebiet eine Potenzformel älteren Aufbaus. Für die Vororte hingegen wird eine Regenintensitätskurve angewendet, die der von Prof. REINHOLD angegebenen Beziehung entspricht.

2.4 Weitere Veröffentlichungen

Im Rahmen der Vorträge des «Einführungskurses zur Behandlung der wichtigsten Fragen der Gewässerverunreinigung und Abwasserreinigung (Herbst 1936)» hat Dipl.-Ing. M. WEGENSTEIN, Zürich [3], verschiedene Regenintensitätskurven veröffentlicht, die jedoch nicht nach einem einheitlichen Verfahren ausgewertet worden sind. Auch fehlen Angaben der Häufigkeiten der Ereignisse, so dass ein Vergleich der Regenintensitätskurven untereinander unstatthaft ist. Auch diese Veröffentlichung zeigt, dass es wünschbar ist, eine einheitliche Grundlage für die Ermittlung der Regenintensitätskurven für die ganze Schweiz zu schaffen.

3. Vorhandenes Beobachtungsmaterial

3.1 Vorhandene Schreibregelmesser

Für die Auswertung der Regenmeßstreifen kommen nur Meßstellen in Frage mit einem Beobachtungszeitraum von etwa 10 Jahren und darüber. Aus diesem Grunde scheiden mehrere Regenmeßstationen für die Auswertung zum vornherein aus. Da in verschiedenen grenznahen Gebieten keine brauchbaren Registrierungen vorliegen, wurden auch benachbarte ausländische Stationen (Bregenz und Como) bearbeitet. Soweit möglich, wurden 30jährige Beobachtungsperioden ausgewertet, und zwar im Zeitraum von ca. 1928–1957, um die gleichen Jahrzehnte für alle Messstationen zu erfassen und um unabhängig von eventuellen Änderungen in den Witterungsverhältnissen im Verlaufe grösserer Zeiträume zu sein. Dies bedingte auch eine teilweise Neubearbeitung der Regenmeßstreifen von Zürich, deren Auswertung für die Jahre 1927–1956 erfolgte. Die Auswertergebnisse von A. KROPF der Jahre 1927–1941 wurden beibehalten, jedoch die Intensitäten der Jahre 1942–1956 zusätzlich berücksichtigt. Damit ergibt sich eine gewisse Abweichung der Regenintensitäten gegenüber der früheren Veröffentlichung (siehe Bemerkung im Abschnitt 2.1).

Die bestehende Auswertung der Regenmeßstreifen von St. Gallen [2] wurde ebenfalls statistisch neu bearbeitet. Auch hier treten geringe Abweichungen gegenüber der Erstpublikation auf. Diese neuen Regenintensitäten können unmittelbar mit denjenigen der übrigen Städte verglichen werden.

Eine Zusammenstellung der Schreibregenschreiber findet sich in der unter Abschnitt 3.2 aufgeführten Tabelle 1 sowie in der Abb. 1.

3.2 Vorhandene Regenstreifen

Über die uns zugegangenen und ausgewerteten Regenstreifen gibt ebenfalls die Tabelle 1 Auskunft. Die Regenstreifen waren Tagesstreifen mit 10-Minuten-Teilung auf der Abszissenachse und 10 mm Regenhöhe auf der Ordinate (1 Std. = 1,6 cm; 1 mm Regenhöhe = 0,8 cm). Streifen mit unzuverlässiger Teilung, die in gewissen Jahren in Bregenz verwendet wurden, sind bei der Auswertung nicht berücksichtigt worden. Einzige Station Uster verwendete Tagesstreifen mit 20-Minuten-Teilung (1 Std. = 1,08 cm) und 40 mm Regenhöhe (1 mm Regenhöhe = 0,5 cm).

Die Aufzeichnungen auf den einzelnen Streifen waren von unterschiedlicher Qualität. Abgesehen von Unterbrüchen infolge Reparaturen, Lücken in der Registrierung, Fehlanzeigen infolge mangelhaften Funktionierens der Gefässentleerung oder Versagen der Schreibvorrichtung waren die Streifen, die während mehreren Tagen verwendet wurden, oft zu wenig deutlich und eindeutig angeschrieben. Die Verwendung des nämlichen Tagesstreifens für die Aufzeichnung mehrerer Tage hat zwar den Vorteil, dass das Aktenmaterial und die Kosten für die Streifen sich wesentlich reduzieren. Dies setzt jedoch eine deutliche Beschriftung der Streifen voraus sowie die Auffüllung des Schwimmergefäßes entsprechend etwa 1 mm Regenhöhe bei der unumgänglichen täglichen Kontrolle des Registrierapparates an Tagen ohne Regenfall. Ein Beispiel von Regenregistrierungen zeigt Abb. 2.

4. Das Auswerteverfahren

4.1 Verfahren von Reinhold

4.1.1 Der Begriff der Regenintensität

Die Regenintensität kann entweder als Regenstärke i in Millimetern pro Minute oder als Regenspende r in Litern pro Sekunde und Hektare

Tabelle 1
Liste der Schreibregennmesser

Nr.	Ort	Eigentümer (Standort)	Brauchbare Streifen vorhanden von bis	Ausgewertet durch	Ausgewertete Streifen der Jahre	Anzahl ausgewertete Jahre (s)	Ausgewertete Regenfälle (p _s)
1	Altdorf UR	MZA (Eidg. Arneemagazin)	1957	—	—	—	—
2	Basel	Astronom.-Meteorolog. Anstalt der Universität Basel	+	E. Holinger, Liestal; EAWAG	1925–1954	30	576
3	Bern	Meteorolog. Observ. d. Univ. Bern	+	EAWAG	1928–1957	30	710
4	Davos GR	Physikal.-Meteorolog. Observat.	1930	EAWAG	1930–1959	30	526
5	Genève	Observatoire	1957	—	—	—	—
6	Lausanne VD	Observatoire météorologique	+	EAWAG	1935–1957	23	545
7	Locarno-Monti TI	Osservatorio Ticinese	1935	A. Rima, Locarno	1935–1958	24	872
8	Luzern	Tiefbauamt der Stadt	1959	—	—	—	—
9	Neuchâtel	Observatoire cantonal	+	EAWAG	1950–1959	10	234
10	Pratteln BL	Gemeinde Pratteln	1950	EAWAG	1949–1959	11	298
11	Rheineck SG	Fa. Züllig, Rheineck	1949	EAWAG	—	—	—
12	Rorschach SG	Gemeinde Rorschach	1954	EAWAG	1954–1960 ¹⁾	6	100
13	St. Gallen	Tiefbauamt der Stadt St. Gallen	+	A. Hörler, Zürich;	1924–1953 ²⁾	25	599
14	Schaffhausen	Tiefbauamt der Stadt	1924	EAWAG	1925–1958 ³⁾	30	769
15	Sion VS	MZA (Kapuziner-Kloster)	+	EAWAG	1952–1960	9	206
16	Thun BE	Tiefbauamt	1952	EAWAG	1940–1959	20	445
17	Uster ZH	Bauverwaltung	1940	EAWAG	1941–1960	20	392
18	Zürich	Meteorologische Zentralanstalt	+	A. Kropf, Zürich;	1927–1956 ⁴⁾	30	(394)
19	Bregenz (A)	Landeswasserbauamt Vorarlberg	(1913)	EAWAG	1933–1938 ⁵⁾	15	537
20	Como (I)	Ufficio idrografico del Po	1930	A. Rima, Locarno	1949–1957 1930–1959 ⁶⁾	29	980

In der Kolonne *Brauchbare Streifen vorhanden bis* bedeutet das Zeichen +, dass der Apparat heute noch in Betrieb steht.

1) Rorschach: 1959 nicht ausgewertet.

2) St. Gallen: Von den ursprünglich ausgewerteten 30 Beobachtungsjahren mussten als unvollständig ausgeschieden werden 1931, 1938, 1947, 1948, 1949 und 1953; dazu noch 1955 ausgewertet.

3) Schaffhausen: 1927, 1941, 1951 und 1952 nicht ausgewertet.

4) Zürich: Neu durch EAWAG 1942–1956 (15 Beobachtungsjahre) ausgewertet. Die 394 Fälle beziehen sich nur auf diese 15 Jahre. 1927–1941 übernommen von A. Kropf.

5) Bregenz: Registrierungen 1913–1920 mit Unterbrechungen, sowie ab 1933.

6) Como: 1945 nicht ausgewertet.

Abbildung 1
Regenmeßstationen mit Schreibregennussern (Karte).

Abbildung 2
Beispiele von Regenregistrierungen.

angegeben werden. Beide Werte besagen das gleiche; es handelt sich dabei nur um einen Wechsel der Masseneinheiten.

Die Regenstärke i wird definiert als $i = \Delta N / \Delta T$ mm/min, das heisst, man bildet den Quotienten aus der in einem bestimmten Zeitabschnitt gefallenen Niederschlagshöhe in Millimetern (ΔN) und dem Betrag desselben Zeitabschnittes in Minuten (ΔT).

Aus $1 \text{ mm/min} = 10000 \text{ l/min ha} = 166,7 \text{ l/s ha}$ folgt die Regenspende r (in der Schweiz meist mit dem Oberbegriff «Regenintensität» bezeichnet) als

$$r = 166,7 \cdot \frac{\Delta N}{\Delta T} \text{ l/s ha,}$$

wobei ΔN = Regenhöhe eines Regenabschnittes in Millimetern,

ΔT = Regendauer dieses Abschnittes in Minuten.

(In der Folge werden die Zeichen Δ der Einfachheit halber weggelassen).

Die jährliche Häufigkeit n gibt an, wie oft innert eines Jahres eine bestimmte Regenintensität erreicht oder überschritten wird. Andererseits gibt die Zahl z die durchschnittliche Anzahl Jahre an, innert welcher der Intensitätswert einmal erreicht oder überschritten wird. Es gilt die Beziehung $n \cdot z = 1$.

4.12 Gesichtspunkte für die Auswertung

REINHOLD hat seine grundlegenden Auswerteverfahren von Schreibregensmesseraufzeichnungen in mehreren Publikationen veröffentlicht [4, 5].

Zur Auswertung kommen nicht sämtliche registrierten Regenfälle, sondern nur jene, die als «beachtliche Starkregen» bezeichnet werden. Die

untere Grenze für diese beachtlichen Starkregen wurde von REINHOLD wie folgt festgelegt:

Regenhöhe = 1 mm für eine Regendauer $T \leq 10$ min,

Regenstärke = 0,1 mm/min für eine Regendauer $10 < T < 60$ min,

Regenhöhe = 6 mm für eine Regendauer $60 \leq T \leq 360$ min,

Regenstärke = 1 mm/h für einen Dauerregen von $T > 360$ min,

Regen von weniger als 1 Minute Dauer wurden grundsätzlich nicht berücksichtigt.

Jeder Regenfall, der die obenerwähnten Grenzen überschreitet, wurde tabellarisch aufgetragen, und zwar in Regendauerstufen unterteilt. Für den Teilregen von zum Beispiel 5 Minuten Dauer gilt es, innerhalb eines Regenfalles die maximale Regenhöhe für diesen Zeitabschnitt herauszulesen, ebenso für die Zeitabschnitte von 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 und 360 Minuten Regendauer. Werden sämtliche beachtlichen Starkregen so ausgewertet und tabellarisch zusammengestellt, so können daraus die Werte jeder Regendauerstufe mit der höchsten, der zweithöchsten, der dritthöchsten usw. Regenintensität herausgelesen und entsprechend die Häufigkeit des Regens ermittelt werden. REINHOLD gibt neben dem tabellarischen Verfahren auch ein graphisches Auswerteverfahren an, wobei jeder einzelne beachtliche Starkregen in seinen einzelnen Phasen entsprechend den Regendauerstufen in einem logarithmischen Netz aufgetragen wird. Dadurch erhält man die Regenintensitätskurven der Einzelregen. Es ist jedoch aus dem von REINHOLD angeführten Beispiel ersichtlich, dass sich dieses Verfahren für die Praxis offenbar nur schlecht eignet, da bereits bei wenig Beobachtungsjahren ein Liniengewirr entsteht, dessen Weiterverarbeitung mühsam ist.

4.2 Kritik am Verfahren von Reinhold

REINHOLD hat die einzelnen Regenfälle nur so weit ausgewertet, als beachtliche Regenintensitäten festgestellt werden konnten. So ergeben sich vereinzelte Regenfälle, die nur in den ersten Regendauerstufen aufgeführt sind, hingegen in den Kolonnen mit grösserer Regendauer nicht mehr in Erscheinung treten. Das Auswertematerial ist somit nicht homogen auf die einzelnen Regendauerstufen verteilt. Besonders auffallend ist dies bei der graphischen Auswertung, wo einzelne Regenfälle plötzlich abbrechen. Es kann somit vorkommen, dass ein extremer Starkregen von zum Beispiel 14 Minuten Regendauer für die 15. Minute nicht mehr berücksichtigt wird. Dabei hätte dieser Regen, wenn seine Regenhöhe

durch 15 Minuten (und die folgenden Regendauerstufen) dividiert worden wäre, beachtliche Regenstärken ergeben, die für die Wahl der Häufigkeit hätten berücksichtigt werden sollen. Wir sind der Auffassung, dass mit dem Abklingen des Regens die anschliessenden geringen, mitunter gegen Null verlaufenden Regenintensitäten für die ganze Beobachtungsdauer mit zu berücksichtigen sind. Dadurch erhält man ein lückenloses Beobachtungsmaterial, das sich auch für die Auswertung zu statistischen Zwecken eignet. [6], [7] (siehe zum Beispiel in Tabelle 2, Regen Nr. 1).

Auf die Schwierigkeit in der praktischen Anwendung der graphischen Aufzeichnung der Regenintensitäten der einzelnen Regenfälle wurde bereits hingewiesen. Es fragt sich zudem bei diesem Verfahren, ob es statthaft ist, im logarithmischen Netz geradlinig zu interpolieren und den so erhaltenen Polygonzug demjenigen der Regenmeßstreifen gleichzusetzen.

Durch die vorgehenden Bemerkungen soll der Wert der Reinholdschen Arbeit in keiner Weise geschmälert werden. Es wurde deshalb auch von uns grundsätzlich nach dem Verfahren von REINHOLD ausgewertet, unter Anwendung nachfolgend aufgeführter Abweichungen.

4.3 Beschränkung der Auswertarbeit unter Berücksichtigung der speziellen Bedürfnisse der Kanalisationstechnik

Bei der Auswertung der Regenstreifen der Schweiz wurde versucht, gegenüber den Vorschlägen von REINHOLD zeitliche Einsparungen in der Auswertarbeit zu erzielen, um das gesteckte Ziel innert nützlicher Frist erreichen zu können. Da es uns vor allem darauf ankam, Unterlagen für kanalisationstechnische Zwecke zu erhalten, konnte die Auswertarbeit ohne Qualitätseinbusse durch folgende Massnahmen eingeschränkt werden.

4.31 Untere Auswertegrenze der Regen

Anstelle der von REINHOLD vorgeschlagenen Abstufungen der untern Auswertegrenze wurden in der Regel nur Regen untersucht, die – wenn auch nur für kurze Zeit – Intensitäten von 0,2 mm pro Minute und darüber aufwiesen. Als einzige Ausnahme wurde für die Auswertung der Streifen von Sitten diese untere Grenze auf 0,1 mm/min festgesetzt. Wurde ein Regen als würdig für die Auswertung befunden, so wurde er für sämtliche Regendauerstufen ausgewertet. Somit sind von solchen Regenfällen auch diejenigen Regenteile beachtet worden, die geringere Intensitäten als 0,2 mm pro Minute aufwiesen.

4.32 Regendauerstufen

Die einzelnen Zeitabschnitte der zu untersuchenden Regendauerstufen wurden starr gewählt, ganz unabhängig davon, wie der Verlauf der registrierten Summenkurve der Regenhöhen sich gestaltete. Zudem wurde Wert darauf gelegt, gleiche Zeitintervalle zu berücksichtigen, und zwar Regendauerwerte von 10, 20, 30, 40, 50 und 60 Minuten. Zusätzlich sind die Regenintensitäten von 5 und 15 Minuten Regendauer ausgewertet worden (nicht aber für Uster, als Folge der Blatteilung). Für die Auswertung der Meßstreifen von Como ergab sich wegen der dort vorliegenden Wochenregistrierungen eine andere Wahl der Regendauerstufen. Es wurden ausgewertet Regen von 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 und 60 Minuten Dauer. Regen von über 60 Minuten Dauer blieben bewusst unberücksichtigt. Da die Laufzeit in den Kanalisationen vom obersten Ende eines Kanalisationsstranges bis zum nächsten Regenauslass oder bis zur Kläranlage, selbst bei den grossen Schweizer Städten, kaum 30 Minuten überschreiten wird, erwies sich die Auswertung von Regen über 60 Minuten Dauer als nicht notwendig. Da die Meßstreifen von St. Gallen nicht mehr neu ausgewertet wurden (siehe auch Abschnitt 3.1), sind für diese Station nur die bereits vorhandenen Daten der Regendauerstufen von 10, 20, 30 und 60 Minuten bearbeitet worden.

4.33 Tabellarische Auswertungen

Bevorzugt wurde die tabellarische Auswertung der Regenstreifen. Da sich die zeichnerische Auswertung als zeitraubender und für die weitere statistische Auswertung als wenig zweckmässig erwies, ist bewusst darauf verzichtet worden. Nur die Resultate der tabellarischen Auswertungen wurden zur Veranschaulichung in sogenannten Staffeldiagrammen (Histogramme), Abb. 3, graphisch dargestellt. Für die Auswertung gelangte Tabelle 2 zur Anwendung.

4.4 Gang der statistischen Auswertung

Bei den den Verfassern aus der Literatur bekannten Auswertungen der Regenstreifen wurde so vorgegangen, dass für alle Regendauerstufen die Intensitätswerte mit der gleichen Häufigkeit herausgesucht wurden, um vorerst die Abhängigkeit der Intensität von der Regendauer zu bestimmen. Hierbei stellte man für jede gewählte Häufigkeit eine spezielle Gleichung für die Intensität als Funktion der Regendauer in der Weise

Abbildung 3

Abbildung 3
Ausgewählte Staffeldiagramme (Histogramme) für Bern.

Tabelle 2
Regenmeßstation: Bern

Jahr: 1957, Auswertegrenze: 0,2 mm/min, Blatt Nr. 1

Nr.	Datum	5 min			10 min			15 min			20 min		
		Zeit (Beginn)	ΔN mm	i mm/min	Zeit (Beginn)	ΔN mm	i mm/min	Zeit (Beginn)	ΔN mm	i mm/min	Zeit (Beginn)	ΔN mm	i mm/min
1	12. 5.	16.25	6,1	1,22	16.25	8,4	0,84	16.25	8,5	0,57	16.25	8,6	0,43
2	16. 5.	06.25	3,6	0,72	06.20	4,8	0,48	06.20	5,2	0,35	06.20	5,6	0,28
3	30. 5.	16.30	5,2	1,04	16.25	9,6	0,96	16.25	11,9	0,79	16.25	13,2	0,66
4	21. 6.	19.08	5,6	1,12	19.03	9,2	0,92	18.58	13,7	0,91	18.58	17,4	0,87
5	21./22.6.	00.00	1,3	0,26	00.00	2,1	0,21	23.55	2,3	0,15	23.50	2,6	0,13
6	23. 6.	03.05	1,6	0,32	03.05	1,9	0,19	03.05	2,3	0,15	03.05	2,6	0,13
7	24. 6.	11.38	4,0	0,80	11.38	4,8	0,48	11.38	5,3	0,35	11.38	5,8	0,29
8	8. 7.	17.48	1,8	0,36	17.48	3,4	0,34	17.43	4,6	0,31	17.43	5,2	0,26
9	8./9. 7.	00.05	3,0	0,60	00.00	4,8	0,48	00.00	6,4	0,43	23.55	7,2	0,36

Nr.	Datum	30 min			40 min			50 min			60 min		
		Zeit (Beginn)	ΔN mm	i mm/min	Zeit (Beginn)	ΔN mm	i mm/min	Zeit (Beginn)	ΔN mm	i mm/min	Zeit (Beginn)	ΔN mm	i mm/min
1	12. 5.	16.25	8,6	0,29	16.25	8,6	0,21	16.25	8,6	0,17	16.25	8,6	0,14
2	16. 5.	06.20	7,8	0,26	06.20	8,3	0,21	06.20	8,8	0,18	06.10	9,3	0,16
3	30. 5.	16.25	13,9	0,46	16.25	14,6	0,36	16.25	15,0	0,30	16.25	15,3	0,26
4	21. 6.	18.48	18,9	0,63	18.38	20,4	0,51	18.28	21,9	0,44	18.18	23,5	0,39
5	21./22.6.	23.40	3,0	0,10	23.40	3,3	0,08	23.40	3,6	0,07	23.40	4,2	0,07
6	23. 6.	03.05	2,7	0,09	02.55	2,7	0,07	02.55	2,7	0,06	02.55	2,7	0,05
7	24. 6.	11.38	6,2	0,21	11.38	6,4	0,16	11.38	6,8	0,14	11.38	7,1	0,12
8	8. 7.	17.43	5,4	0,18	17.43	5,5	0,14	17.43	5,9	0,12	17.43	6,7	0,11
9	8./9. 7.	23.45	7,6	0,25	23.45	7,7	0,19	23.45	7,7	0,15	23.45	7,7	0,13

Die Regen Nr. 4 und 5 sind in Abb. 2 dargestellt, wie sie auf den Pluviogrammen aufgezeichnet waren.

auf, dass sie sich möglichst den ermittelten Intensitätswerten anglich. Dabei wurden die Werte ebenfalls in einem Staffeldiagramm (Histogramm), und zwar für jede Regendauerstufe, getrennt, aufgetragen und durch Abzählen vom grössten ermittelten Wert aus nach rückwärts die Werte gleicher Häufigkeit ermittelt. – Wenn man mit m den Rang des Intensitätswertes bezeichnet, also $m = 1$ für den grössten Wert, $m = 2$ für den zweitgrössten usw., bestimmt sich die jährliche Häufigkeit zu $n = m/S$, wenn S die Dauer der Beobachtungsperiode in Jahren angibt. Bei einer

30jährigen Beobachtungsperiode wurde zum Beispiel der drittgrösste Wert ($m = 3$) herausgegriffen und dieser somit mit der Häufigkeit $n = 1/10$, bzw. $z = 10$ bezeichnet. Der dreissigste Wert ($m = 30$) liefert dann den sog. einjährigen Regen, da $n = z = 1$. Es stellt sich nun die Frage, ob wirklich bei allen Regendauerstufen diese Werte auch die bezeichneten Häufigkeiten aufweisen. Da im Bereich der extremen Starkregenfälle nur wenig Messwerte vorhanden sind, so sind auch die zu erwartenden Streuungen offensichtlich sehr gross. Es scheint darum kaum gerechtfertigt, solche durch Abzählen gewonnene Werte als Regenintensitäten mit einer bestimmten Häufigkeit zu bezeichnen, da es sich dabei um zufällige Werte handelt, die stark von der gewählten Auswerteperiode abhängen.

Es wurde deshalb versucht, einen anderen Weg einzuschlagen, also nicht direkt die rohen Auswertedaten durch eine Gleichung darzustellen, sondern zuerst das wahrscheinlichkeitstheoretische Gesetz zu ermitteln, welches dem zufälligen Eintreffen der Starkregenfälle zugrunde liegt. Auf diese Weise wurden alle durch die Auswertung der Registrierstreifen gewonnenen Daten, nicht nur die extremsten Werte, für die Ermittlung der Beziehung zwischen Regenintensität, Regendauer und Häufigkeit erfasst. Damit kann dem einen Hauptgesetz der mathematischen Statistik, dem Gesetz der grossen Zahl, Rechnung getragen werden¹⁾. Dadurch werden wahrscheinlichere Werte für die Regenintensitäten bestimmter Häufigkeit erhalten. Auch ist dann eine Extrapolation in gewissen Grenzen eher zulässig. Auch in der amerikanischen Fachliteratur wird eine solche Behandlung dieses und ähnlicher Probleme empfohlen [8].

Betrachtet man die Staffeldiagramme (Abb. 3), so fällt auf, dass die Anzahlen der Regenfälle, nach Intensitätsstufen geordnet, nicht irgendwelche Werte annehmen, sondern dass sie offensichtlich gesetzmässig über den Intensitätsbereich verteilt sind. Ebenso sieht man sofort, dass es sich um eine schiefe Häufigkeitsverteilung handelt. Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangte auch JOHANNSEN [9] bei der Aufstellung von Dauerkurven der Regenintensitäten. Gesetze, die eine schiefe Häufigkeitsverteilung bestimmen, gibt es mehrere. Es galt deshalb durch Versuche herauszufinden, welches Gesetz in unserm Fall die tatsächliche Verteilung am besten wiedergibt. Als die zuerst versuchte Poissonsche

¹⁾ Dieses Gesetz besagt, dass die gemessene Häufigkeit eines Ereignisses mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit des Eintreffens sich erst um beliebig wenig von dieser Wahrscheinlichkeit unterscheidet, wenn die Anzahl der beobachteten Fälle genügend gross wird.

Verteilung als nicht zutreffend erkannt werden musste, blieb unter anderem die Möglichkeit, durch geeignete Transformation der normalen Gaußschen Häufigkeitsverteilung das Ziel zu erreichen. Die Transformation wird so vorgenommen, indem nicht die Grösse selbst – in unserm Falle die Regenintensität – normal verteilt ist, sondern eine Funktion dieser Grösse. Die Frage ist nur, welche Funktion im Falle der Regenintensitäten zweckmässig ist. Bei der Genauigkeit des vorliegenden Rohmaterials genügt eine Verteilungsfunktion, die durch zwei statistische Parameter bestimmt ist, vollauf [6], [10]; ebenfalls reicht es aus, wenn diese Parameter auf graphischem Wege ermittelt werden (vgl. auch Abschnitt 4.6). Diese zwei Parameter sind bei der Normalverteilung schon als Mittelwert (bzw. Zentralwert) und Streuung gegeben. Die Transformation soll also keine weiteren Parameter mehr liefern. Andererseits sind die Regenintensitäten nach unten begrenzt, sie können auf keinen Fall negativ werden. Nach oben besteht keine logische Grenze. Man kann sich denken, dass jeder einmal erreichte Wert noch überschritten werden kann. Bei der Normalverteilung hingegen kann die Variable Werte von minus Unendlich bis plus Unendlich durchlaufen. Die Transformation soll also die Regenintensität i , die von Null bis plus Unendlich variieren kann, in eine Grösse umwandeln, die von $-\infty$ bis $+\infty$ läuft; ausserdem soll kein unbekannter Parameter darin enthalten sein. Es ist naheliegend, als Grösse, die normal verteilt werden soll, den Logarithmus der Regenintensität zu nehmen. Diese Transformation wird übrigens auch für andere Probleme häufig angewendet, so dass die erhaltene schiefe Verteilung als «logarithmische Normalverteilung» bezeichnet und in den Lehrbüchern der mathematischen Statistik [11], [12], [13] beschrieben wird. Im Handel sind auch entsprechende Spezialpapiere (Wahrscheinlichkeitsnetz) erhältlich. (AERNI-LEUCH, Nr. 563 von uns verwendet).

Nachdem das Prinzip gezeigt wurde, wie das umfangreiche Material, der Regenstreifen-Auswertung zweckmässig statistisch zu verarbeiten ist, bleibt noch zu erläutern, wie damit praktisch vorgegangen werden kann. Das Ziel ist ja, einen formelmässigen Zusammenhang zwischen den Regenintensitäten und der Regendauer einerseits sowie der jährlichen Häufigkeit andererseits herzuleiten. Zuerst bildet man Intensitätsstufen mit Intervallen von $\Delta i = 0,1$ mm/min, also Stufen von 0,01–0,10; 0,11–0,20; 0,21–0,30 mm/min; etc. Für jede dieser Stufen wird die Anzahl der in der Beobachtungsperiode aufgetretenen Fälle bestimmt. (Tabellen 3, Kolonne n_j). Hernach berechnet man für jede Stufe die Summen-

häufigkeit P_i in ‰. Die Summenhäufigkeit ist diejenige Häufigkeit, mit der in der beobachteten Zeitspanne die Intensität einen bestimmten Betrag i überschreitet. Man hat also den Quotienten aus der Summe aller Fälle grösser als der Betrag i ($= p_i$) und die Gesamtsumme aller beobachteten Fälle ($= p_s$) zu bilden.

$$p_i = \sum_1^{\infty} n_j, \quad p_s = \sum_0^{\infty} n_j \rightarrow P_i \% = \frac{p_i}{p_s} \cdot 100 \%.$$

Die Werte von p_i und P_i ‰ sind ebenfalls in den Tabellen 3 enthalten. Aus der Definition der «logarithmischen Normalverteilung» ergibt sich:

$$P_i = \Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-(1/2)x^2} dx, \quad u = \frac{\ln i - \ln \xi}{\sigma}.$$

$$u = \Psi(P_i)^1).$$

Durch Auflösen nach i folgt:

$$\frac{\ln i - \ln \xi}{\sigma} = \Psi(P_i) \rightarrow \ln i = \sigma \cdot \Psi(P_i) + \ln \xi, \quad (\text{Gl. 1})$$

$$i = \xi \cdot e^{\sigma \cdot \Psi(P_i)}. \quad (\text{Gl. 2})$$

Im folgenden wird diese Gleichung näher erläutert. Vorerst soll der Zusammenhang zwischen der Summenhäufigkeit und der jährlichen Häufigkeit n , bzw. ihrem reziproken Wert z , aufgezeigt werden. Man betrachte einen Zeitraum von S Jahren. Soll ein bestimmter Intensitätswert durchschnittlich alle Jahre einmal eintreffen, so müssen in diesem Beobachtungszeitraum S solche Fälle eintreffen. Soll allgemein der Intensitätswert mit einem durchschnittlichen Intervall von z Jahren eintreffen, so können wir erwarten, dass er im Beobachtungszeitraum sovielmal eintritt, als das Intervall z Jahre im Beobachtungszeitraum S Jahre enthalten ist, also $p_i = S/z$, somit

$$P_i = \frac{p_i}{p_s} = \frac{\lambda}{z}, \quad \lambda = \frac{S}{p_s},$$

$\frac{1}{\lambda} = \frac{p_s}{S}$ = durchschnittliche Anzahl Regenfälle, die pro Beobachtungsjahr untersucht wurden.

Die beiden Werte σ und ξ als statistische Parameter sind nun noch von der Regendauer abhängig, da die Verteilung ja für jede Regendauer-

¹⁾ Eine Tabelle der Funktion $\Psi(P)$ ist in [13] enthalten. Für den hier geforderten Zweck ist jene aber zuwenig genau. Es wurde deshalb von uns eine Tafel aufgestellt (siehe Anhang), die den Bedürfnissen angepasst ist. Die Berechnung erfolgte mit Hilfe der Probit-Tabellen in [12] und [14].

stufe getrennt untersucht werden muss. Es hat sich aber gezeigt, dass der Wert σ für eine bestimmte Station für jede Regendauer als gleichbleibend vorausgesetzt werden darf. Diese Konstanz des Wertes σ ist nun nicht irgendeine gesuchte Hypothese, sondern liegt in der Natur der Auswertung begründet. Es werden ja für alle Regendauerstufen die gleichen Regenfälle untersucht. Das Grundereignis ist der Regen von 60 Minuten Dauer, alle andern Regendauerstufen sind nach der Definition der Auswertung in diesen 60 Minuten enthalten (Einzig Sion bestätigte diese Annahme nicht, dort variiert auch der σ -Wert mit der Regendauer. Weiteres siehe Abschnitt 5.2.).

Es ist also nur noch der Zentralwert ξ (50%-Wert) in Abhängigkeit von der Regendauer variabel. Der Zusammenhang wurde empirisch durch Korrelation gefunden. Beim Auftragen der Reziprokwerte $1/\xi$ in Funktion der Regendauer T stellte sich heraus, dass diese Werte praktisch auf einer Geraden liegen. Es ergibt sich deshalb für die Funktion von ξ folgende Form:

$$\frac{1}{\xi} = aT + b \rightarrow \xi = \frac{1}{aT + b} = \frac{A}{T + B}, \quad \text{wenn } A = \frac{1}{a}, \quad B = \frac{b}{a}.$$

Diese gefundenen Beziehungen in Gl. 2 eingesetzt, ergeben die *Grundgleichung* für die Regenintensität:

$$i(T, z) = \frac{A}{T + B} \cdot e^{\sigma \cdot \Psi(\lambda/z)}. \quad (\text{Gl. 3})$$

Wir erhalten eine relativ einfache Form der Gleichung, da sich die Regenintensität, die eine Funktion der beiden Variablen Regendauer T und jährliche Häufigkeit n bzw. z ist, als Produkt von zwei Funktionen mit nur je einer Variablen schreiben lässt. Diese Form ist allerdings für den Gebrauch in der Praxis noch nicht geeignet. Die Grundgleichung soll deshalb noch entsprechend umgeformt werden, wie im 6. Kapitel erläutert wird.

4.5 Gang der Auswertung am Beispiel der Stadt Bern

Um die Ausführungen des vorstehenden Abschnittes besser verständlich zu machen, soll der Gang der statistischen Auswertung am Beispiel einer Regenmeßstation ausführlicher gezeigt werden. Wir verwenden dabei die Werte der Station in Bern. Gewisse Wiederholungen von Ausführungen, die in Abschnitt 4.4 enthalten sind, lassen sich nicht vermeiden.

Zuerst ermitteln wir die Summenhäufigkeiten für alle acht Regendauerstufen, wie in 4.4 erläutert wurde (Tab. 3.2). Diese Summenhäufigkeiten werden nun in ein sog. «Wahrscheinlichkeitsnetz» eingetragen (Abb. 4). Es ist dies ein Diagrammpapier, dessen Abszisse nach dem Gaußschen Integral, die Ordinate logarithmisch geteilt ist. Werden die aufgetragenen Punkte gleicher Regendauer miteinander verbunden, so zeigt sich, dass sie angenähert auf einer Geraden liegen, um erst bei den selteneren Werten stärker zu streuen. Auf diese Weise ist es möglich, wenigstens im Bereich, der uns interessiert, den wahrscheinlichsten Verlauf der Summenhäufigkeitslinien zu finden und damit die Parameter der Verteilungsfunktionen zu bestimmen. Zeichnet man alle 8 Summenhäufigkeitslinien (für 5–60 Minuten Regendauer) in das gleiche Netz ein, so ergibt sich, dass die Linienzüge unter sich parallel sind. Es wird sich weiter unten zeigen, dass damit auch unsere Voraussetzung von der Konstanz des σ -Wertes erfüllt ist. Wir stellen die Summenhäufigkeitslinien als Geraden dar mit der Gleichung

$$y = kx + t, \quad (\text{Gl. 4})$$

wobei k die Steigung der parallelen Geraden bedeutet (für alle Summenhäufigkeitslinien gleich gross, das heisst von der Regendauer unabhängig) und t den Abschnitt auf der Ordinate, der von der Regendauer T abhängt. Nach Anlage des Koordinatennetzes ist

$$y = \alpha \ln i, \quad x = \beta \cdot \Psi(P_i),$$

wobei α und β die Einheiten auf Ordinaten- und Abszissenachse sind. Man setze ausserdem $t = \alpha \ln \xi$.

Mit Gl. 4 ergibt sich:

$$\begin{aligned} \alpha \ln i &= k \beta \Psi(P_i) + \alpha \ln \xi, \\ \ln i &= k \frac{\beta}{\alpha} \Psi(P_i) + \ln \xi. \end{aligned} \quad (\text{Gl. 5})$$

Vergleichen wir Gl. 5 mit Gl. 1, folgt:

$\sigma = k \beta / \alpha$; β / α = Maßstabfaktor, der aus dem Diagramm bestimmt werden kann. In unserem Fall ist $\beta / \alpha = -0,896$,
 $k = \operatorname{tg} \alpha$, kann der Zeichnung entnommen werden. Wir erhalten: $k = 0,82$.
 Damit ist der Parameter σ zahlenmässig bestimmt zu $\sigma = 0,82 \cdot (-0,896) = -0,735$.

Als nächster Schritt werden die vorerst geschätzten Zentralwerte untersucht. Wie schon im vorhergehenden Abschnitt bemerkt, werden die reziproken Zahlen der Zentralwerte als Ordinate und die Regendauer als Abszisse aufgetragen (Abb. 5).

Abbildung 4
Summenhäufigkeitsdiagramm.

Wir erhalten eine Gerade mit der Gleichung

$$y = ax + b, \quad \text{wobei } y = \frac{1}{\xi} \gamma \quad \text{und} \quad x = T\delta. \quad (\text{Gl. 6})$$

Die Größen γ und δ sind die Einheiten auf den Koordinatenachsen. (Maßstabfaktor $\delta/\gamma = 0,2$) $a = \operatorname{tg} \vartheta = 0,744$ – kann aus der Zeichnung entnommen werden. Ebenso bestimmt man b und erhält 1,785. Wie schon früher gezeigt, führt dies zu einer Gleichung von der Form

$$\xi = \frac{A}{T+B}, \quad (\text{Gl. 7})$$

wobei, mit Berücksichtigung der Maßstäbe auf den Koordinatenachsen,

Abbildung 5
Zusammenhang zwischen Zentralwert und Regendauer.

$$A = \frac{1}{a \delta / \gamma} = \frac{1}{0,744 \cdot 0,2} = 6,72,$$

$$B = \frac{b}{a \delta / \gamma} = \frac{1,785}{0,744 \cdot 0,2} = 12,0.$$

Damit sind alle gesuchten Konstanten in der Grundgleichung Gl. 3 bis auf λ gefunden. Wir hatten früher abgeleitet, dass $\lambda = S/p_s$ ist. Die Beobachtungsdauer S betrug 30 Jahre, insgesamt wurden 710 Regenfälle untersucht. Das ergibt für $\lambda = 30/710 = 0,042$. Wir können nun die Grundgleichung für die Regenintensität, wie sie die Regenmeßstation in Bern ergeben hat, anschreiben:

$$i(T, z) = \frac{6,72}{T+12} \cdot e^{-0,735 \cdot \Psi(0,042/z)}. \quad (\text{Gl. 8})$$

Daraus lassen sich Regenintensitäten mit beliebiger Regendauer (sofern $5 < T < 60$ min) und beliebiger Häufigkeit bestimmen.

Als Beispiel rechnen wir die Intensität eines Regens, der 15 Minuten dauert und durchschnittlich jedes Jahr einmal erreicht oder überschritten wird, das heisst, die sogenannte Grundzahl G . Wir setzen in die Gleichung $T = 15$ min und $z = 1$ Jahr ein:

$$i(15, 1) = \frac{6,72}{15+12} e^{-0,735 \cdot \Psi(0,042)}.$$

Den Funktionswert von Ψ entnehmen wir der Tabelle im Anhang zu

$$\Psi(0,042) = -1,728, \quad i(15, 1) = \frac{6,72}{27} e^{1,270} = 0,886 \text{ mm/min}.$$

Umgerechnet in die gebräuchlichere Dimension l/s ha ergibt sich $r(15,1) = 148 \text{ l/s ha}$.

Für die andern Stationen wurde bei der Auswertung nach dem gleichen Schema vorgegangen. Die Resultate sind im nächsten Kapitel beschrieben.

4.6 Die Abweichung der theoretischen von den gemessenen Werten

Bei jeder Auswertung, in der einzelne gemessene Werte durch eine algebraische Formel dargestellt werden, stellt sich die Frage nach ihrer Genauigkeit. Es soll ein Mass angegeben werden, das die Abweichungen der durch die Formel theoretisch errechneten Werte von den tatsächlich gemessenen abzuschätzen erlaubt. Im hier vorliegenden Fall ist diese Aufgabe nicht einfach zu lösen. Im Prinzip sind ja drei aufeinanderfolgende Ausgleichungen der Messwerte erfolgt, die zudem graphisch ausgeführt wurden. Erstens suchte man im Summenhäufigkeitsdiagramm für jede Regendauerstufe eine Gerade (die sogenannte «Regressionsgerade» bei analytischer Auswertung), zweitens wurden diese Geraden durch solche mit gleicher mittlerer Steigung ersetzt und drittens wurden noch die Zentralwerte (bzw. deren Reziprokwert) durch eine Gerade ausgeglichen. Alle diese Ausgleichungen überlagern sich gegenseitig.

Ein Verfahren, die Abweichungen zu erfassen, bestünde darin, zu den in Tabelle 3 vorliegenden Summenhäufigkeiten die entsprechenden Werte für die Regenintensitäten nach der Formel zu berechnen und die Differenzen zu bestimmen. Damit würden schliesslich mittlere *absolute* Fehler der Regenintensitäten gewonnen. Zweckmässiger wäre jedoch, wenn der mittlere *relative* Fehler angegeben werden könnte. Das lässt sich dadurch erreichen, dass für feste Regenintensitätswerte die gemessenen Summenhäufigkeiten, bzw. ihre Funktionen Ψ , mit den zugehörigen theoretisch berechneten verglichen werden. Am besten ermittelt man die mittlere quadratische Abweichung s^2 nach der bekannten Formel:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{ii} (u_i - U_i)^2.$$

Es bedeutet dabei n = Anzahl der verglichenen Wertepaare u_i und U_i

$$u_i = \Psi(P_i \text{ gemessen}),$$

$$U_i = \Psi(P_i \text{ theoretisch}).$$

Nach der Definition in Abschnitt 4.4 gilt

$$U_i = \frac{1}{\sigma} (\ln i - \ln \xi),$$

wobei

$$\xi = \frac{A}{T+B}.$$

U_i lässt sich also für eine gegebene Regenintensität berechnen.

Um aus der mittleren Abweichung s der Summenhäufigkeiten, bzw. ihrer Funktionen Ψ , den mittleren relativen Fehler der Regenintensitäten zu erhalten, führe man eine Grösse i^* ein. Es ist dies die Regenintensität, die sich ergibt, wenn der Wert $u = \Psi(P_i)$ um seine mittlere Abweichung s schwankt. Man kann schreiben: Bei $i = \xi e^{\sigma \Psi(P_i)}$, wird $i^* = \xi e^{\sigma[\Psi(P_i) \pm s]}$.

Der mittlere relative Fehler f der Regenintensität ist durch folgenden Ansatz bestimmt:

$$f = \frac{i^* - i}{i} = \frac{i^*}{i} - 1.$$

Die obenstehenden Ausdrücke eingesetzt, folgt daraus

$$f = \frac{\xi \cdot e^{\sigma \cdot \Psi(P_i)} \cdot e^{\pm \sigma \cdot s}}{\xi \cdot e^{\sigma \cdot \Psi(P_i)}} - 1 = e^{\pm \sigma \cdot s} - 1.$$

Nun kann eine Näherung angewendet werden. Da immer $s \ll 1$, gilt

$$e^{\pm \sigma \cdot s} \approx 1 \pm \sigma \cdot s. \quad \text{Somit wird } \underline{f \approx \pm \sigma \cdot s}.$$

Der relative Fehler der Regenintensität lässt sich also aus den mittleren Abweichungen s der gemessenen von den theoretischen Summenhäufigkeiten für die einzelnen Intensitätsintervalle durch Multiplikation mit der Streuung σ der Verteilungsfunktion direkt berechnen.

Nachfolgend sei die numerische Berechnung anhand eines Beispiels gezeigt. Es werden die Daten der Station *Bern* für die Regendauer $T = 5$ Minuten verwendet. Die Werte für die gemessenen Summenhäufigkeiten (P_i gemessen) liegen in Tab. 3.2 vor. Die Funktionswerte Ψ entnimmt man der Tabelle im Anhang.

Die theoretischen Summenhäufigkeiten, bzw. die Werte U_i werden wie oben beschrieben berechnet, da ja σ und ξ aus der Auswertung bekannt sind ($\sigma = -0,735$; $\xi = 6,72/5+12 = 0,3953$).

i	P_i % gemessen	u_i	U_i	$\Delta^1)$	Δ^2
0,5	39,6	- 0,263	- 0,320	- 0,057	0,003 249
0,6	29,4	- 0,541	- 0,568	- 0,027	0,000 729
0,7	22,5	- 0,756	- 0,778	- 0,022	0,000 484
0,8	17,3	- 0,942	- 0,959	- 0,017	0,000 289
0,9	14,0	- 1,080	- 1,120	- 0,040	0,001 600
1,0	9,74	- 1,296	- 1,263	+ 0,033	0,001 089
1,1	7,60	- 1,433	- 1,393	+ 0,040	0,001 600
1,2	5,77	- 1,574	- 1,511	+ 0,063	0,003 969
1,3	4,80	- 1,665	- 1,620	+ 0,045	0,002 025
1,4	4,08	- 1,741	- 1,721	+ 0,020	0,000 400
1,5	3,24	- 1,846	- 1,815	+ 0,031	0,000 961
1,6	2,68	- 1,930	- 1,902	+ 0,028	0,000 784
1,7	2,54	- 1,953	- 1,985	- 0,032	0,001 024
1,8	2,26	- 2,002	- 2,063	- 0,061	0,003 721
1,9	1,83	- 2,090	- 2,136	- 0,046	0,002 116
2,0	1,41	- 2,195	- 2,206	- 0,011	0,000 121
2,1	0,99	- 2,330	- 2,272	+ 0,058	0,003 364
2,2	0,99	- 2,330	- 2,336	- 0,006	0,000 036
2,3	0,85	- 2,387	- 2,396	- 0,009	0,000 081
2,4	0,70	- 2,457	- 2,454	+ 0,003	0,000 009
2,5	0,70	- 2,457	- 2,510	- 0,053	0,002 809
2,6	0,70	- 2,457	- 2,563	- 0,106	0,011 236
2,7	0,56	- 2,536	- 2,614	- 0,078	0,006 084
2,8	0,28	- 2,770	- 2,664	+ 0,106	0,011 236
3,2	0,14	- 2,989	- 2,846	+ 0,143	0,020 449
$n = 25$				+ 0,570	0,079 465
$s^2 = \frac{0,079\,465}{24} = 0,003\,311\,04$				- 0,565	
$s = 0,057\,54$				+ 0,005	
$f_{rel} = \sigma s = 0,042\,29$					

1) Als Abkürzung für $u_i - U_i$ ist das Zeichen Δ gesetzt.

Für die übrigen Regendauerstufen der Station Bern sollen nur noch die wichtigsten Werte angegeben werden:

Regen- dauer T	10 Min.	15 Min.	20 Min.	30 Min.	40 Min.	50 Min.	60 Min.
ξ	0,3054	0,2489	0,2100	0,1600	0,1292	0,1084	0,0933
n	21	16	14	11	8	7	7
$\Sigma \Delta$	+ 0,008	+ 0,310	+ 0,199	+ 0,602	+ 0,002	+ 0,160	+ 0,251
$\Sigma \Delta^2$	0,135 784	0,077 954	0,126 027	0,163 718	0,045 126	0,053 272	0,092 935
s^2	0,006 789	0,005 197	0,009 694	0,016 372	0,006 447	0,008 879	0,015 489
$f = \sigma s$	0,060 56	0,052 99	0,072 37	0,094 08	0,059 01	0,069 26	0,091 43

Der mittlere relative *Gesamtfehler* f_g der Auswertung für eine Regenmeßstation berechnet sich aus der mittleren quadratischen Gesamtabweichung s_g^2 . Diese erhält man, indem die Summe aller Abweichungsquadrate durch die um neun¹⁾ verminderte Summe der Anzahl aller verwendeten Werte dividiert wird. Die weitere Rechnung ist analog der oben gezeigten. Der mittlere relative Gesamtfehler ist also *nicht* gleich dem arithmetischen Mittel der mittleren relativen Fehler der einzelnen Regendauerstufen.

In unserem Beispiel von Bern ist die Summe aller Δ^2 gleich 0,774 281 und die Summe aller n gleich 109. Damit wird

$$s_g^2 = \frac{0,774\,281}{100} = 0,007\,743, \quad f_g = s_g \sigma = 0,06\,467.$$

Im Abschnitt 4.4 wurde schon gesagt, dass die graphische Ermittlung der Parameter σ und ξ ausreichend sei. Um eine Kontrolle zu haben, wurde für Bern auch eine analytische Methode angewandt. Wir beschränken uns darauf, sie nur kurz zu skizzieren.

Die strenge Berechnung von Zentralwert und Streuung der Verteilungsfunktion führt im vorliegenden Fall zu falschen Resultaten, da die gemessene Verteilung im Bereich der kleinen Intensitäten erheblich von der theoretischen abweicht, wie auch aus den Abbildungen 3 und 4 hervorgeht. Da die kleinen Intensitäten für den hier geforderten Zweck belanglos sind, können für die Werte grösserer Intensitäten die acht Regressionsgeraden zwischen Regenintensität und Summenhäufigkeit bestimmt werden. Hernach ist der Mittelwert der Regressionskoeffizienten zu berechnen (Geraden parallel) und damit neue korrigierte Zentralwerte. Die Reziprokwerte dieser korrigierten Zentralwerte lassen sich nun wieder durch eine Regressionsgerade in Funktion der Regendauer darstellen. Schliesslich sind die Summenhäufigkeitslinien noch den ausgeglichenen Zentralwerten anzupassen. Es wurden schliesslich um wenig verschiedene Werte als bei der graphischen Methode erhalten; eine Durchrechnung der Fehlerabweichungen ergab jedoch, dass sie keineswegs besser und genauer sind als jene. Die graphische Methode ist also auch für unsere Verhältnisse durchaus genügend. Wir beschränken uns darauf, als Resultat der analytischen Auswertung die *Korrelationskoeffizienten* der verschiedenen Regressionsgeraden anzugeben (für die Theorie sei auf [11] verwiesen).

¹⁾ Die Division durch 11-9 erklärt sich in diesem Fall daraus, dass durch die Bestimmung der Parameter (8 Zentralwerte und die Streuung σ) neun Freiheitsgrade wegfallen.

Korrelationskoeffizient r für die Regressionsgeraden									
Regen- dauer T	Zwischen Summenhäufigkeiten und Regenintensitäten								Zwischen Zentralwerten und Regen- dauer
	5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	30 Min.	40 Min.	50 Min.	60 Min.	
r	0,9968	0,9924	0,9928	0,9742	0,9883	0,9834	0,9834	0,9865	0,9996

5. Die Ergebnisse der Auswertung

5.1 Tabellen der Häufigkeitsverteilung

Da die Tabellen der Häufigkeitsverteilung die Grundlage für jede weitere Verarbeitung der Daten bilden, sollen diese für die von der EAWAG ausgewerteten Stationen zusammengestellt werden. Dadurch ist es später möglich, die erhaltenen Werte auch für andere Auswertezwecke oder andere Auswertemethoden zu benützen, sofern dies wünschbar sein sollte. Die Häufigkeitsverteilung der Regenintensitäten für die einzelnen Meßstationen geht aus den Tabellen 3.1–3.15 hervor. Eine weitere Erläuterung dürfte sich erübrigen, nachdem am Beispiel der Stadt Bern die Methode der Aufstellung solcher tabellarischer Zusammenstellungen ausführlich beschrieben wurde.

5.2 Summenhäufigkeitsdiagramme

Wir nehmen davon Abstand, diese Summenhäufigkeitsdiagramme für alle ausgewerteten Stationen in Form von Abbildungen wiederzugeben. An Hand der Tabellen über die Häufigkeitsverteilung ist es ohne weiteres möglich, diese zu rekonstruieren. Die Gleichung der Summenhäufigkeitslinien sind nach Abschnitt 4.4 von der Form

$$\ln i = \sigma \Psi\left(\frac{\lambda}{z}\right) + \ln \xi,$$

wobei für die einzelnen Meßstationen die in der Tab. 4 aufgeführten Werte für die verschiedenen Konstanten erhalten wurden. Die Grösse der ξ -Werte ist im Abschnitt 5.3 aufgeführt.

Einzig für Sion war es nicht gelungen, die oben angegebene Beziehung zu finden, da das Material für die ausgewertete relativ kurze Beobachtungsperiode grosse Inhomogenitäten aufwies. Der Wert σ ändert mit der Regendauer. Würde man aber auch die Abhängigkeit von σ

Tabelle 3.3
Regenintensitäten Davos
TABELLE DER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

i	5 Minuten		10 Minuten		15 Minuten		20 Minuten		30 Minuten		40 Minuten		50 Minuten		60 Minuten		
mm/min	n_j	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	
0,01-0,10	—	526	100,0	—	526	100,0	—	526	100,0	—	526	100,0	—	526	100,0	—	
0,11-0,20	106	420	79,8	231	295	56,0	313	208	39,5	337	151	28,7	317	90	17,1	272	48
0,21-0,30	194	226	42,9	160	135	25,6	119	89	16,9	96	55	10,5	65	25	4,75	36	12
0,31-0,40	96	130	24,7	71	64	12,2	50	39	7,41	30	25	4,75	15	10	1,90	7	5
0,41-0,50	55	75	14,3	25	39	7,41	19	20	3,80	13	12	2,28	7	3	0,57	2	1
0,51-0,60	24	51	9,69	18	21	3,99	8	12	2,28	7	5	0,95	3	0,57	2	1	—
0,61-0,70	14	37	7,03	4	17	3,23	4	8	1,52	2	3	0,57	1	2	0,38	1	—
0,71-0,80	8	29	5,51	7	10	1,90	3	5	0,95	—	3	0,57	2	—	—	—	—
0,81-0,90	10	19	3,61	1	9	1,71	2	3	0,57	1	2	0,38	—	—	—	—	—
0,91-1,00	5	14	2,66	5	4	0,76	—	3	0,57	1	1	0,19	—	—	—	—	—
1,01-1,10	4	10	1,90	2	2	0,38	2	1	0,19	1	—	—	—	—	—	—	—
1,11-1,20	2	8	1,52	1	1	0,19	—	1	0,19	—	—	—	—	—	—	—	—
1,21-1,30	3	5	0,95	—	1	0,19	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,31-1,40	3	2	0,38	—	1	0,19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,41-1,50	—	2	0,38	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,51-1,60	—	2	0,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,61-1,70	—	2	0,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,71-1,80	1	1	0,19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,81-1,90	—	1	0,19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,91-2,00	—	1	0,19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,01-2,10	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summe p_s	526	—	—	526	—	—	526	—	—	526	—	—	526	—	—	526	—

Tabelle 3.4
Regenintensitäten Station Lausanne
TABELLE DER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

i	5 Minuten	10 Minuten	15 Minuten	20 Minuten	30 Minuten	40 Minuten	50 Minuten	60 Minuten
mm/min	$P_i(\%)$ $\sum n_j$	$P_i(\%)$ $\sum n_j$	$P_i(\%)$ $\sum n_j$	$P_i(\%)$ $\sum n_j$	$P_i(\%)$ $\sum n_j$	$P_i(\%)$ $\sum n_j$	$P_i(\%)$ $\sum n_j$	$P_i(\%)$ $\sum n_j$
0,01–0,10	— 545	100,0	4 541	21 524	95,9	111 434	79,4	192 353
0,11–0,20	35 510	93,3	233 308	290 234	42,8	280 154	28,2	254 99
0,21–0,30	185 325	59,5	1 177 227	1 115 119	21,7	101 53	9,70	74 25
0,31–0,40	104 221	40,4	68 86	67 52	9,52	35 18	3,29	14 11
0,41–0,50	66 155	28,4	38 48	26 26	4,76	9 9	1,65	6 5
0,51–0,60	48 107	19,6	25 56	14 12	2,20	4 5	0,92	2 3
0,61–0,70	37 70	12,8	24 32	5 7	1,28	2 3	0,55	— 3
0,71–0,80	25 45	8,23	10 22	7 8	1,46	3 4	0,73	— 3
0,81–0,90	11 34	6,22	8 14	2,56	3 5	0,92	4 4	0,73
0,90–1,00	9 25	4,58	6 8	1,46	— 5	0,92	1 3	0,55
1,01–1,10	5 20	3,66	3 5	0,92	2 3	0,55	1 2	0,37
1,11–1,20	5 15	2,74	— 5	0,92	— 3	0,55	— 2	0,37
1,21–1,30	2 13	2,38	1 4	0,73	— 3	0,55	— 2	0,37
1,31–1,40	5 8	1,46	1 3	0,55	1 2	0,37	— 2	0,37
1,41–1,50	2 6	1,10	— 3	0,55	— 2	0,37	— 2	0,37
1,51–1,60	1 5	0,92	— 3	0,55	— 2	0,37	— 2	0,37
1,61–1,70	— 5	0,92	— 3	0,55	— 2	0,37	— 2	0,37
1,71–1,80	1 4	0,73	1 2	0,37	1 1	0,18	— 1	0,18
1,81–1,90	1 3	0,55	— 2	0,37	— 2	0,37	— 2	0,37
1,91–2,00	1 2	0,37	— 2	0,37	— 2	0,37	— 2	0,37
2,01–2,10	— 2	0,37	— 2	0,37	— 2	0,37	— 2	0,37
2,11–2,20	— 2	0,37	— 2	0,37	— 2	0,37	— 2	0,37
2,21–2,30	— 2	0,37	— 2	0,37	— 2	0,37	— 2	0,37
2,31–2,40	1 1	0,18	— 1	0,18	— 1	0,18	— 1	0,18
2,41–2,50	— 1	0,18	— 1	0,18	— 1	0,18	— 1	0,18
2,51–2,60	— 1	0,18	— 1	0,18	— 1	0,18	— 1	0,18
2,61–2,70	— 1	0,18	— 1	0,18	— 1	0,18	— 1	0,18
2,71–2,80	— 1	—	—	—	—	—	—	—
2,81–2,90	— 1	—	—	—	—	—	—	—
Summe $\sum p_s$	545	—	545	—	545	—	545	—

Tabelle 3.5
Regenintensitäten Locarno-Monti
TABELLE DER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

<i>i</i>	5 Minuten		10 Minuten		15 Minuten		20 Minuten		30 Minuten		40 Minuten		50 Minuten		60 Minuten	
mm/min	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$
0,01-0,10		92,9	87	785	144	728	83,5	227	645	73,9	334	538	61,7	469	403	46,2
0,11-0,20	62	810	196	589	260	468	53,7	252	393	45,1	252	286	32,8	177	226	25,9
0,21-0,30	155	655	181	408	152	316	36,2	137	256	29,4	113	173	19,8	117	109	12,5
0,31-0,40	140	515	103	305	95	221	25,3	84	172	19,7	78	95	10,9	53	56	6,42
0,41-0,50	130	385	46	172	58	163	18,7	67	105	12,0	39	56	6,42	35	43	4,93
0,51-0,60	83	302	46	172	58	163	18,7	67	105	12,0	39	56	6,42	35	43	4,93
0,61-0,70	74	228	43	129	34	71	8,14	24	48	5,50	15	18	2,06	8	12	1,37
0,71-0,80	49	179	31	98	21	50	5,73	20	28	3,21	6	12	1,37	7	5	0,57
0,81-0,90	35	144	34	64	18	32	3,67	8	20	2,29	4	8	0,91	1	4	0,45
0,91-1,00	30	114	21	43	11	21	2,40	7	13	1,49	3	5	0,57	1	3	0,34
1,01-1,10	25	89	10	25	5	16	1,83	6	7	0,80	1	4	0,45	3	—	—
1,11-1,20	14	75	7	36	5	16	1,83	6	7	0,80	1	4	0,45	3	—	—
1,21-1,30	23	52	9	27	5	11	1,26	1	6	0,63	2	2	0,23	—	—	—
1,31-1,40	11	41	4	23	4	7	0,80	3	3	0,34	1	1	0,11	—	—	—
1,41-1,50	6	35	6	17	4	3	0,34	2	1	0,11	—	—	—	—	—	—
1,51-1,60	12	23	6	11	1	2	0,23	—	1	0,11	—	—	—	—	—	—
1,61-1,70	2	21	2	4	1	1	0,11	—	1	0,11	—	—	—	—	—	—
1,71-1,80	3	18	2	3	—	1	0,11	1	—	—	—	—	—	—	—	—
1,81-1,90	6	12	1	2	—	1	0,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,91-2,00	2	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,01-2,10	5	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,11-2,20	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,21-2,30	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,31-2,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,41-2,50	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,51-2,60	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,61-2,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summe p_{s872}	—	—	872	—	872	—	—	872	—	—	872	—	—	872	—	—

Tabelle 3.6
Regenintensitäten Neuchâtel
TABELLE DER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

i	5 Minuten		10 Minuten		15 Minuten		20 Minuten		30 Minuten		40 Minuten		50 Minuten		60 Minuten	
mm/min	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$
	$\sum n_j = \sum p_i$		$\sum n_j = \sum p_i$		$\sum n_j = \sum p_i$		$\sum n_j = \sum p_i$		$\sum n_j = \sum p_i$		$\sum n_j = \sum p_i$		$\sum n_j = \sum p_i$		$\sum n_j = \sum p_i$	
0,01–0,10	–	234	100,0	–	234	100,0	–	234	100,0	–	234	100,0	–	234	100,0	–
0,11–0,20	26	208	88,8	86	148	63,2	86	148	63,2	127	84	35,9	109	54	71	163
0,21–0,30	83	125	53,4	63	85	36,3	41	61	26,0	42	42	17,9	31	23	31	23
0,31–0,40	41	84	35,8	32	53	22,6	26	35	14,9	18	24	10,2	15	8	15	8
0,41–0,50	24	60	25,6	18	35	14,9	14	21	8,97	13	11	4,70	7	1	0,43	1
0,51–0,60	15	45	19,2	12	23	9,82	6	15	6,40	8	3	1,28	–	1	0,43	–
0,61–0,70	8	37	15,8	4	19	8,11	12	3	1,28	2	1	0,43	–	–	–	–
0,71–0,80	14	23	9,82	9	10	4,27	–	3	1,28	1	–	–	–	–	–	–
0,81–0,90	5	18	7,69	3	7	2,99	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,91–1,00	4	14	5,98	6	1	0,43	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,01–1,10	3	11	4,70	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,11–1,20	3	8	3,42	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,21–1,30	3	5	2,14	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,31–1,40	1	4	1,71	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,41–1,50	1	3	1,28	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,51–1,60	–	3	1,28	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,61–1,70	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Summe p_s	234	–	–	234	–	–	234	–	–	234	–	–	234	–	–	–

Tabelle 3.7
Regenintensitäten Pratteln
TABELLE DER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

<i>i</i>	5 Minuten		10 Minuten		15 Minuten		20 Minuten		30 Minuten		40 Minuten		50 Minuten		60 Minuten	
mm/min	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$
0,01-0,10	298	100,0	2296	99,2	36262	87,8	78220	73,7	140158	52,9	173125	41,9	20098	32,8	22375	25,1
0,11-0,20	39259	86,8	139157	52,6	146116	38,9	13882	27,5	10850	16,8	9530	10,0	7622	7,37	5718	6,03
0,21-0,30	10158	52,9	7681	27,1	5462	24,1	3745	15,1	2822	7,37	1416	5,36	1210	3,35	144	1,34
0,31-0,40	52106	35,5	2259	19,8	2735	11,7	2322	7,37	616	5,36	88	2,68	82	0,67	31	0,34
0,41-0,50	3967	22,4	2336	12,1	1223	7,70	418	6,03	88	2,68	62	0,67	11	0,34	1	-
0,51-0,60	958	19,4	927	9,05	320	6,70	513	4,35	62	0,67	11	0,34	1	-	-	-
0,61-0,70	1444	14,7	522	7,37	614	4,69	310	3,35	11	0,34	1	-	-	-	-	-
0,71-0,80	1133	11,1	418	6,03	410	3,35	82	0,67	1	-	-	-	-	-	-	-
0,81-0,90	726	8,71	315	5,03	55	1,68	11	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-
0,91-1,00	1016	5,36	78	2,68	32	0,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,01-1,10	214	4,69	35	1,68	-	0,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,11-1,20	59	3,02	14	1,34	11	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,21-1,30	36	2,01	22	0,67	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,31-1,40	24	1,34	-	0,67	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,41-1,50	13	1,00	-	0,67	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,51-1,60	-	31,00	11	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,61-1,70	-	31,00	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,71-1,80	-	31,00	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,81-1,90	-	31,00	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,91-2,00	12	0,67	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,01-2,10	-	20,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,11-2,20	-	20,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,21-2,30	-	20,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,31-2,40	-	20,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,41-2,50	11	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
.	.	.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,41-3,50	-	10,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,51-3,60	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe $\sum p_s$	298	-	298	-	298	-	298	-	298	-	298	-	298	-	298	-

Tabelle 3.9
Regenintensitäten St. Gallen
TABELLE DER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

i	10 Minuten			20 Minuten			30 Minuten			60 Minuten		
mm/min	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$
0,01–0,10	–	599	100,0	1	598	99,86	79	520	86,8	268	331	55,3
0,11–0,20	74	525	87,7	291	307	51,3	320	200	33,4	252	79	13,2
0,21–0,30	234	291	48,6	158	149	24,9	111	89	14,9	54	25	4,17
0,31–0,40	124	167	27,9	74	75	12,5	47	42	7,01	9	16	2,67
0,41–0,50	61	106	17,7	27	48	8,02	18	24	4,01	9	7	1,17
0,51–0,60	28	78	13,0	17	31	5,18	3	21	3,51	4	3	0,501
0,61–0,70	27	51	8,25	7	24	4,01	5	16	2,67	2	1	0,167
0,71–0,80	10	41	6,85	5	19	3,17	5	11	1,84	1	–	–
0,81–0,90	12	29	4,84	2	17	2,84	3	8	1,34	–	–	–
0,91–1,00	3	26	4,34	6	11	1,84	4	4	0,668	–	–	–
1,01–1,10	5	21	3,51	2	9	1,50	3	1	0,167	–	–	–
1,11–1,20	4	17	2,84	1	8	1,34	1	–	–	–	–	–
1,21–1,30	5	12	2,00	4	4	0,668	–	–	–	–	–	–
1,31–1,40	3	9	1,50	2	2	0,334	–	–	–	–	–	–
1,41–1,50	1	8	1,34	1	1	0,167	–	–	–	–	–	–
1,51–1,60	3	5	0,835	1	–	–	–	–	–	–	–	–
1,61–1,70	1	4	0,668	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,71–1,80	–	4	0,668	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,81–1,90	–	4	0,668	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,91–2,00	–	4	0,668	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,01–2,10	–	4	0,668	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,11–2,20	–	4	0,668	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,21–2,30	3	1	0,167	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,31–2,40	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,41–2,50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,51–2,60	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,61–2,70	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,71–2,80	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Summe p_s	599	–	–	599	–	–	599	–	–	599	–	–

Tabelle 3.11
Regenintensitäten Sion
TABELLE DER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

i	5 Minuten		10 Minuten		15 Minuten		20 Minuten		30 Minuten		40 Minuten		50 Minuten		60 Minuten	
	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$	n_j	$P_i(\%)$
mm/min																
0,01–0,10	11	94,6	29	177	85,9	51	155	75,3	87	119	57,7	118	88	42,6	148	58
0,11–0,20	126	33,5	136	41	19,9	131	24	11,7	101	18	8,74	81	7	3,40	56	2
0,21–0,30	36	16,0	22	19	9,22	15	9	4,36	14	4	1,94	6	1	0,48	2	–
0,31–0,40	14	9,22	10	9	4,36	6	3	1,46	3	1	0,48	1	–	–	–	–
0,41–0,50	8	11	5,34	4	5	2,43	2	1	0,48	1	–	–	–	–	–	–
0,51–0,60	4	7	3,40	4	1	0,48	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,61–0,70	1	6	2,91	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,71–0,80	3	3	1,46	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,81–0,90	–	3	1,46	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,91–1,00	1	2	0,97	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,01–1,10	1	1	0,48	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,11–1,20	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Summe p_s	206	–	206	–	–	206	–	–	206	–	–	206	–	–	206	–

Tabelle 3.13
Regenintensitäten Uster
TABELLE DER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

i	10 Minuten		20 Minuten		30 Minuten		40 Minuten		50 Minuten		60 Minuten	
mm/min	n_j	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$
0,01-0,10	—	392	100,0	—	392	100,0	8	384	98,2	83	309	78,8
0,11-0,20	37	355	90,6	136	256	65,4	226	158	40,3	214	95	24,2
0,21-0,30	128	227	57,9	127	129	32,9	92	66	16,8	49	46	11,7
0,31-0,40	79	148	37,8	63	66	16,8	29	37	9,45	23	23	5,87
0,41-0,50	52	96	24,5	27	39	9,95	17	20	5,10	12	11	2,81
0,51-0,60	27	69	17,6	12	27	6,90	10	10	2,55	5	6	1,53
0,61-0,70	18	51	13,0	6	21	5,36	3	7	1,78	2	4	1,04
0,71-0,80	7	44	11,2	6	15	3,83	2	5	1,27	1	3	0,76
0,81-0,90	11	33	8,43	4	11	2,81	1	4	1,04	1	2	0,51
0,91-1,00	9	24	6,13	3	8	2,04	1	3	0,76	2	—	—
1,01-1,10	9	15	3,83	3	5	1,27	2	1	0,25	—	—	—
1,11-1,20	4	11	2,81	2	3	0,76	1	—	—	—	—	—
1,21-1,30	1	10	2,55	—	3	0,76	—	—	—	—	—	—
1,31-1,40	3	7	1,78	2	1	0,25	—	—	—	—	—	—
1,41-1,50	2	5	1,27	—	1	0,25	—	—	—	—	—	—
1,51-1,60	2	3	0,76	1	—	—	—	—	—	—	—	—
1,61-1,70	—	3	0,76	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,71-1,80	1	2	0,51	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,81-1,90	1	1	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,91-2,00	—	1	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,01-2,10	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Summe p_s	392	—	—	392	—	—	392	—	—	392	—	—

Tabelle 3.14
Regenintensitäten Bregenz
TABELLE DER HÄUFIGKEITSVERTEILUNG

i	5 Minuten		10 Minuten		15 Minuten		20 Minuten		30 Minuten		40 Minuten		50 Minuten		60 Minuten	
mm/min	n_j	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	n_j	$\sum n_j$	$P_i(\%)$	$\sum n_j$	n_j	$\sum n_j$	n_j	$\sum n_j$	n_j	$\sum n_j$	n_j	$P_i(\%)$
0,01–0,10	–	537	–	–	37	500	93,5	80	457	85,5	174	363	67,8	251	286	53,5
0,11–0,20	61	476	200	335	259	241	45,0	269	188	35,1	254	109	20,4	196	90	16,8
0,21–0,30	200	276	159	176	131	110	20,5	104	84	15,7	44	65	12,1	40	50	9,35
0,31–0,40	112	164	30,7	77	99	18,5	13,5	24	60	11,2	28	37	6,92	26	24	4,18
0,41–0,50	48	116	21,7	31	68	12,7	9,35	20	40	7,48	13	24	4,48	7	17	3,18
0,51–0,60	37	79	14,8	15	53	9,91	6,92	15	25	4,67	8	16	2,99	7	10	1,87
0,61–0,70	18	61	11,4	12	41	7,67	5,03	7	18	3,36	6	10	1,87	8	2	0,37
0,71–0,80	8	53	9,91	10	31	5,80	3,18	5	13	2,43	4	6	1,12	–	2	0,37
0,81–0,90	10	43	8,04	9	22	4,11	2,62	2	11	2,06	4	2	0,37	1	1	0,19
0,91–1,00	15	28	5,24	5	17	3,18	1,87	5	6	1,12	1	1	0,19	–	1	0,19
1,01–1,10	4	24	4,48	5	12	2,24	1,68	3	3	0,56	–	–	0,19	–	–	–
1,11–1,20	2	22	4,11	2	10	1,87	1,12	2	1	0,19	–	–	–	–	–	–
1,21–1,30	5	17	3,18	3	7	1,31	0,56	–	1	0,19	–	–	–	–	–	–
1,31–1,40	5	12	2,24	2	5	0,94	0,56	–	1	0,19	–	–	–	–	–	–
1,41–1,50	1	11	2,06	1	4	0,75	0,19	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,51–1,60	1	10	1,87	–	4	0,75	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,61–1,70	1	9	1,68	1	3	0,56	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,71–1,80	1	8	1,50	1	2	0,37	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,81–1,90	1	7	1,31	1	1	0,19	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,91–2,00	2	5	0,94	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,01–2,10	2	3	0,56	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,11–2,20	–	3	0,56	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,21–2,30	–	3	0,56	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,31–2,40	–	3	0,56	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,41–2,50	1	2	0,37	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,51–2,60	–	2	0,37	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,61–2,70	–	2	0,37	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,71–2,80	1	1	0,19	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,81–2,90	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Summe p_s	537	–	–	–	537	–	–	–	537	–	–	–	–	537	–	–

mit der Regendauer formelmässig darstellen, wäre die Formel für die Regenintensität derart kompliziert, dass sie für die Praxis unbrauchbar würde (Regendauer T im Exponenten einer Exponentialfunktion). Ein Versuch, eine Annäherung zu finden, indem der Wert B mit der Häufigkeit variiert wird, führte zu keinem verwendbaren Resultat. Es wird unumgänglich sein, nach Vorliegen einer genügend langen Beobachtungszeit, die Auswertung für Sion zu ergänzen.

5.3 Beziehung zwischen den Zentralwerten und der Regendauer

Bei allen ausgewerteten Regenstreifen ergab sich eine lineare Beziehung zwischen den reziproken Zentralwerten, wie sie aus den Summenhäufigkeitsdiagrammen herausgelesen wurden und der Regendauer T in Minuten und zwar wurde $\xi = A/T + B$, wobei die Werte A als reziproker Tangens (= Cotangens) des Steigungswinkels der Geraden und B als Abschnitt auf der Abszissenachse aus den Diagrammen herausgelesen werden können. Auf eine Darstellung der Diagramme selbst sei verzichtet. Hingegen sind in der Tab. 4 die erhaltenen Werte A und B wiedergegeben.

5.4 Die Häufigkeitsfaktoren b

Die Häufigkeitsfaktoren, die nur von den Jahren z abhängen, ergeben sich indirekt aus dem Summenhäufigkeitsdiagramm. Sie sind somit abhängig vom Verlauf der schiefen Häufigkeitsverteilung, bzw. von der Umkehrfunktion des Gaußschen Integrals, das als Exponent einer Exponentialfunktion mit der Basis $e = 2,71828$ auftritt. Die Gleichung des Häufigkeitsfaktors lautet

$$b = \mu e^{\sigma \Psi(\lambda/z)}, \quad \text{wobei } \lambda = \frac{S}{p_s}, \quad \mu = e^{-\sigma \Psi(\lambda)}.$$

Nach Definition (siehe auch Abschnitt 6.4) soll der Häufigkeitsfaktor für die einjährige Häufigkeit ($n = z = 1$) zu eins werden. Daraus bestimmt sich der oben gegebene Ausdruck für den Koeffizienten μ .

Für die einzelnen Meßstationen ergaben sich die in der Tab. 4 aufgeführten Werte für die Konstanten.

Über diese Häufigkeitsfaktoren sind in der Literatur mehrfache Hinweise vorhanden. Für die Regenintensitäten der Schweiz wurde unseres Wissens bisher nur ein einziger Versuch einer formelmässigen Beziehung der Häufigkeitsfaktoren bekanntgegeben. Gewisse Regenintensitäts-

Tabelle 4
Tabelle der Konstanten:

Ort	S	p_s	λ	σ	μ	A	B
Basel.	30	576	0,052	-0,707	0,316	4,77	8
Bern	30	710	0,042	-0,735	0,280	6,72	12
Davos	30	526	0,057	-0,690	0,336	3,94	10
Lausanne	23	545	0,038	-0,630	0,328	6,19	12
Locarno-Monti .	24	872	0,028	-0,622	0,301	12,81	23
Neuchâtel . . .	10	234	0,043	-0,645	0,329	4,86	8
Pratteln	11	298	0,037	-0,735	0,269	4,25	8
Rorschach . . .	6	100	0,060	-0,788	0,294	6,01	10
St. Gallen . . .	25	599	0,042	-0,800	0,250	6,00	14
Schaffhausen . .	30	769	0,039	-0,815	0,238	4,29	10
Sion	9	206	0,044	var.	var.	—	(8)
Thun	20	445	0,045	-0,734	0,288	6,73	14
Uster	20	392	0,051	-0,727	0,305	6,26	10
Zürich	30	(394)	—	—	—	—	8
Bregenz	15	537	0,028	-0,807	0,214	5,36	15
Como	29	980	0,029	-0,645	0,297	11,21	27

kurven, die heute verwendet werden, würden übrigens keine einwandfreie mathematische Beziehung ergeben. Auf Grund der Wahrscheinlichkeitsrechnung besteht jedoch zweifellos ein solches Verteilungsgesetz für die Häufigkeit.

Bereits GOODRICH [15] gelangt auf Grund ähnlicher Betrachtungen wie vorstehend aufgeführt zu analogen Ergebnissen. REINHOLD [5] hat für Deutschland die Beziehung $b = z^{0,35}$ aufgestellt, die er jedoch nur für den Bereich $0,5 \leq z \leq 10$ als gültig erachtet. In erster Annäherung kann somit die Regenintensitätskurve, die alle z Jahre einmal erreicht oder überschritten wird, aus der einjährigen Kurve durch Multiplikation mit der dritten Wurzel aus z gefunden werden. Eine weitere Beziehung REINHOLDS ergibt sich für den Häufigkeitsfaktor zu $b = 1,58 (\sqrt[3]{z} - 0,369)$, die jedoch auf den Bereich $1/3 \leq z \leq 5$ beschränkt wird. HÖRLER gab für Zürich die angenäherte Beziehung $b = \sqrt[3]{z}$ bekannt. Für die Häufigkeit von Hochwasserabflüssen wird in den Vereinigten Staaten die interessante Formel von FULLER (zit. in [8]) verwendet, mit dem Häufigkeitsfaktor $b = 1 + 0,8 \cdot \log z$.

Diese verschiedenen, obenerwähnten Häufigkeitsfaktoren sind in der Abbildung 6 zusammengestellt. Zum Vergleich ist in dieser Abbildung auch der auf Grund der Wahrscheinlichkeitstheorie ermittelte Häufigkeitsfaktor der Stadt Bern aufgeführt. Aus allen diesen Betrachtungen

geht hervor, dass sowohl Beobachtungsergebnisse als auch theoretische Berechnungen darauf hindeuten, dass der Häufigkeitsfaktor eine Folge der Gesetze der mathematischen Statistik ist. Wie der theoretisch ermittelte Häufigkeitsfaktor mit den tatsächlichen Messwerten übereinstimmt, geht aus Abbildung 7 hervor, die für Bern durch Abzählen gewonnenen Werte und die theoretischen Kurven zeigt.

5.5 Genauigkeit der Auswertung

In diesem Abschnitt wird an die Ausführungen in 4.6 angeknüpft. Es dürfte von Interesse sein, wie gross die möglichen Abweichungen der vorgelegten Formeln von der Wirklichkeit sein können. Allerdings benötigt die Ermittlung der relativen Fehler einen verhältnismässig grossen Aufwand an Rechenarbeit. Die Fehlerberechnung wurde deshalb nur für vier typische Stationen durchgeführt, die in gewissem Sinn Grenzfälle darstellen. Es wurden herangezogen:

- a) *Bern*, als Musterbeispiel und typische Mittellandstation mit langer Beobachtungsperiode.
- b) *Neuchâtel*, als Station mit sehr kurzer Beobachtungsperiode.
- c) *Davos*, als Station mit relativ geringen Intensitäten.
- d) *Locarno-Monti*, als Station mit grossen Intensitäten.

Für die übrigen Stationen dürften die Fehler von der gleichen Grösse sein, wie sie durch die obengenannten abgesteckt werden. Ebenso wurden die Berechnungen nicht für alle acht Regendauerstufen (mit Ausnahme von Bern als Beispiel in 4.6), sondern nur für $T = 5, 15, 30$ und 60 Minuten als nötig erachtet.

Die erhaltenen Resultate sind in der nachfolgenden Zusammenstellung enthalten.

Relativer Fehler in %:

Ort	Für eine Regendauer von				Ungefäherer Gesamtfehler (relativ in %)
	5 min	15 min	30 min	60 min	
Bern	6,23	5,30	9,41	9,14	6,47
Neuchâtel	9,12	9,58	8,95	7,28	9,17
Davos	4,15	5,36	8,67	2,64	5,62
Locarno-Monti	8,07	8,37	6,61	4,90	7,56

Vergleich zwischen Messwerten und
theoretischem Häufigkeitsfaktor
(Beispiel Bern)

Abbildung 7
 z = Anzahl Jahre, innert welcher eine gegebene Intensität im Mittel einmal erreicht oder überschritten wird.
Vergleich zwischen Messwerten und theoretischem Häufigkeitsfaktor.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass bei kurzen Beobachtungsperioden (Neuchâtel) die Auswertung merkbar weniger genau wird. Es scheint auch, dass für Stationen mit grösseren Intensitäten ebenfalls die Fehler eher etwas grösser sind. Im gesamten sind allerdings die Unterschiede zwischen den Fehlern der einzelnen Stationen nicht bedeutend.

6. Zusammenfassung der Ergebnisse

6.1 Gleichung der Regenintensitätskurven für die praktischen Bedürfnisse

Die Gleichung für die Schar der Regenintensitätskurven kann, wie sich auch theoretisch ergibt, für praktische Zwecke in drei Faktoren zerlegt werden, nämlich in

$$r = G \varphi b,$$

wobei $r = r_T^{(z)}$ = Regen von T Minuten Dauer, dessen Intensität im Durchschnitt alle z Jahre einmal erreicht oder überschritten wird.

G = Grundzahl = $r_{15}^{(1)}$ = Regen von 15 Minuten Dauer, dessen Intensität durchschnittlich alle Jahre einmal zu erwarten ist.

$\varphi = \varphi_T$ = Zeitbeiwert nach Imhoff [16], ergibt die Abhängigkeit der Intensität von der Regendauer T . φ ist nur von T abhängig.

$b = b_z$ = Häufigkeitsfaktor, ergibt den Abhängigkeitsfaktor der Intensität von der Anzahl Jahre z , innert welchen für eine bestimmte Regendauer T die Intensität einmal erreicht oder überschritten wird. b ist nur von z abhängig.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Faktoren für die verschiedenen Meßstellen übersichtlich zusammengestellt.

6.2 Die Grundzahlen G

Die in der Literatur als Grundzahlen bezeichneten Werte G , also diejenigen Regenintensitäten, die 15 Minuten lang andauern und jährlich einmal zu erwarten sind, können aus der nachfolgenden Tabelle für die ausgewerteten Beobachtungsstationen herausgelesen werden.

Tabelle 5

Ort	G l/s ha	B Minuten	C
Basel	125	8	0,93
Bern	148	12	0,95
Davos	78	10	0,93
Lausanne . .	117	12	0,76
Locarno-Monti	186	23	0,69
Neuchâtel . .	107	8	0,80
Pratteln . . .	(115)	8	0,93
Rorschach . .	136	10	1,13
St. Gallen . .	138	14	1,06
Schaffhausen .	120	10	1,08
Sion ¹⁾	52	(8)	(0,76)
Thun	134	14	0,96
Uster	136	10	0,97
Zürich	132	8	0,75
Bregenz . . .	150	15	1,00
Como	151	27	0,75

¹⁾ Sion: Der Wert B variiert mit der Häufigkeit und der Regendauer ($B = 8$ min gilt für $z = 1$). Der Häufigkeitsfaktor variiert mit der Regendauer ($C = 0,76$ gilt für $T = 15$ min).

Für die Stationen im schweizerischen Mittelland streuen diese Werte zwischen 107 l/s ha für Neuchâtel und 148 l/s ha für Bern. Extrem niedrige Werte weisen Sion (52 l/s ha) und Davos (78 l/s ha) auf. Der höchste Wert wurde für Locarno mit 186 l/s ha erhalten.

6.3 Die Zeitbeiwerte φ

Da diese Werte definitionsgemäss für eine Regendauer T von 15 Minuten, die Zahl Eins annehmen müssen, so lautet die Gleichung hierfür gemäss vorstehenden Berechnungen und Überlegungen

$$\varphi = \frac{15 + B}{T + B}.$$

Die Konstanten B für die einzelnen Stationen, die die Zeitbeiwerte für jede beliebige Regendauer T in Minuten zu errechnen gestatten, sind in Tab. 5 aufgeführt.

Die Zeitbeiwertkurven (und somit auch die Regenintensitätskurven) verlaufen um so flacher, je grösser die Werte B sind. In der Abbildung 8 sind die Regenintensitätskurven, die durchschnittlich pro Jahr einmal erreicht oder überschritten werden, für die einzelnen Orte dargestellt. Sehr flach ist die Kurve von Como, währenddem sich keine ausgesprochen

Abbildung 8
Intensitätskurven die durchschnittlich *einmal pro Jahr* erreicht oder überschritten werden.

steile Kurve für eine der untersuchten Stationen ergeben hat. Relativ steil sind jedoch die Kurven der Stationen Basel, Neuchâtel, Sion und Zürich. Die Normalwerte von B liegen zwischen 8 und 12 Minuten.

Aus den Auswertungen geht hervor, dass für eine Regendauer zwischen 5 und 60 Minuten keine Potenzformel für den Zeitbeiwert abgeleitet werden kann. Zu diesem Ergebnis gelangte bereits REINHOLD, der für B den Wert 9 für ganz Deutschland fand [5]. Auch in den Vereinigten Staaten werden meistens Regenintensitätsformeln verwendet, die einen gleichen Aufbau aufweisen [17]. Ebenso ergab die Auswertung der Regenintensitäten für Buenos Aires [18] den nämlichen Aufbau der Intensitätsgleichung.

6.4 Die Häufigkeitsfaktoren b – Näherungsformel für die Praxis

Die Gleichung für die Häufigkeitsfaktoren b erweist sich für den praktischen Gebrauch am unhandlichsten, da diese Faktoren aus einer schiefen Gaußschen Verteilungsfunktion hervorgehen. Die Werte können jedoch mit genügender Genauigkeit aus der Abb. 9 herausgelesen werden. Für den praktischen Gebrauch wurde der Wert b definitionsgemäss so gewählt, dass der einjährigen Regenintensität ($z = 1$) ein Wert $b = 1$ entspricht (siehe Abschnitt 5.4 Faktor μ).

Es zeigt sich, dass die in Anlehnung an die Formel von FULLER für die Ermittlung von Hochwassern in Flüssen aufgestellte Beziehung

$$b = 1 + C \log z$$

innerhalb gewisser Bereiche gute Annäherungswerte an den wahrscheinlichsten Funktionsverlauf ergibt. In der nachfolgenden Tab. 6 sollen deshalb die Konstanten C für jede Meßstation gesondert angegeben werden, zugleich mit Angabe der Fehler gegenüber den rechnerischen Werten für verschiedene Grössen von z .

6.5 Tabelle der Regenintensitäten für den praktischen Gebrauch

Um in der Praxis besonders bequem rechnen zu können, fasst man mit Vorteil die Zahlen G , $B+15$ und b in der Weise zusammen, dass $K = G (B+15) b$. Die Gleichung für die Regenintensität bekommt dadurch folgende, besonders einfache Form:

$$r = \frac{K}{T+B}.$$

Da für ein gegebenes Problem die Häufigkeit der zu erwartenden Überschreitungen gewählt wird und dadurch bekannt ist, lässt sich der Häufigkeitsfaktor und damit der Wert K von Anfang an festlegen.

Abbildung 9
Häufigkeitsfaktoren.

Tabelle 6
Genäherter Häufigkeitsfaktor
Fehler in Prozenten zu wahrscheinlichstem Wert

Ort	C	Häufigkeit in z Jahren					
		1	2	5	10	15	20
Basel	0,93	0	+ 2,5	+ 1,9	0	- 1,9	- 2,6
Bern	0,95	0	+ 3,2	+ 2,5	0	- 1,8	- 2,6
Davos	0,93	0	+ 2,4	+ 1,8	0	- 1,4	- 1,8
Lausanne	0,76	0	+ 1,9	+ 1,3	0	- 1,2	- 2,0
Locarno-Monti	0,69	0	+ 1,7	+ 0,7	0	- 1,1	- 1,9
Neuchâtel	0,80	0	+ 2,5	+ 2,0	0	- 1,0	- 1,9
Pratteln	0,93	0	+ 2,4	+ 2,0	0	- 2,0	- 2,5
Rorschach	1,13	0	+ 3,4	+ 2,7	0	- 2,1	- 3,9
St. Gallen	1,06	0	+ 3,1	+ 2,3	0	- 2,2	- 4,1
Schaffhausen . . .	1,08	0	+ 3,1	+ 2,9	0	- 1,7	- 4,0
Sion	(0,76)	0	—	—	0	—	—
Thun	0,96	0	+ 2,4	+ 2,3	0	- 2,9	- 3,7
Uster	0,97	0	+ 2,7	+ 2,1	0	- 1,7	- 2,8
Zürich	0,75	0	+ 1,6	+ 1,3	0	- 1,0	- 1,9
Bregenz	1,00	0	+ 2,4	+ 2,3	0	- 1,3	- 3,8
Como	0,75	0	+ 1,8	+ 1,7	0	- 1,0	- 1,9

Tabelle 7
Tabelle der Konstanten K

Ort	Werte z = Anzahl Jahre, innert welchen die Intensität einmal erreicht wird						
	1	2	5	10	15	20	(30)
Basel	2 875	3 588	4 652	5 552	6 112	6 540	7 160
Bern	4 000	4 984	6 484	7 796	8 636	9 208	10 216
Davos	1 950	2 438	3 159	3 762	4 128	4 397	4 822
Lausanne	3 159	3 810	4 760	5 560	6 068	6 394	6 978
Locarno-Monti	7 068	8 446	10 418	12 044	13 040	13 810	14 878
Neuchâtel	2 461	3 000	3 780	4 430	4 833	5 129	5 572
Rorschach	3 400	4 396	5 912	7 228	8 068	8 704	9 642
St. Gallen	4 002	5 106	6 787	8 252	9 188	9 905	10 945
Schaffhausen . . .	3 000	3 840	5 130	6 240	6 940	7 530	8 340
Sion ¹⁾	(1 196)	—	—	—	—	—	—
Thun	3 886	4 873	6 361	7 616	8 413	9 004	9 886
Uster	3 400	4 280	5 590	6 705	7 408	7 935	8 710
Zürich	3 036	3 664	4 569	5 313	5 771	6 114	6 606
Bregenz	4 500	5 656	7 447	8 995	9 990	10 723	11 844
Como	6 342	7 636	9 525	11 079	12 056	12 766	13 813

¹⁾ Für Sion sind die Werte nicht bestimmbar.

Um den Gebrauch der in dieser Abhandlung vorgelegten Formel für die Regenintensität zu erleichtern, sei nachfolgend in Tab. 7 für alle ausgewerteten Regenmeßstationen (mit Ausnahme von Sion, siehe Bemerkung im Abschnitt 5.2) und für einige ausgewählte Häufigkeiten ($z = 1, 2, 5, 10, 15, 20$ und 30 Jahre) die Werte K aufgeführt¹⁾.

Damit lässt sich leicht die dem praktisch tätigen Ingenieur gebräuchlichste Darstellung der Regenintensitätskurven, wie sie in Abbildung 10 am Beispiel der Stadt Bern gezeigt wird, auch für alle andern ausgewerteten Stationen aufstellen.

Der mit der Ausarbeitung eines generellen Kanalisationsprojektes beauftragte Ingenieur möge die Mühe nicht scheuen, vor Inangriffnahme der hydraulischen Berechnung der Kanäle eine Tabelle aufzustellen, die die Beziehung zwischen der Regendauer T und der Regenintensität r für die von ihm gewählten Häufigkeiten der jährlichen Überstauungen wiedergibt. Es hat sich als zweckmässig erwiesen, die Regendauer-

¹⁾ Werte K berechnet mit Häufigkeitsfaktor, der auf Gaußscher Verteilungsfunktion beruht.

Abbildung 10
Regenintensitätskurven von Bern.

stufen in dieser Tabelle von 10 zu 10 Sekunden aufzuführen und auf die Angabe der Laufzeit in Minuten in der Listenrechnung nach Imhoff zu verzichten. Beträgt die mutmasslich grösste Laufzeit inklusive Anlaufzeit rund 20 Minuten, so wird man die Tabelle nur bis zu dieser Regendauer detailliert aufstellen. Für einzelne längere Laufzeiten können die Intensitäten separat errechnet werden. Für die Regenintensitäten der Stadt Zürich wurde beispielsweise eine solche Tabelle bis zu einer Regendauer von $T = 30$ Minuten als genügend erachtet.

Als Beispiel diene die Tabelle 8, die den Anfang einer ausführlichen Tabelle für die Station Bern wiedergibt.

Tabelle 8
Beispiel: Regenintensitäten für die Stadt Bern

Regendauer		Regenintensität in l/s · ha für die angegebenen Häufigkeiten z in Jahren				
Minuten	Sekunden	1	2	5	10	20
5	300	235	293	381	458	542
	310	233	290	377	454	536
	320	231	287	374	450	531
	330	228	284	370	445	526
	340	226	282	366	441	521
6	350	224	279	363	437	516
	360	222	276	360	433	512
	370	220	274	357	429	507
	380	218	272	354	425	502
	390	216	269	350	421	498
7	400	214	267	347	418	493
	410	212	264	344	414	489
	420	210	262	341	410	485
	430	209	260	338	407	480
	440	207	258	335	403	476
8	450	205	255	332	400	472
	460	204	253	329	396	468
	470	202	251	326	393	464
	480	200	249	324	390	460
	490	198	247	321	387	457
9	500	197	245	319	383	453
	510	195	243	316	380	449
	520	193	241	314	377	446
	530	192	239	311	374	442
	540	190	237	309	371	438

7. Schlussbetrachtung

Aus vorstehenden Ausführungen lassen sich die für die Projektbearbeitung im Gebiete des kommunalen Wasserbaues erforderlichen Starkregenintensitäten für sämtliche Orte der Schweiz ermitteln, die über

LEGENDE:

Regenmessstationen • (Bern)
 Grundzahl G (148)
 Konstante B (12)
 Konstante C (0,95)

Abbildung 11

Ausgewertete Regenmeßstationen mit ihren Konstanten (Karte).

langjährige graphische Aufzeichnungen der Regenintensitäten verfügen. Die wesentlichsten Angaben zur Konstruktion der Regenintensitätskurven bestimmter Häufigkeiten gehen aus den Abbildungen 8 und 9 hervor. Während für weitere Studien die Tabellen 3 der Häufigkeitsverteilung von Bedeutung sind, wird der praktisch tätige Ingenieur mit Vorteil die Abbildung 11 benützen.

Oft stellt sich jedoch die Frage, wie für andere Ortschaften der Schweiz, die keinen Schreibregenschreiber besitzen oder die erst seit wenigen Jahren einen Schreibregenschreiber in den Dienst nahmen, die Starkregenintensitäten gewählt werden müssen. Aus der Abbildung 8 geht hervor, dass die Schweiz, in Hinsicht auf die Intensitätskurven, die durchschnittlich einmal pro Jahr erreicht oder überschritten werden, in drei Gebiete unterteilt werden kann:

1. In das Gebiet südlich der Alpen, wo für den Südfuss der Alpen (Locarno) extrem hohe Intensitäten festgestellt wurden.
2. In das Gebiet des schweizerischen Mittellandes, wobei die Gebiete der Westschweiz (Neuchâtel, Lausanne) die untere Begrenzung der Intensitäten des Mittellandes ergeben.
3. In die Alpenlängstäler mit extrem geringen Intensitäten (Davos, Sion).

Aus den Häufigkeitsfaktoren der Abbildung 9 geht die obenerwähnte Unterteilung nicht hervor. Immerhin scheint es, dass die Häufigkeitsfaktoren der Nordostschweiz durchgehend die höchsten Werte aufweisen.

Um die Starkregenintensitäten für einen beliebigen Ort der Schweiz zu ermitteln, ist es vorerst kaum anders möglich, als die Intensitätskurven durch Interpolation zu wählen, wobei den örtlichen topographischen und meteorologischen Gegebenheiten angemessene Rechnung zu tragen ist. Je dichter das Beobachtungsnetz und je einfacher die Terraingestaltung des Gebietes ist, um so weniger sind durch solche Annahmen Überraschungen zu gewärtigen.

Bei dieser Sachlage wird man versuchen müssen, in einigen Jahren ein dichteres Beobachtungsnetz für die Schweiz zu erlangen. Namentlich im Jura, im Voralpengebiet und im südlichen Tessin ist die Erstellung weiterer Schreibregenschreiber dringend erwünscht. Aber auch im schweizerischen Mittelland weisen die Beobachtungen noch beachtliche Lücken auf.

Wir richten deshalb an alle Gewässerschutzkreise den Appell, die Erstellung von Registrierstationen für Niederschläge und auch für Abflüsse im Rahmen ihrer Möglichkeiten zu unterstützen und zu fördern.

Anhang

Umkehrfunktion $\Psi(P)$										
$0,01 \leq 100 P \leq 1,09$										
100 P	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	—	3,719	3,540	3,432	3,353	3,291	3,239	3,195	3,156	3,121
0,1	3,090	3,062	3,036	3,011	2,989	2,968	2,948	2,929	2,911	2,894
0,2	2,878	2,863	2,848	2,834	2,820	2,807	2,794	2,782	2,770	2,759
0,3	2,748	2,737	2,727	2,716	2,706	2,697	2,687	2,678	2,669	2,661
0,4	2,652	2,644	2,636	2,628	2,620	2,612	2,605	2,597	2,590	2,583
0,5	2,576	2,569	2,562	2,556	2,549	2,543	2,536	2,530	2,524	2,518
0,6	2,512	2,506	2,501	2,495	2,489	2,484	2,478	2,473	2,468	2,462
0,7	2,457	2,452	2,447	2,442	2,437	2,432	2,428	2,423	2,418	2,414
0,8	2,409	2,404	2,400	2,395	2,391	2,387	2,382	2,378	2,374	2,370
0,9	2,366	2,362	2,357	2,353	2,349	2,346	2,342	2,338	2,334	2,330
1,0	2,326	2,323	2,319	2,315	2,312	2,308	2,304	2,301	2,297	2,294
$1,0 \leq 100 P \leq 10,9$										
100 P	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2,326	2,290	2,257	2,226	2,197	2,170	2,144	2,120	2,097	2,075
2	2,054	2,034	2,014	1,995	1,977	1,960	1,943	1,927	1,911	1,896
3	1,881	1,866	1,852	1,838	1,825	1,812	1,799	1,787	1,774	1,762
4	1,751	1,739	1,728	1,717	1,706	1,695	1,685	1,675	1,665	1,655
5	1,645	1,635	1,626	1,616	1,607	1,598	1,589	1,580	1,572	1,563
6	1,555	1,546	1,538	1,530	1,522	1,514	1,506	1,499	1,491	1,483
7	1,476	1,468	1,461	1,454	1,447	1,440	1,433	1,426	1,419	1,412
8	1,405	1,398	1,392	1,385	1,379	1,372	1,366	1,359	1,353	1,347
9	1,341	1,335	1,329	1,323	1,317	1,311	1,305	1,299	1,293	1,287
10	1,282	1,276	1,270	1,265	1,259	1,254	1,248	1,243	1,237	1,232
$10 \leq 100 P \leq 49$										
100 P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,282	1,227	1,175	1,126	1,080	1,036	0,994	0,954	0,915	0,878
20	0,842	0,806	0,772	0,739	0,706	0,674	0,643	0,613	0,583	0,553
30	0,524	0,496	0,468	0,440	0,412	0,385	0,358	0,332	0,305	0,279
40	0,253	0,228	0,202	0,176	0,151	0,126	0,100	0,075	0,050	0,025

Merke: Die Werte in dieser Tabelle haben alle *negatives* Vorzeichen.
Für $P > 0,50$ nimmt man den Wert für $P^* = (1 - P)$ und setzt positives Vorzeichen. Es gilt: $\Psi(P) = -\Psi(1 - P)$; $\Psi(0,50) = 0$.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] KROPF, A., *Auswertung von 30jährigen Aufzeichnungen der Regenmess-Station der MZA in Zürich*, Schweiz. Bauzeitung 123 (1944) 225.
- [2] HÖRLER, A., *Auswertung von 30jährigen Aufzeichnungen der Regenmess-Station Rotmonten in St. Gallen*, Schweiz. Z. Hydrol. 20 (1958) Fasc. 1.
- [3] WEGENSTEIN, M., *Grundlagen der Ortsentwässerung. Strasse und Verkehr*.
- [4] Abwasserfachgruppe der Deutschen Gesellschaft für Bauwesen e. V., *Anweisungen zur Auswertung von Schreibregenschreiber-Aufzeichnungen für wasserwirtschaftliche Zwecke* (AAR 1936), Ges.-Ing. 60 (1937), H. 2, 22–26; H. 3, 40–65; H. 4, 55–61.
- [5] REINHOLD, F., *Regenspenden in Deutschland (Grundwerte für die Entwässerungstechnik)*. Arch. f. Wasserwirtsch., Nr. 56 (Berlin 1940).
- [6] VEN TE CHOW, *Frequency Analysis of Hydrologic Data with Special Application to Rainfall Intensities*, Univ. of Illinois Bulletin, Chicago (July 1953).
- [7] MEYER, A. F., *The Elements of Hydrology* (John Wiley & Sons, New York 1928).
- [8] FAIR, G. M., and GEYER, J. C., *Water Supply and Waste-Water Disposal* (John Wiley & Sons, New York 1954).
- [9] JOHANNSEN, H. H., *Eine einfache Darstellung der Ergebnisse von Schreibregenschreiber-Aufzeichnungen*, Ber. d. Deutsch. Wetterdienstes, Nr. 54 (1959).
- [10] SLADE, J. J., *The Reliability of Statistical Methods in the Determination of Flood Frequencies*. U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 771 (1936).
- [11] HALD, A., *Statistical Theory with Engineering Applications* (John Wiley & Sons, New York 1957).
- [12] HALD, A., *Statistical Tables and Formulas* (John Wiley & Sons, New York 1958).
- [13] VAN DER WAERDEN, B. L., *Mathematische Statistik* (Springer-Verlag, Berlin 1957).
- [14] FISHER, R. A., and YATES, F., *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research* (Oliver and Boyd, London 1957).
- [15] GOODRICH, R. D., *Straight line plotting of skew frequency data*, Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 52 (1926), 1063.
- [16] IMHOFF, K., *Taschenbuch der Stadtentwässerung*. 18. Aufl. (Oldenbourg-Verlag, München 1960).
- [17] DAVIS, C. V., *Handbook of Applied Hydraulics* (McGraw-Hill Book Comp., New York 1952).
- [18] MARCHETTI, A. A., *Frecuencia de las Lluvias intensas de corta duración en la ciudad de Buenos Aires*. Revista Meteoros, 2, Nr. 1–2 (Januar–Juni 1952).
- [19] RIMA, A., *Intensità della pioggia della città di Locarno, Legge delle intensità massime*. Wasser- und Energiewirtschaft 51 (1959), Nr. 6.
- [20] RIMA, A., *Intensità della pioggia per Chiasso e dintorni, Legge delle intensità massime assolute (dedotta dalle registrazioni pluviografiche di Como)*. Rivista tecnica della Svizzera Italiana (1961), Nr. 16.
- [21] HÖRLER, A. und RHEIN, H. R., *Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz*, Schweiz. Bauzeitung 79 (1961), H. 32, 559.