

# Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz

Autor(en): **Hörler, A. / Rhein, H.R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **79 (1961)**

Heft 32

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-65581>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz

DK 551.577.36

Von A. Hörler und H. R. Rhein, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) an der ETH, Zürich

### 1. Einleitung

Für verschiedene Probleme der Wasserwirtschaft ist die Kenntnis der Niederschlagsverhältnisse von ausschlaggebender Bedeutung. In der Kanalisationstechnik spielen vor allem die Intensitäten der Starkregenfälle kurzer Dauer für die Dimensionierung der Kanalquerschnitte eine wichtige Rolle. Der projektierende Ingenieur wird sich stets darüber Rechenschaft geben müssen, wie häufig Rückstauerscheinungen im Kanalisationsnetz in Kauf genommen werden können. Er wird somit im Benehmen mit dem kantonalen Gewässerschutzamt festlegen, innert wieviel Jahren Ueberlastungen der Kanäle in Kauf genommen werden dürfen, und die Regenintensitätskurve der entsprechenden Häufigkeit seinem Projekt zu Grunde legen.

Die meisten heute in der Schweiz angewendeten Regenintensitätskurven sind nach unterschiedlichen Verfahren ermittelt worden, so dass diese nicht miteinander verglichen werden können. Die in den Projekten angegebenen Häufigkeiten der Intensitäten entsprechen oft den tatsächlichen Verhältnissen nicht. Für Deutschland haben Prof. F. Reinhold, Darmstadt, und seine Mitarbeiter im Jahre 1936 bzw. 1940 einheitliche Auswerteverfahren für die Ermittlung der Regenintensitätskurven aus Regenmessstreifen veröffentlicht [1] [2]<sup>1)</sup> und damit für ganz Deutschland vergleichbare Werte erhalten. Dieses Auswerteverfahren hat A. Kropf, Zürich, damals Chef der technischen Abteilung der EAWAG, im Jahre 1944 übernommen, um wenigstens für die Stadt Zürich Regenintensitätskurven nach neueren Auswertemethoden zu erhalten, die zudem mit den deutschen Kurven verglichen werden können. Im Verlaufe der Jahre wurden die von A. Kropf in der Schweiz. Bauzeitung veröffentlichten Intensitätskurven [3] zahlreichen Kanalisationsprojekten zu Grunde gelegt, wobei die für Zürich geltenden Werte oft gefühlsmässig den örtlichen Witterungsverhältnissen angepasst oder auch unbesehen übernommen wurden. Es schien uns deshalb notwendig, die Auswertearbeit auf sämtliche Schreibregenschreiber (Pluviographen) der Schweiz auszuweiten, soweit uns die Diagramme zugänglich waren und deren Registrierung wenigstens einen Zeitraum von zehn Jahren, wenn möglich jedoch 30 Jahre, umfasste. Die Streifen wurden grundsätzlich nach dem von Prof. Reinhold empfohlenen Verfahren ausgewertet. Die Verarbeitung der Auswertergebnisse erfolgte jedoch im Gegensatz zu dem von Reinhold eingeschlagenen Vorgehen nach statistischen Methoden<sup>2)</sup>.

### 2. Vorhandenes Beobachtungsmaterial

Da in der Stadt Zürich sechs Pluviographen vorhanden sind und die Stadt St. Gallen deren drei besitzt (die Regenstreifen des in Rotmonten aufgestellten Schreibregenschreibers wurden bereits früher ausgewertet [4]), war anzunehmen, dass ein dichtes Netz registrierender Intensitätsmesser in der Schweiz vorhanden sei. Nach den Angaben der Meteorologischen Zentralanstalt sind jedoch nur 17 Ortschaften in der Schweiz im Besitze solcher Apparate, von denen drei<sup>3)</sup> für die Auswertung dahin fielen, weil nur Beobachtungsmaterial über wenig Jahre zur Verfügung stand. Zur besseren Uebersicht sind deshalb auch zwei an die Schweiz angrenzende ausländische Beobachtungsstationen mit zur Auswertung gelangt (Como und Bregenz).

1) Die eckig eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

2) Anmerkung: Eine ausführliche Darstellung über «Die Intensitäten der Starkregen in der Schweiz» ist in der Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie vorgesehen.

3) Altdorf, Genf, Luzern.

Ausgewertet wurden die Regenmessstreifen der in Tabelle 1 aufgeführten Beobachtungsstationen. Zu einzelnen davon sei noch folgendes bemerkt:

a) Die Station Pratteln besass Streifen von elf Beobachtungsjahren. Die Auswertung dieses Beobachtungsmaterials und der Vergleich mit den 30jährigen Beobachtungswerten der benachbarten Stadt Basel ergab, dass für Pratteln praktisch die selben Regenintensitätskurven angewendet werden können wie für Basel.

b) In der Stadt Thun befindet sich der Regenschreiber auf einem etwa 25 m hohen Turm. Nach Beobachtungen in München sollen Regenschreiber, die auf Türmen installiert

Tabelle 1. Auswertung der Regenmessstreifen von 16 Beobachtungsstationen

Ort	Ausgewertete Streifen der Jahre	Ausgewertet durch	Anzahl ausgewertete Jahre (S)	Ausgewertete Regenfälle (p <sub>s</sub> )
Basel	1925—1954	E. Holinger, Liestal/ EAWAG	30	576
Bern	1928—1957	EAWAG	30	710
Davos (GR)	1930—1959		30	526
Lausanne (VD)	1935—1957		23	545
Locarno-Monti (TI)	1935—1958	A. Rima, Locarno [5]	24	872
Neuchâtel	1950—1959	EAWAG	10	234
Pratteln (BL)	1949—1959		11	298
Rorschach (SG)	1954—1960 <sup>1)</sup>		6	100
St. Gallen	1924—1953 <sup>2)</sup>	A. Hörler, Zürich/ EAWAG	25	599
Schaffhausen	1925—1958 <sup>3)</sup>	EAWAG	30	769
Sion (VS)	1952—1960		9	206
Thun (BE)	1940—1959		20	445
Uster (ZH)	1941—1960		20	392
Zürich	1927—1956 <sup>4)</sup>	A. Kropf, Zürich/ EAWAG	30	(394)
Bregenz (A)	1933—1938 1949—1957	EAWAG	15	537
Como (I)	1930—1959 <sup>5)</sup>	A. Rima, Locarno [6]	29	980

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) Como: 1945 nicht ausgewertet.

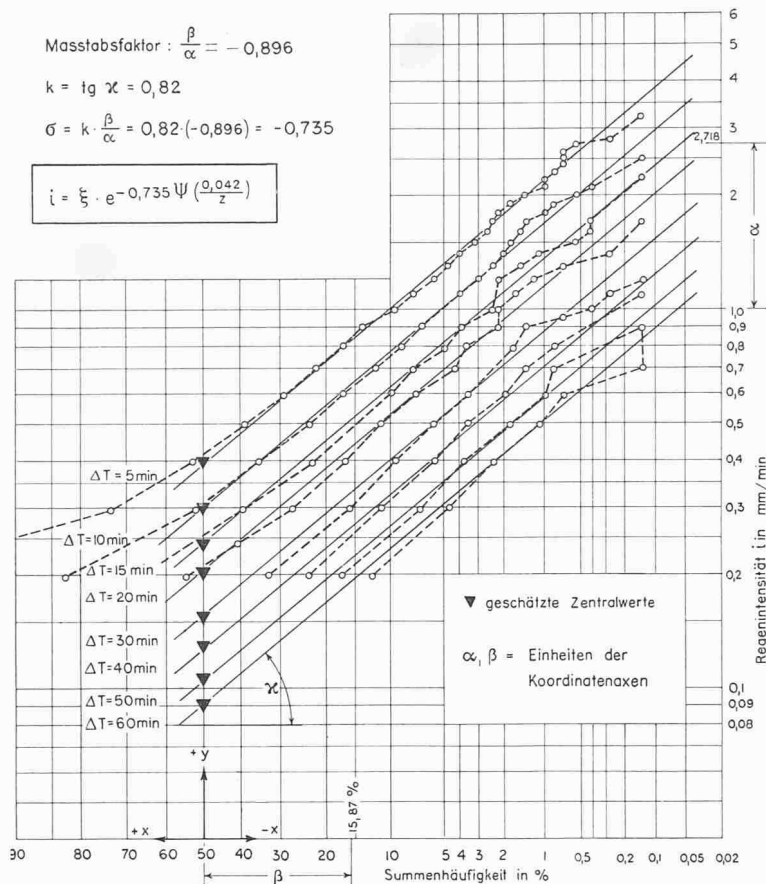


Bild 1. Summenhäufigkeitsdiagramm

sind, etwas kleinere Regenintensitäten ergeben als Geräte, die auf dem Boden aufgestellt sind. Dies würde nahelegen, für Thun die nämlichen Regenintensitäten anzuwenden wie für die Stadt Bern.

c) Da die Regenintensitätskurven der Stadt Zürich aus Regenstreifen der Jahre 1912 bis 1941 abgeleitet wurden [3], für die übrigen Stationen jedoch neuere Perioden berücksichtigt worden sind, so hielten wir es für notwendig, die Regenintensitätskurven der Stadt Zürich durch Berücksichtigung der Beobachtungsperiode von 1927 bis 1956 dem übrigen Beobachtungsmaterial anzupassen.

### 3. Allgemeine Grundlagen

Die Regenintensität kann entweder als Regenstärke  $i$  in Millimetern pro Minute oder als Regenspende  $r$  in Litern pro Sekunde und Hektare angegeben werden. Beide Werte besagen das gleiche; es handelt sich dabei nur um einen Wechsel der Masseinheiten.

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

Aus  $1 \text{ mm/min} = 10\,000 \text{ l/min.ha} = 166,7 \text{ l/s.ha}$  ergibt sich die Regenspende  $r$  (in der Schweiz meist mit dem Oberbegriff «Regenintensität» bezeichnet) zu

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

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. Statistische Auswertung

Die Auswertung der Regenstreifen der verschiedenen Stationen geschah in der Weise, dass für feste Regendauerstufen von  $\Delta T = 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50$  und  $60$  min (für die

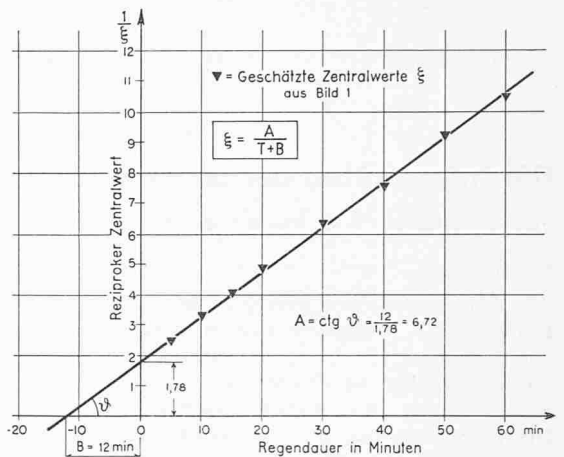


Bild 2. Zusammenhang zwischen Zentralwert und Regendauer

Station Uster entfielen die Regendauerstufen  $\Delta T = 5$  und  $15$  min) die zugehörigen Regenhöhen und daraus die Regenintensitäten ermittelt wurden. Man beschränkte sich darauf, nur Regenfälle zu untersuchen, die in irgend einem Abschnitt die Intensität von  $0,2 \text{ mm/min}$  überschritten, um die Auswertarbeit auf ein praktisches Mass zu verkürzen. Für Sion musste diese untere Auswertgrenze auf  $0,1 \text{ mm/min}$  herabgesetzt werden, damit genügend Fälle für die Auswertung vorhanden waren. So wurden durchschnittlich pro Beobachtungsjahr 20 bis 25 Regenfälle jeder Station analysiert. Das aus der Auswertung anfallende Zahlenmaterial war nun so zu ordnen, dass sich daraus die Beziehungen zwischen der Regenintensität und der Regendauer einerseits, sowie der jährlichen Häufigkeit andererseits herleiten liessen.

Dabei wurden Intensitätsintervalle mit einer Intervallgrösse von  $\Delta i = 0,1 \text{ mm/min}$  gebildet, also Intervalle von  $0,01 \div 0,10$ ;  $0,11 \div 0,20$ ;  $0,21 \div 0,30 \text{ mm/min}$  usw. Für jedes dieser Intervalle wurde die Anzahl ( $n_i$ ) der in der Beobachtungsperiode eingetretenen Fälle ermittelt und zwar für jede Station und jede Regendauerstufe getrennt. Es hatte sich gezeigt, dass diese Anzahlen der Regenfälle der einzelnen Regenintensitätsintervalle in allen Fällen schiefe Häufigkeitsverteilungen aufweisen. Im Gegensatz zu den bisherigen Auswertungen wurde als Ziel gesetzt, die Verteilungsfunktionen für diese Anzahlen in jeder Regendauerstufe zu bestimmen und hernach die Relation der Verteilungsfunktionen mit der Regendauer zu suchen. Bei der Genauigkeit des vorliegenden Rohmaterials genügt eine Verteilungsfunktion, die zwei statistische Parameter enthält, vollauf [7]. Ebenfalls reicht es aus, wenn diese Parameter auf graphische Weise ermittelt werden. Für die Regenintensitäten lässt sich die Verteilungsfunktion am besten durch eine «logarithmische Normalverteilung» darstellen. Es ist dies eine von der Gauss'schen Verteilung abgeleitete Form, wobei der Logarithmus der Variablen betrachtet wird (Grundlagen in [8], [9] und [10]).

Um die Parameter der Verteilungsfunktionen bestimmen zu können (Zentralwerte  $\xi$  und Streuungen  $\sigma$ ), benötigen wir die sogenannten Summenhäufigkeiten ( $P_i$  in %) jeder Regendauerstufe. Die Summenhäufigkeit ist diejenige Häufigkeit, mit der in der beobachteten Zeitspanne die Intensität einen bestimmten Betrag  $i$  (mm/min) erreicht oder überschreitet. Man hat also den Quotienten aus der Summe der Anzahlen aller Regenfälle grösser als den Betrag  $i$  ( $= p_i$ ) und der Gesamtsumme aller beobachteten Fälle ( $= p_s$ ) wie folgt zu bilden:

$$p_i = \sum_i^{\infty} n_i ; p_s = \sum_0^{\infty} n_i ; P_i (\%) = \frac{p_i}{p_s} \cdot 100 \%$$

Diese Summenhäufigkeiten können leicht aus den schon vorher ermittelten Anzahlen der Regenfälle in den einzelnen Intensitätsintervallen errechnet werden.

Zu erklären bleibt noch der Zusammenhang zwischen der Summenhäufigkeit und der jährlichen Häufigkeit  $n$ , bzw. ihrem reziproken Wert  $z$ . Man betrachte einen Zeitraum von  $S$  Jahren. Soll ein bestimmter Intensitätswert durchschnittlich alle Jahre einmal überschritten werden, so müssen in diesem Beobachtungszeitraum  $S$  solcher Fälle eintreten. Soll allgemein die Ueberschreitung des Intensitätswertes mit einem durchschnittlichen Intervall von  $z$  Jahren eintreffen, so können wir erwarten, dass er im Beobachtungszeitraum soviel mal eintritt, als das Intervall  $z$  Jahre im Beobachtungszeitraum  $S$  Jahre enthalten ist. Es folgt somit  $p_i = S/z$  und weiter.

$$(1) \quad P_i = \frac{S}{p_s \cdot z} = \frac{\lambda}{z}, \text{ wobei } \lambda = \frac{S}{p_s}$$

Der Wert  $1/\lambda$  ergibt die Zahl der pro Beobachtungsjahr durchschnittlich ausgewerteten Regenfälle.

Um die Parameter der Verteilungsfunktionen zu bestimmen, wurden die Werte mit Hilfe von sogenannten Wahrscheinlichkeitsnetzen (Abszissenachsen nach dem Gauss'schen Integral, Ordinatenachsen logarithmisch geteilt) weiterverarbeitet (Bild 1, Beispiel Bern). Allgemein ergab sich folgender formaler Zusammenhang:

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

wobei  $i$  = Regenintensität in mm/min;

$\xi$  = Zentralwert (Parameter der Verteilungsfunktion). Der Zentralwert ist von der Regendauer abhängig;

$\sigma$  = Streuung (Parameter der Verteilungsfunktion). Die Streuung  $\sigma$  ergab sich in allen Fällen von längeren Beobachtungsperioden als unabhängig von der Regendauer, d. h. konstant für eine Station.

$\Psi(P_i)$  = Umkehrfunktion der Gauss'schen Integralfunktion nach untenstehender Definition:

$$P_i = \Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{x^2}{2}} \cdot dx; \quad u = \Psi(P_i)$$

(Tabellen für  $\Psi(P)$  in [10])

Der Zusammenhang zwischen Zentralwert  $\xi$  und Regendauer  $T$  ergibt sich durch Auftragen der Reziprokwerte  $1/\xi$  in Funktion von  $T$ . Diese Werte liegen praktisch auf einer Geraden. Man hat den Ansatz:

$$(3) \quad 1/\xi = aT + b \quad \text{somit gilt} \quad \xi = \frac{A}{T+B}$$

Die tatsächlichen Werte für die Koeffizienten  $A$  und  $B$  können den entsprechenden Diagrammen entnommen werden (Bild 2, Beispiel Bern).

Da die Abhängigkeit der Summenhäufigkeit von der jährlichen Häufigkeit bekannt ist, kann man die *Grundgleichung* für die Regenintensität als Funktion von Regendauer und jährlicher Häufigkeit wie folgt anschreiben:

$$(4) \quad i = f(T, z) = \frac{A}{T+B} \cdot e^{\sigma \cdot \Psi\left(\frac{\lambda}{z}\right)}$$

Mit dieser Gleichung lassen sich die geglätteten Werte der Regenintensität für jede beliebige Regendauer zwischen 5 und 60 Minuten und die gebräuchlichen Häufigkeiten berechnen. Die ermittelten Werte der verschiedenen Koeffizienten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

#### 5. Formeln für die Anwendung in der Praxis

Aus Gleichung 4 ist ersichtlich, dass sich die Regenstärke  $i$  als Produkt von zwei Faktoren darstellen lässt, die nur noch je eine Variable  $T$  bzw.  $z$  enthalten. Wird die Regenstärke  $i$  in mm/min durch die in der Praxis übliche Regenintensität in l/s.ha ersetzt, so lässt sich Gl. 4 wie folgt schreiben:

$$(5) \quad r_T^{(z)} = G \cdot \varphi_T \cdot h_z$$

Es bedeutet:

$r_T^{(z)}$  = Regenintensität  $r$  in l/s.ha eines Regens von  $T$  Minuten Dauer, die alle  $z$  Jahre im Durchschnitt einmal erreicht oder überschritten wird.

$G$  = Grundzahl in l/s.ha = Intensität eines Regens von 15 Minuten Dauer, die alle Jahre im Durchschnitt einmal erreicht oder überschritten wird (a. o. auch mit  $r_{15}^{(1)}$  bezeichnet).

$\varphi_T$  = Zeitbeiwert nach Imhoff [11], eine Grösse, die nur von der Regendauer  $T$  abhängt.

$h_z$  = Häufigkeitsfaktor.

Zu den drei Faktoren ist folgendes zu sagen:

1. Die *Grundzahl*  $G$  lässt sich aus Gl. 1 berechnen, indem die Regendauer  $T = 15$  min und die jährliche Häufigkeit  $n = 1$  bzw.  $z = 1/n = 1$  eingesetzt wird. Da 1 mm/min 166,7 l/s.ha entspricht, ist noch mit diesem Faktor zu multiplizieren. Die Grundzahl in l/s.ha ergibt sich dann zu

$$(6) \quad G = 166,7 \cdot \frac{A}{15+B} \cdot e^{\sigma \cdot \Psi(\lambda)}$$

Alle Koeffizienten sind für einen bestimmten Fall aus der Auswertung bekannt.

2. Der *Zeitbeiwert*  $\varphi_T$  muss nach Definition für eine Regendauer von 15 min zu eins werden. Er nimmt deshalb folgende Form an

$$(7) \quad \varphi_T = \frac{15+B}{T+B}$$

Dabei ist  $B$  eine Ortskonstante und  $T$  die Regendauer. Beide werden in Minuten angegeben. Der Verlauf der Regenintensitätskurve wird durch den Zeitbeiwert bedingt. Je grösser der Wert  $B$ , um so flacher verläuft die Regenintensitätskurve.

3. Der *Häufigkeitsfaktor*  $h_z$  kann wie folgt angeschrieben werden

$$(8) \quad h_z = \mu \cdot e^{\sigma \cdot \Psi\left(\frac{\lambda}{z}\right)}$$

Nach Definition der Grundzahl  $G$  muss der Faktor  $\mu$  so gewählt werden, dass  $h_z$  für die einjährige Häufigkeit ( $n = z = 1$ ) zu eins wird. Daraus ergibt sich

$$\mu = e^{-\sigma \Psi(\lambda)}$$

Zur Berechnung des Häufigkeitsfaktors sind Tafeln für die Umkehrfunktion der Gauss'schen Integralfunktion erforderlich. Eine *Näherungsformel*, die für den praktischen Gebrauch genügend genau sein dürfte, lautet

$$(9) \quad h_z \approx 1 + C \cdot \log z$$

wobei  $C$  eine Ortskonstante bedeutet. Diese Näherungsformel ergibt für die ein- und zehnjährigen Regenintensitäten ( $z = 1$  und 10) den theoretischen Wert der Gleichung 8. Für die übrigen Werte (bis  $z = 20$ ) beträgt die Abweichung weniger als 5 %. Die Ortskonstanten  $G$ ,  $B$  und  $C$  sind in der Tabelle 2 aufgeführt. Sie können auch Bild 3 entnommen werden.

Fasst man noch die Zahlen  $G$ ,  $B + 15$  und  $h_z$  in der Weise zusammen, dass  $K = G \cdot (B + 15) \cdot h_z$ , so kann die Gleichung für die Regenintensität auf eine besonders einfache Form gebracht werden, die sich für das Arbeiten in der Praxis speziell eignet.

$$(10) \quad r_T^{(z)} = \frac{K}{T+B}$$

$r$  = Regenintensität in l/s.ha

$z$  = Anzahl Jahre, innert welchen  $r$  im Mittel einmal erreicht oder überschritten wird

$T$  = Regendauer in Minuten

$K = G(B + 15) \cdot h_z$ , ein Wert, der für eine gegebene Station nur von  $z$  abhängt.

$B$  = Ortskonstante in Minuten

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

In der graphischen Darstellung  $f(r, T)$  gibt die Grundzahl einen Punkt der einjährigen Intensitätskurve bei 15 Minuten Regendauer. Das Produkt  $G \cdot \varphi_T$  liefert die einjährige Regenintensitätskurve. Der Häufigkeitsfaktor  $h_z$  gibt an, mit welcher Zahl die einjährigen Werte multipliziert werden müssen, um diejenige Regenintensitätskurve zu erhalten, die im

LEGENDE:

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

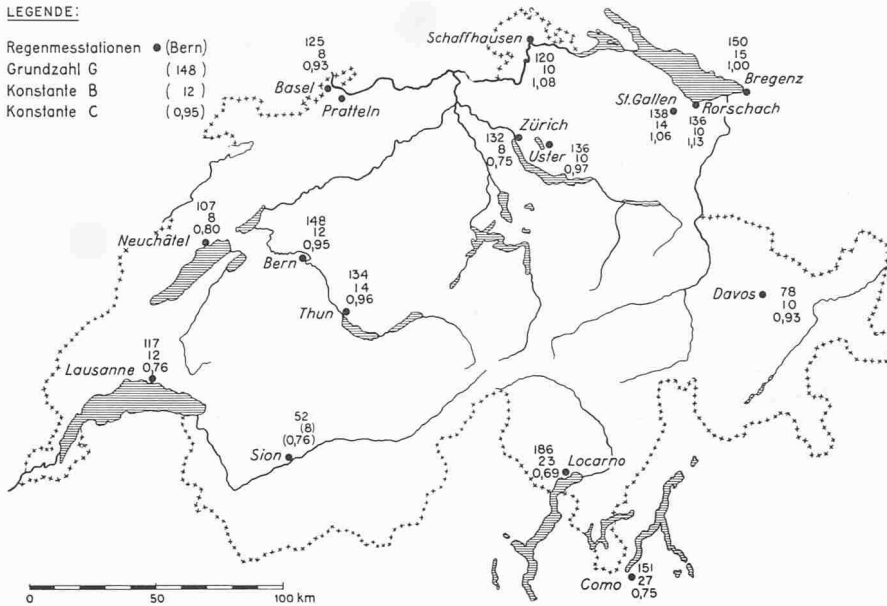


Bild 3. Ausgewertete Regenmessstationen mit ihren Konstanten; Karte 1:3 000 000

Durchschnitt alle  $\approx$  Jahre einmal erreicht oder überschritten wird.

6. Auswertergebnisse

Die Regenintensitätskurven sämtlicher ausgewerteter Beobachtungsstationen, die durchschnittlich einmal pro Jahr erreicht oder überschritten werden, sind in Bild 4 graphisch dargestellt. Daraus geht hervor, dass Locarno und, wenigstens für Regen über 15 Minuten Dauer, auch Como bezüglich Intensität an der Spitze stehen. Extrem niedrige Intensitätswerte weisen Sion und Davos auf. Die Beobachtungsstationen des schweizerischen Mittellandes bilden ein Büschel von Kurven, die zwischen den extrem hohen Werten des Kantons Tessin und den niedrigen Werten im Alpengebiet liegen.

Die Häufigkeitsfaktoren, mit denen die einjährigen Intensitätswerte zu multiplizieren sind, wenn man Kurven anderer Häufigkeit erhalten will, haben wir in Bild 5 zusammen-

Tabelle. 2. Koeffizienten für 16 verschiedene Orte

Ort	G l/s. ha	B min.	C	A	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$
Basel	125	8	0,93	4,74	0,316	-0,707	0,052
Bern	148	12	0,95	6,72	0,280	-0,735	0,042
Davos	78	10	0,93	3,94	0,336	-0,690	0,057
Lausanne	117	12	0,76	6,19	0,328	-0,630	0,038
Locarno-Monti	186	23	0,69	12,81	0,301	-0,622	0,028
Neuchâtel	107	8	0,80	4,86	0,329	-0,645	0,043
Pratteln	(115)	8	0,93	4,25	0,269	-0,735	0,037
Rorschach	136	10	1,13	6,01	0,294	-0,788	0,060
St. Gallen	138	14	1,06	6,00	0,250	-0,800	0,042
Schaffhausen	120	10	1,08	4,29	0,238	-0,815	0,039
Sion 1)	52	(8)	(0,76)	—	var.	var.	0,044
Thun	134	14	0,96	6,73	0,288	-0,734	0,045
Uster	136	10	0,97	6,26	0,305	-0,727	0,051
Zürich 2)	132	8	0,75	—	—	—	—
Bregenz	150	15	1,00	5,36	0,214	-0,807	0,028
Como	151	27	0,75	11,21	0,297	-0,645	0,029

1) Sion: Die Werte B variieren mit der Häufigkeit und der Regendauer. Der Häufigkeitsfaktor variiert mit der Regendauer ( $C=0,76$  gilt für  $T=15$  Min.).

2) Zürich: Wegen Kombination mit Auswertung von A. Kropf können die Koeffizienten A,  $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\lambda$  nicht bestimmt werden.

mengestellt. Die Werte wurden unter Anwendung der Gleichung 8 für Werte bis  $\approx 100$  Jahre extrapoliert. Begnügt man sich mit der Näherungsformel (Gl. 9, so können die Werte C Bild 3 entnommen werden.

Die dem praktisch tätigen Ingenieur gebräuchlichste Darstellung der Regenintensitätskurven ist in Bild 6 für die Stadt Bern wiedergegeben. Das Diagramm vermittelt diejenigen Regenintensitätskurven, die alle 1, 2, 5, 10 bzw. 20 Jahre im Durchschnitt einmal erreicht oder überschritten werden. Aus den mitgeteilten Angaben ist es ohne weiteres möglich, für sämtliche ausgewerteten Stationen solche Regenintensitätskurven aufzustellen.

7. Schlusswort

Vorstehende Arbeit wurde dadurch ermöglicht, dass der Schweiz. Schulrat im Jahre 1958 die Anstellung eines Technikers für die Auswertung und statistische Verarbeitung des Auswertematerials bewilligte. Bei der Meteorologischen Zentralanstalt, Zürich, fanden wir grosses Verständnis und Unterstützung unserer Arbeit. Die Regenmessstreifen wurden unserer Anstalt von den verschiedenen Beobachtungsstationen äusserst bereitwillig zur Verfügung gestellt. Die Regenfälle von Locarno und Como wertete A. Rima, dipl. Ing., Locarno, nach dem oben beschriebenen Verfahren aus und stellte die ausgeglichenen Regenintensitätskurven in verdankenswerter Weise zur Verfügung. Die Auswertung der Regenmessstreifen von Basel erfolgte durch das Ingenieurbüro Ed. Holinger, Liestal. Die Kantone Bern und Baselland und die Gemeinden Uster und Rorschach unterstützten die Auswertearbeit durch Beiträge, die durch kantonale Zuschüsse erhöht werden konnten. Allen, die unsere Arbeit unterstützten, sei an dieser Stelle gedankt!

Adresse der Verfasser: A. Hörler und H. R. Rhein, EAWAG, Physikstrasse 5, Zürich 7/44.

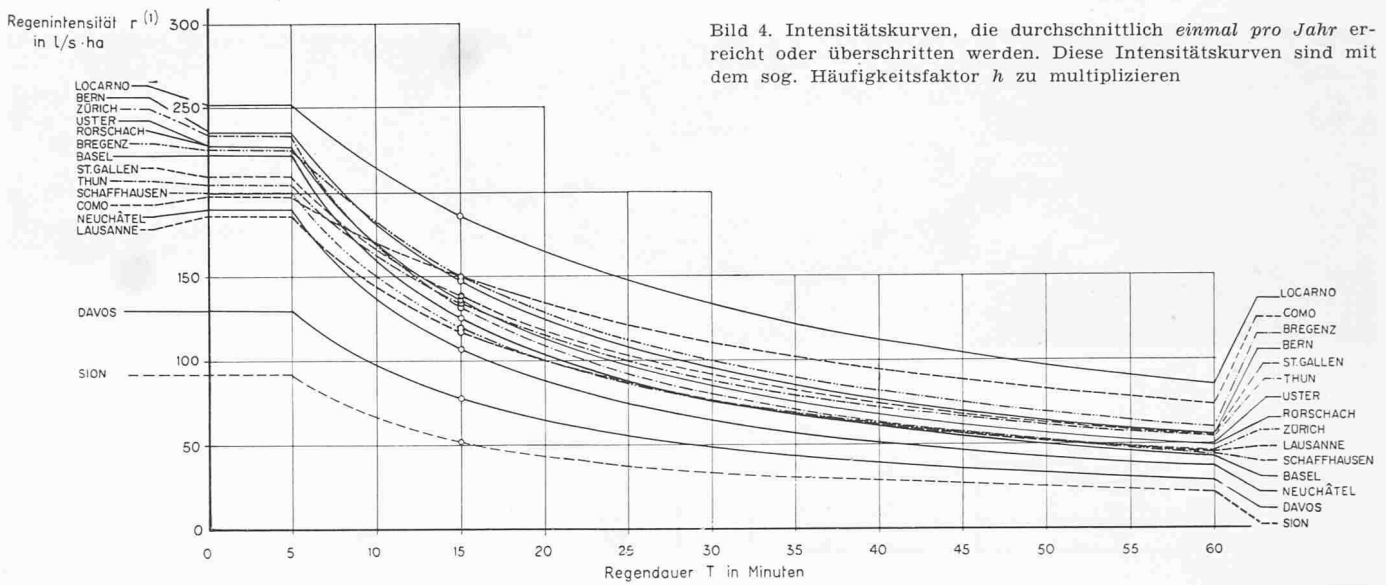


Bild 4. Intensitätskurven, die durchschnittlich einmal pro Jahr erreicht oder überschritten werden. Diese Intensitätskurven sind mit dem sog. Häufigkeitsfaktor  $h$  zu multiplizieren

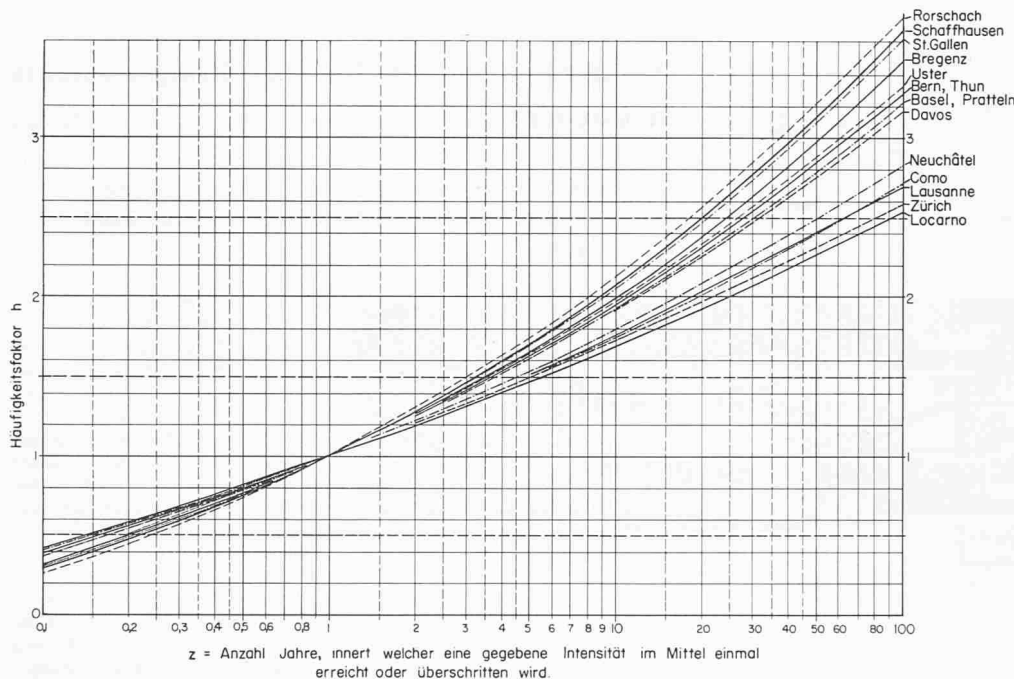


Bild 5. Häufigkeitsfaktoren

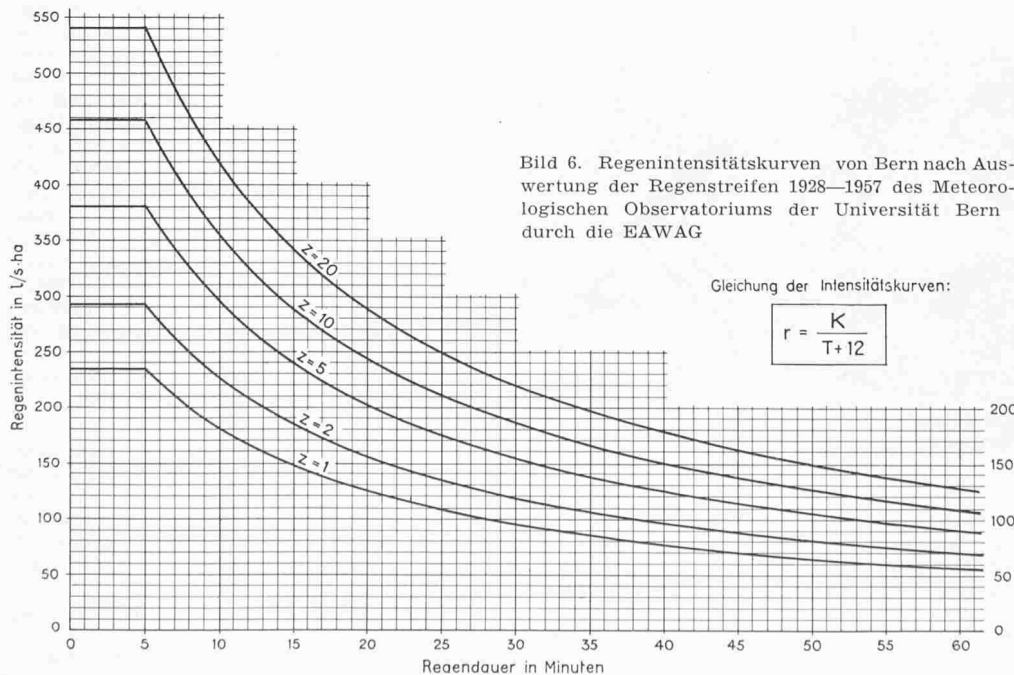


Bild 6. Regenintensitätskurven von Bern nach Auswertung der Regenstreifen 1928—1957 des Meteorologischen Observatoriums der Universität Bern durch die EAWAG

Gleichung der Intensitätskurven:

$$r = \frac{K}{T + 12}$$

### Literaturverzeichnis

- [1] Abwasserfachgruppe der Deutschen Gesellschaft für Bauwesen e. V., Anweisungen zur Auswertung von Schreiberregennemess-Aufzeichnungen f. wasserwirtschaftliche Zwecke (AAR 1936), «Gesundheits-Ingenieur» 60, H. 2, 22/26; H. 3, 40/65; H. 4, 55/61 (1937).
- [2] F. Reinhold, Regenspenden in Deutschland (Grundwerte für die Entwässerungstechnik), «Arch. Wasserwirtsch.» Nr. 56 (Berlin 1940).
- [3] A. Kropf, Auswertung von 30jährigen Aufzeichnungen der Regennemess-Station der MZA in Zürich. «Schweiz. Bauzeitung» 123 Bd., S. 225 (1944).
- [4] A. Hörler, Auswertung von 30jährig. Aufzeichnungen der Regennemess-Station Rotmonten in St. Gallen. Schweiz. Zeitschrift f. Hydrol. Vol. XX, Fasc. 1 (1958).
- [5] Al. Rima, Intensità della pioggia della città di Locarno, Legge delle intensità massime, «Wasser- und Energie-wirtschaft» Nr. 6 (1959).
- [6] Al. Rima, Intensità della pioggia per Chiasso e dintorni, Legge delle intensità massime assolute (dedotta dalle registrazioni pluviografiche di Como), «Rivista tecnica della Svizzera Italiana» Nr. 16 (1961).
- [7] Ven te Chow, Frequency Analysis of Hydrologic Data with Special Application to Rainfall Intensities, «Univ. of Illinois Bull.», Chicago (Juli 1953).
- [8] J. M. Fair & J. C. Geyer, Water Supply and Waste-Water Disposal, John Wiley & Sons, New York (1954).
- [9] A. Hald, Statistical Theory with Engineering Applications, John Wiley & Sons, New York (1957).
- [10] B. L. van der Waerden, Mathematische Statistik. Springer-Verlag, Berlin (1957).
- [11] K. Imhoff, Taschenbuch der Stadtentwässerung. Oldenbourg-Verlag, München, 18. Aufl. (1960).