Auswertung von 30jährigen Aufzeichnungen der Regenmeßstation Rotmonten in St. Gallen

Von Dipl.-Ing. A. HÖRLER

Chef der technischen Abteilung der EAWAG
Mitteilung Nr. 132 der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung
und Gewässerschutz an der ETH, Zürich. Direktor: Prof. Dr. O. JAAG

Manuskript eingegangen am 26. September 1957

1. Einleitung

Es sind jetzt mehr als 12 Jahre her, seit Dipl.-Ing. A. KROPF [1]¹⁾, damaliger Chef der Beratungsstelle für Abwasserreinigung und Trinkwasserversorgung an der ETH, in der Schweizerischen Bauzeitung seine vielbeachteten Auswertungsergebnisse der Regenstreifen der Stadt Zürich veröffentlichte. Diese dienten zur hydraulischen Berechnung von Kanalisationen und wurden seither nicht nur für die Region Zürich angewendet, sondern mangels systematischer Auswertung von Schreibregenschreiber-Aufzeichnungen anderer Städte auch bei Kanalisationsprojekten von Gemeinden anderer Kantone zugrunde gelegt.

Neben diesen Auswertungen dienen in verschiedenen Städten der Schweiz Regenintensitätskurven der Dimensionierung von Kanalisationen, die nach ganz verschiedenen Grundsätzen und Richtlinien ausgewertet worden sind, so dass ein Vergleich mit der systematischen Auswertung der Regenintensitäten der Stadt Zürich nicht möglich ist. Da zudem oft Auswertungsmethoden angewendet wurden, die bezüglich der Häufigkeit des Eintretens von Starkregenfällen bestimmter Intensität und Dauer ein ungenaues oder sogar falsches Bild ergeben, ist bei der Verwendung solcher Intensitätskurven Vorsicht am Platze.

Während in Deutschland eine einheitliche Auswertung der Niederschläge von 144 Regenmeßstellen vorliegt [2], die nach dem von Prof. REINHOLD, Darmstadt, veröffentlichten Auswerteverfahren [3] vorgenom-

¹⁾ Die Ziffern in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis, Seite 40.

men wurde, so dass die Ergebnisse untereinander verglichen werden können, besteht für die Schweiz keine ähnliche Auswertung, mit Ausnahme der für Zürich erhobenen Werte. Es wäre deshalb sehr zu begrüßen, wenn die Ermittlung der Regenintensitäten nach dem von REINHOLD vorgeschlagenen Verfahren, das sich speziell für wasserwirtschaftliche Zwecke eignet, auch für andere Ortschaften vorgenommen würde, die über einen seit mindestens 30 Jahren in Tätigkeit befindlichen Schreibregenschreiber (Pluviographen) verfügen.

Als Beitrag zu dieser umfassenden Auswertearbeit seien im folgenden die Auswertungsergebnisse der Regenbeobachtungen von St. Gallen bekanntgegeben, die ebenfalls nach den *Anweisungen zur Auswertung von Schreibregenschreiber-Aufzeichnungen* vorgenommen wurden.

2. Allgemeine Grundlagen

Da heute die Dimensionierung von Kanalisationen nach der Fließzeitmethode vorherrscht, ist die Kenntnis des Zusammenhanges zwischen Regenintensität und Regendauer für die der Berechnung zugrunde gelegte jährliche Regenhäufigkeit von wesentlicher Bedeutung.

Die Regenintensität wird angegeben entweder als Regenstärke i in Millimeter pro Minute, oder als Regenspende r in Liter pro Sekunde je Hektare. Die letzterwähnte Angabe ist die häufigere, da sie sich zur direkten Berechnung der Regenwassermenge an einer bestimmten Stelle eines Kanalisationsnetzes am besten eignet. In der Schweiz ist es gebräuchlich, die Regenspende ebenfalls mit dem übergeordneten Begriff als «Regenintensität» zu bezeichnen.

Die Regenstärke ergibt sich aus der Beziehung

$$i = \frac{N}{T} \text{ [mm/min]},$$

die Regenspende aus der Beziehung

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

wobei N = Regenhöhe in Millimeter und T = Regendauer in Minuten.

Die jährliche Häufigkeit n gibt an, wie oft innert eines Jahres ein Regen erreicht oder überschritten wird. Umgekehrt gibt die Zahl z an, innert wieviel Jahren ein Regen bestimmter Intensität und Dauer erreicht wird. Es gilt somit die Beziehung

$$nz = 1.$$

Jede bestimmte Regenspende r ist durch zwei Indizes charakterisiert, nämlich durch die Zahl z und T , das heisst durch die Anzahl Jahre, innert welchen durchschnittlich das Ereignis einmal eintritt, und durch die Regendauer in Minuten. Diese Indizes werden wie folgt angeordnet: $r_T^{(z)}$. So bedeutet zum Beispiel $r_{15}^{(5)}$ denjenigen Regen von 15 Minuten Dauer, der alle 5 Jahre einmal erreicht wird.

Für das eingehendere Studium sämtlicher Fragen bezüglich der Auswerteverfahren, Genauigkeit, Fehlerausgleichung usw. sei auf die Fachliteratur verwiesen [1–5].

3. Das zur Auswertung zur Verfügung stehende Material

Die Stadt St. Gallen besitzt Schreibregennmesser in Rotmonten und Sankt Georgen. Da die Aufzeichnungen in Rotmonten seit 1924 bis 1953 fast durchgehend vorhanden waren, wurde die Meßstelle Rotmonten zur Auswertung herangezogen. Nur die Regenfälle in den Jahren 1933 und 1934 mussten von der Meßstelle St. Georgen übernommen werden, da die Regenstreifen Rotmonten in diesen Jahren merkbare Lücken aufwiesen. Zudem mussten zur Deckung lückenhafter Monate noch auf Regenstreifen der Monate Juni (St. Georgen) und August (Rotmonten) des Jahres 1954 gegriffen werden. Es zeigt sich immer wieder, dass es schwierig ist, lückenlose Aufzeichnungen der Regenfälle über 30 Jahre zu erhalten. Obgleich auch in St. Gallen Regen nicht über das ganze Jahr registriert werden, sondern nur während der Sommermonate (Mai bis Oktober/November), genügt das vorhandene Auswertematerial, da die für die Auswertung massgebenden Starkregen auf die Sommermonate entfallen.

4. Die Auswertung

Diese erfolgte nach dem von REINHOLD entwickelten Verfahren. Aus Mangel an Arbeitskräften musste jedoch danach getrachtet werden, mit einem Minimum an Auswertearbeit auszukommen. Deshalb wurden die untersuchten Starkregen nur für 10, 20, 30 und 60 Minuten Regendauer ausgewertet. Diese bewusste Reduktion der Auswertearbeit geht selbstverständlich auf Kosten der Verfeinerung der Intensitätskurve. Die hydraulische Berechnung der Kanalisationen weist jedoch Faktoren auf, die bedeutend unsicherer sind als die Regenintensität, selbst bei einer Reduktion der Auswertearbeit auf 4 Punkte pro Intensitätskurve, weshalb die

Genauigkeit vorliegender Auswertung für die praktischen Zwecke genügen dürfte.

5. Resultate der Auswertung

Die Regenspenden r , geordnet nach Regendauer T und der jährlichen Häufigkeit n bzw. der Anzahl Jahre z , innert welchen eine Überschreitung zu erwarten ist, gehen aus der Tabelle 1 hervor. In dieser Tabelle sind die ausgewerteten Originalwerte ohne jede Ausgleichung der Resultate wiedergegeben.

Tabelle 1

n bzw. z	2	1	1/2	1/3	1/5	1/6	1/10	1/15	1/30
	1/2	1	2	3	5	6	10	15	30
Regen- dauer T min	Regenspende [l/s · ha]								
	$r_T^{(1/2)}$	$r_T^{(1)}$	$r_T^{(2)}$	$r_T^{(3)}$	$r_T^{(5)}$	$r_T^{(6)}$	$r_T^{(10)}$	$r_T^{(15)}$	$r_T^{(30)}$
10	123	170	217	250	284	333	374	377	384
20	87	118	158	197	217	225	234	250	250
30	63,5	83,3	130	150	160	178	183	195	214
60	40,0	51,7	73,5	81,7	91,7	105	112	112	114

Die Ausgleichung der erhaltenen Werte erfolgte derart, dass vorerst die je 9 Werte für $T = 10, 20, 30$ und 60 Minuten als Funktion von z dargestellt wurden (Abb. 1). Dabei zeigte sich, dass eine Gleichung

$$r = \frac{z}{a + b z}, \quad (1)$$

wobei a und b für einen Regen bestimmter Dauer Konstanten bedeuten, geringere Abweichungen aufweist als die Darstellung im logarithmischen Netz.

Um einen Ausgleich nach der Korrelationsrechnung zu ermöglichen, wurden die Auswertergebnisse in einem Koordinatennetz mit z/r als Ordinate und z als Abszisse dargestellt. Damit ergeben sich für die Werte bestimmter Regendauer gerade Linien, da

$$y = \frac{z}{r} = a + b z \quad (1^*)$$

wird. In Abbildung 2 sind die Beobachtungswerte samt den Ausgleichsgeraden dargestellt. Jede Gerade ist somit durch 9 Punkte festgelegt, an-

Abbildung 1

Regenintensitätskurven $r = f(z)$.

Die gestrichelten Kurven entsprechen den in Abbildung 2 dargestellten ausgeglichenen Geraden.

Abbildung 2
Regenintensitätskurven $z/r = f(z)$.

Abbildung 3
Werte a und b in Funktion der Regendauer T .

statt nur durch 4 Punkte, wie dies bei Wahl von z als Parameter der Fall gewesen wäre.

Um die in der Kanalisationstechnik gebräuchliche Darstellung (Ordinate = Regenintensität r , Abszisse = Regendauer T in Minuten) und zugleich eine Schar ausgeglichener Kurven $r = \text{Funktion von } T$ mit z als Parameter zu erhalten, wurde vorerst die den Regenzeiten 10, 20, 30 und 60 Minuten zugeordneten Konstanten a und b in Funktion von T dargestellt und für a und b ein ausgeglichenes Geradenpaar erhalten (Abb. 3), das die Gleichungen

$$a = \alpha_1 + \alpha_2 T = 0,002608 + 0,00011443 T, \quad (2a)$$

$$b = \beta_1 + \beta_2 T = 0,0012609 + 0,00011822 T \quad (2b)$$

befolgt, wobei $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ wieder konstante Werte bedeuten.

Setzt man die Gleichungen (2a) und (2b) in Gleichung (1) ein, so erhalten wir

$$r = \frac{z}{(\alpha_1 + \beta_1 z) + (\alpha_2 + \beta_2 z) T} \quad (3)$$

oder für einen bestimmten Wert von z ($z = \text{const}$):

$$r_T = \frac{C}{B + T} \quad (C, B = \text{const}), \quad (4)$$

entsprechend der von REINHOLD [3] ermittelten Beziehung, die sich für die Regenintensitäten von Deutschland als Spezialfälle der allgemeinen Gleichung (5)

$$r = \frac{C}{(B + T)^\alpha} \quad (5)$$

ergeben. Durch die angegebenen Zahlenwerte der Gleichungen (2a) und (2b) kann die ausgeglichene Regenintensität r für jede beliebige Regendauer und jede beliebige Anzahl Jahre z , in denen der gewählte Regen erreicht wird, errechnet werden.

In Abbildung 4 sind die ermittelten Werte und die ausgeglichenen Kurven r als Funktion der Regendauer T dargestellt. Die nachfolgende Tabelle 2 gibt für bestimmte Werte von T und z die zugehörigen ausgeglichenen Werte für die Regenintensitäten wieder.

Abbildung 4
Regenintensitätskurven r in Funktion der Regendauer T .

Tabelle 2

n bzw. z	1	1/2	1/3	1/5	1/10	1/15	1/20	1/30
	1	2	3	5	10	15	20	30
Regen- dauer T min	Regenintensitäten r [l/s · ha]							
5	199	291	343	402	461	484	497	511
10	161	232	271	313	355	371	380	389
15	136	192	233	256	288	301	308	315
20	117	165	190	217	243	253	258	264
25	103	144	166	188	210	218	223	227
30	92,2	128	147	166	185	192	196	200
35	83,3	115	132	149	165	171	175	178
40	75,9	104	119	135	149	155	158	161
45	69,7	95,6	109	123	136	141	143	146
50	64,5	88,2	101	113	125	129	132	134
55	60,0	81,9	93,2	105	116	120	122	124
60	56,1	76,4	86,9	97,6	108	111	113	115

Die mittleren Abweichungen der Werte der Tabelle 2 gegenüber den Werten der Tabelle 1 betragen:

T [min]	$l/s \cdot ha$
10	$\pm 19,8$
20	$\pm 8,6$
30	$\pm 8,1$
60	$\pm 4,5$
bzw. insgesamt $\pm 11,7$	

6. Vergleich der Regenintensitäten von Zürich mit denjenigen von St. Gallen

Die Regenintensitäten von Zürich und St.Gallen, sowohl für die sogenannte Grundzahl $r_{15}^{(1)}$ als auch für die übrigen Häufigkeiten der Regen von 15 Minuten Dauer, sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3

Z	1 Jahr	2 Jahre	5 Jahre	10 Jahre	30 Jahre
	Regenintensitäten: $[l/s \cdot ha]$ $T = 15$ min				
St.Gallen	136	192	256	288	315
Zürich	107	135	161	192	230
St. Gallen weist somit gegenüber Zürich höhere Regenintensitäten auf, und zwar um					
	27%	42%	59%	50%	37%

Die Regenintensitäten gleicher Häufigkeit und gleicher Regendauer liegen also in St.Gallen zum Teil wesentlich höher als in Zürich, wie aus dem in obiger Tabelle aufgeführten Beispiel für Regen von 15 Minuten Dauer hervorgeht.

Bei der statistischen Auswertung des Zahlenmaterials hat mir Herr Dr. A. KÄELIN (Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH, Abteilung für Hydrologie) wertvolle Ratschläge erteilt. Zu danken habe ich ferner dem Tiefbauamt der Stadt St.Gallen für die Überlassung der Regen-

streifen sowie meiner Frau und meinem Sohne für ihre Mitarbeit bei der Auswertung der Regendiagramme.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] A. KROPF, *Auswertung von 30jährigen Aufzeichnungen der Regenmeßstation der meteorologischen Zentralanstalt Zürich*, Schweiz. Bauztg. 123 (1944).
- [2] F. REINHOLD, *Regenspenden in Deutschland* (Grundwerte für die Entwässerungstechnik), Arch. Wasserwirtschaft, Nr. 56 (Berlin 1940).
- [3] Abwasserfachgruppe der Deutschen Gesellschaft für Bauwesen e.V., *Anweisung zur Auswertung von Schreibrainmesser-Aufzeichnungen für wasserwirtschaftliche Zwecke* (AAR 1936), Gesundheitsingenieur 60, H.2, 22/26; H.3, 40/45; H.4, 55/61 (1937).
- [4] G. M. FAIR und J. C. GEYER, *Water Supply and Waste-Water Disposal*, (Verlag J. Wiley & Sons, New York 1954).
- [5] VEN TE CHOW, *Frequency Analysis of Hydrologic Data with Special Application to Rainfall Intensities*, Univ. Ill. Bull. 1953 (Juli).