Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 83/84 (1924)

Heft: 12

Artikel: Die Dimensionierung städtischer Kanäle

Autor: Melli, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-82868

INHALT: Die Dimensionierung städtischer Kanäle. — Die Siedelung „Wasserhaus“, Neue-Welt bei Basel. — Personenzug-Dampflokomotiven mit vier gekuppelten Achsen. — Die schweizerischen Eisenbahnen im Jahre 1923. — Miscellanea: Technische Veranstaltung für Feuerschutz in Zürich. — Kantonale Bernische Ausstellung Burgdorf 1924. Die Ausstellungen in Winterthur 1924. Das Zeppelin-Luftschiff L. Z. 126. Ausbau des Rheins zwischen Basel und Bodensee. Neues Tachymeter, System Kourkène. Drehstromkabel für 66000 Volt. Anschluss der Thunersee-Dampfschiffahrt an den neuen Zentralbahnhof Thun. — Konkurrenzen: Schulhaus nebst Turnhalle in Allschwil. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 84. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 12.

Die Dimensionierung städtischer Kanäle.

Von Ingenieur E. Melli †, Zürich.[1])

Für die Dimensionierung städtischer Kanäle sind die Regenmengen massgebend, die bei heftigen Niederschlägen in die Kanäle gelangen. Bezeichnet R die Niederschlagsmenge in l/ha/sek, F das Einzugsgebiet in ha, φ den Abflusskoeffizienten und Q die Abflussmenge in l/sek, so ist

$$Q = \varphi R F.$$

Da die Ansichten über die Wahl der zwei Unbekannten φ und R immer noch sehr verschieden sind, soll im folgenden gezeigt werden, wie die Unsicherheit in deren Wahl umgangen werden kann.

Bestimmung von R. Bezeichnet h die Niederschlagshöhe in mm und t die Regendauer in Minuten, so ist

$$R = \frac{10000}{60} \frac{h}{t} = 167 \frac{h}{t}$$

In St. Gallen, Zürich und Mailand wurden folgende Niederschlagshöhen beobachtet:

	$t = 10$	15	25	30	45	60	105	180
St. Gallen	$h = 22$	28	35	40				68
Zürich	$= 22$	28	31	39	48	55		
Mailand	$=$		25	35	—	47	—	80	90

Die Beziehung zwischen h und t kann durch eine Parabel dargestellt werden, deren Gleichung die Form $h^2 = a\,t$ hat; für obige Beobachtungen ist $a = 50$. Die entsprechende Gleichung der Regenintensität ist dann

$$R = 167 \sqrt{\frac{a}{t}} \cong \frac{1200}{\sqrt{t}}$$

Der „Schweizerische Ingenieur-Kalender“ empfiehlt $R = 959 : \sqrt{t}$. In Athen hat man Niederschlagshöhen von 40 mm in 60 min und 150 mm in 700 min gemessen, woraus sich $a \cong 30$ berechnet. Sicherheitshalber wurde zur Berechnung der Kanäle dieser Stadt $a = 34$ und $R = 1000 : \sqrt{t}$ angenommen. Anlässlich des Hochwassers vom 12. Juni 1912 schwankte die Regenintensität in Augsburg zwischen 150 und 230 l/ha/sek und betrug im Mittel 180 l/ha/sek bei einer Regendauer von 35 min, verteilt auf 2100 ha; somit war $R = 1070 : \sqrt{t}$. Nach Baumeister ist $a = 50$ und nach Büsing $a = 45$. Für Schlesien empfiehlt Hellmann $R = 800 : \sqrt{t}$ und Heyd für Hannover $R = 400 : \sqrt{t}$, weil dieser eine Ueberschwemmung pro Jahr als zulässig annimmt. Die Stadt St. Gallen hat $a = 50$ angenommen. Für die nachfolgenden Untersuchungen nehmen wir ebenfalls $a = 50$ oder $R \cdot \sqrt{t} = 1200$ an.

Bestimmung des Abflusskoeffizienten. Der Reduktionsfaktor $\varphi = Q : (F \cdot R)$ ist nicht nur von der Bodenbeschaffenheit abhängig, sondern auch von der Regenmenge R. In seinem Bericht über die Kanalisation Mailand weist Ingenieur Fantoli auf Seite 54 darauf hin, dass die allgemein gebräuchlichen Abflusskoeffizienten von Professor Frühling, die wir mit φ_0 bezeichnen wollen, nur für eine Regenhöhe $h = 45$ mm, während der Zeit $t = 60$ min gelten, d. h. für $R = \frac{45}{60}\, 167 = 125$ l/ha/sek.

Der Koeffizient φ_0 wird wie bekannt wie folgt gewählt: Für enge Bebauung 0,8, für weitläufige Bebauung 0,6, für Villenquartiere 0,4, Bahnhöfe und Gärten 0,2.

Allgemein nimmt φ zu mit der Abflussdauer t und mit der stündlichen Regenintensität $j = \frac{h}{t}\, 60$. Um die Beziehung zwischen φ und t bei einem konstanten j zu bestimmen, wurde in Mailand folgender Versuch gemacht: Auf einer gepflästerten Fläche von 255 m² wurden künstlich 11,5 m³ in 67 Minuten ausgeschüttet (45 mm Wasserhöhe) und die abgeflossene Wassermenge in verschiedenen Zeiten gemessen. Es ergab sich für

$t = 0$	13	32	47	67	min
$\varphi = 0$	0,45	0,64	0,73	0,8	

Also $\varphi = 0{,}2 \sqrt[3]{t}$ oder allgemein $\varphi = c \sqrt[3]{t}$.

Der Abfluss ist proportional mit $\varphi\, t$ und der Zufluss mit t. In der Zeit dt ist der Abfluss proportional mit $d(\varphi t) = \varphi\, dt + t\, d\varphi$ und der Zufluss mit dt. Der entsprechende Abflusskoeffizient ist daher

$$p = \frac{\varphi\, dt + t\, d\varphi}{dt} = \varphi + \frac{d\varphi}{dt}$$

Weil $\varphi = c \sqrt[3]{t}$, so ist

$$t \frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{3} \sqrt[3]{t} = \frac{\varphi}{3} \qquad p = \frac{4}{3} \varphi = \frac{4}{3} c \sqrt[3]{t}$$

Dies ist die Gleichung einer kubischen Parabel (Abbildung 1). Der grösste Wert von p ist gleich 1 (volle Sättigung), wobei $\varphi = 0{,}75$ und die Sättigungszeit $t' = \left(\frac{3}{4c}\right)^3$. Nach dieser Zeit ist der Abfluss (Parabelfläche $O\,B\,t'$) 75% des Zuflusses (Rechteck $O\,A\,B\,t'$).

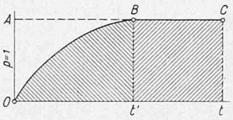

Abbildung 1.

Ist die Abflussdauer grösser als die Sättigungszeit t', so ist während der Zeit $t - t'$ der Abfluss gleich dem Zufluss und das Verhältnis des Abflusses (schraffierte Fläche $O\,B\,C\,t\,O$) zum Zufluss (Rechteck $O\,A\,C\,t\,O$)

$$\varphi = \frac{0{,}75\, t' + (t - t')}{t} = 1 - \frac{t'}{4\,t}$$

Um den Einfluss der stündlichen Regenintensität j zu bestimmen, hat man in Mailand folgende Beobachtungen ausgenützt:

für $h = 45$ mm, $t = 60$ min, $j = 45$ mm war $\varphi = 0{,}64$, $c = 0{,}16$
für $h = 7{,}8$ „ $t = 240$ „ $j = 2{,}6$ „ „ $\varphi = 0{,}39$, $c = 0{,}06$
für $h = 0$ $j = 0$ $c = 0$

Bei einer andern Beobachtungsreihe war analog

für $h = 86{,}5$, $t = 180$, $j = 28{,}8$ $\varphi = 0{,}86$, $c = 0{,}16$
„ $h = 14$, $t = 240$, $j = 3{,}5$ $\varphi = 0{,}44$, $c = 0{,}071$
„ $h = 0$ $j = 0$ $c = 0$

Aus diesen zwei Beobachtungsreihen ergibt sich allgemein $c = \mu \sqrt[3]{j}$, somit $\varphi = \mu \sqrt[3]{j t}$, wobei μ nur von der Bodenbeschaffenheit abhängig ist (siehe Fantoli, Seite 68).

Kennt man von einem Gebiet das φ_0, das der stündlichen Regenintensität $j = 45$ mm und der Regendauer $t = 60$ min entspricht, so kann das für einen Regenfall $j t = h \cdot 60$ geltende φ berechnet werden. Dabei sind folgende Fälle zu unterscheiden:

1. Ist $\varphi_0 < 0{,}75$, dann ist $\mu = \dfrac{\varphi_0}{\sqrt[3]{45 \cdot 60}}$

und $\varphi = \mu \sqrt[3]{j t} = \mu \sqrt[3]{h \cdot 60}$

Ist ferner $\varphi < 0{,}75$, wie bei Regenfällen, deren Dauer kleiner ist als die Sättigungszeit, so gilt die Formel

$$\varphi = \varphi_0 \sqrt[3]{\frac{h}{45}} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

Ist dagegen $\varphi > 0{,}75$, dann ist die Besättigungszeit t' gegeben durch die Gleichung

$$0{,}75 = \mu \sqrt[3]{j t'} = \mu \sqrt[3]{\frac{h}{t} \cdot 60\, t'} = \varphi_0 \sqrt[3]{\frac{h}{45} \frac{t'}{t}}$$

[1]) Nachruf in S. B. Z. vom 2. August 1924. Red.

daraus
$$\frac{t'}{4\,t} = \left(\frac{0{,}75}{\varphi_0}\right)^3 \frac{45}{4\,h}$$
und
$$\varphi = 1 - \frac{t'}{4\,t} = 1 - \frac{45}{4 \cdot h}\left(\frac{0{,}75}{\varphi_0}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Für $\varphi = 0{,}75$ ist $h = \left(\frac{0{,}75}{\varphi_0}\right)^3 \cdot 45$. Gleichung (2) gilt also nur für $h > \left(\frac{0{,}75}{\varphi_0}\right)^3 \cdot 45$.

Für den ungünstigsten Fall $\varphi_0 = 0{,}75$ und $h = 90$ mm ist nach Gleichung (1) $\varphi = {}^{15}/_{16}$ und nach Gleichung (2) $\varphi = {}^{14}/_{16}$, somit nach beiden Formeln fast gleich.

Berücksichtigt man aber, dass ein Gebiet mit einem $\varphi_0 = 0{,}75$ nicht sehr gross sein kann, sodass eine Regenhöhe von $h = 90$ mm mit einer Regendauer $t \frac{90^2}{50} = 160$ min für ein solches Gebiet, weil zu gross, gar nicht in Betracht kommt, so erkennt man, dass für $\varphi_0 < 0{,}75$ praktisch nur Formel (1) in Frage kommen kann.

2. Für $\varphi_0 > 0{,}75$ ist $\varphi_0 = 1 - \frac{t_0'}{4 \cdot 60}$, wobei t_0' die Sättigungszeit bedeutet; daraus $t_0' = (1 - \varphi_0)\, 4 \cdot 60$ und
$$0{,}75 = \mu \sqrt[3]{j_0\, t_0'} = \mu \sqrt[3]{45\, t_0'}$$
$$\mu = \frac{0{,}75}{\sqrt[3]{45 \cdot 60 \cdot 4(1 - \varphi_0)}}$$

Für Regenfall $j\,t = h \cdot 60$ ist
$$\varphi = \mu \sqrt[3]{h \cdot 60} = 0{,}75 \sqrt[3]{\frac{h}{45 \cdot 4\,(1 - \varphi_0)}} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Wird $\varphi = 0{,}75$ dann ist $h = 45 \cdot 4\ (1 - \varphi_0)$.

Ist $\varphi > 0{,}75$ oder $h > 45 \cdot 4 \cdot (1 - \varphi_0)$, dann hat man
$$0{,}75 = 0{,}75 \sqrt[3]{\frac{h}{45} \cdot \frac{t'}{t} \cdot \frac{1}{4(1 - \varphi_0)}},$$
wobei t' die Sättigungszeit bedeutet, die dem $j\,t$ entspricht.

Daraus
$$\frac{t'}{4\,t} = \frac{45}{h}(1 - \varphi_0)$$
und
$$\varphi = 1 - \frac{45}{h}(1 - \varphi_0) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Im allgemeinen wächst φ_0 umgekehrt mit der Grösse des Gebietes, d. h. mit der Abflusszeit. Angenommen:

	$\varphi_0 =$	0,75	0,85	0,95
und	$t =$	45	30	15 min
so ist	$h = \sqrt{50\,t} \cong 50$	40		30 mm
und nach Formel (1)	$\varphi \cong 0{,}78$	0,83		0,84
nach Formel (4)	$\psi \cong 0{,}78$	0,83		0,92

Formel (1) gilt also auch für $\varphi_0 > 0{,}75$.

Wir kommen somit zum Schlusse, dass einer Regenhöhe h ein Abflusskoeffizient entspricht
$$\varphi = \varphi_0 \sqrt[3]{\frac{h}{45}}$$

Für $h^2 = 50\,t$ wird
$$\varphi = 0{,}53\,\varphi_0 \sqrt[6]{t}$$

Die Niederschlagsmenge ist $R = 1200 : \sqrt{t}$ und der spezifische Abfluss in l/ha/sek
$$q = \varphi \cdot R = 0{,}53\,\varphi_0 \frac{1200}{\sqrt[3]{t}} = \varphi_0 \frac{640}{\sqrt[3]{t}}$$

Nun wird q ein Maximum, wenn die Regendauer t gleich der Abflusszeit des Gebietes ist, wie aus nachfolgender, im „Schweiz. Baukalender", Kapitel Kanalisation erwähnter Ueberlegung ohne weiteres hervorgeht: „Bei Beginn des Regens liefern nur die, einem bestimmten Leitungspunkt zunächst gelegenen Flächen des Einzugs-Gebietes Wasser nach diesem Punkt. Mit dem Wachsen der Dauer eines Regenfalles werden immer weitere Flächen wasserliefernd für diesen Punkt und bei genügend langer Dauer schliesslich die ganze, oberhalb des Punktes gelegene Entwässerungsfläche. Für jeden Punkt einer Kanalstrecke ist daher diejenige Regendauer am ungünstigsten, die *wenigstens* so gross ist, wie die Durchflusszeit des Wassers vom Anfang der Kanalstrecke bis zu dem betreffenden Punkt, damit die ganze zugehörige Entwässerungsfläche Wasser liefern wird."

Ist die Regendauer grösser als die Abflusszeit, dann nimmt die Regenintensität ab und somit die Abflussmenge. Trotz dieser selbstverständlichen Schlussfolgerung wird aber oft irgend ein Regenfall angenommen und mit diesem das ganze Netz berechnet. So bestimmte Kanalisationsnetze sind aber bei normal gestalteten Einzugsgebieten zu knapp bemessen, wie leicht nachzuweisen ist.

Die Abflusszeiten t sind proportional der Kanallänge l und bei geometrisch ähnlichen Flächen sind die Längen l proportional der $\sqrt{F}$. Von H. Kaiser wurde für Charlottenburg die folgende Beziehung zwischen F und t gefunden (siehe „Gemeinde-Blatt" 1905 Nr. 6 und 7).

$F=$	8,6	15,8	34,6	36,9	41,5	46	71	71,5	102,5	124	159 ha
$t=$	19	27	26	30	28	34	41	25	40	48	48 min

Daraus ergibt sich $t = 4\sqrt{F + 4}$, bezw. $t = 4\sqrt{F}$, wenn F ziemlich gross ist, also t proportional mit $\sqrt{F}$.

Bei einem Regenfall $R \cdot t$, bei dem die Regendauer gleich der Abflusszeit ist, wird der Maximalabfluss
$$Q = q\,F = \varphi_0 \frac{640}{\sqrt[3]{t}} F.$$

Bei einem andern Regenfall $R_1\,t_1$ wobei $t_1 > t$, ist
$$Q_1 = \varphi_0 \frac{640}{\sqrt[3]{t_1}} F, \quad \frac{Q}{Q_1} = \left(\frac{t_1}{t}\right)\frac{1}{3}, \text{ somit } Q_1 < Q.$$

Bei einem weitern Regenfall, wobei $t_2 < t$, ist der maximale Abfluss $Q_2 = \varphi_0 \frac{640}{\sqrt[3]{t_2}} F_2$, wobei $F_2 < F$ das Entwässerungsgebiet bedeutet, dessen Abflussdauer gleich t_2 ist. Dann ist
$$\frac{Q}{Q_2} = \frac{F}{F_2}\frac{\sqrt[3]{t_2}}{\sqrt[3]{t}} = \left(\frac{t}{t_2}\right)\frac{5}{3}, \text{ also } Q_2 < Q.$$

Der ungünstigste Regenfall ist somit jener, bei dem die *Regendauer gleich der Abflusszeit* ist.

In der Abflussformel $q = \varphi_0 \frac{640}{\sqrt[3]{t}}$ bedeutet t also die *Abflusszeit*, die durch Beobachtung oder Berechnung bestimmt werden kann. Es sind:

für Strassenkanäle von 30 bis 60 cm ⌀ $t = 14 \div 20$ min
„ Nebensammler bis 100/150 cm l. W. $t = 20 \div 30$ min
„ Hauptsammler $t = 30 \div 45$ min
(Siehe Kanalisationsbericht der Stadt St. Gallen.)

Bei neuen Projekten ist die Berechnung von t umständlich, sodass es bequemer ist, t durch F zu ersetzen. Nach H. Kaiser ist für Charlottenburg $t = 4\sqrt{F}$. Der Koeffizient 4 gilt für die mittelmässig geneigten Gebiete von Charlottenburg, für steilere Gebiete ist er kleiner und für flachere grösser.

In Anbetracht dessen, dass in unserer Hochwasser-Formel die Zeit t nur in Kubikwurzel vorkommt, hat die Unsicherheit des Koeffizienten 4 keine grössere Bedeutung, sodass wir allgemein $t = 4\sqrt{F}$ setzen können, dann wird die Hochwasser-Formel
$$q = \varphi_0 \frac{640}{\sqrt[3]{t}} = \varphi_0 \frac{400}{\sqrt[6]{F}}$$

Bei der Ableitung dieser neuen Formel wurde angenommen, die maximale Regenintensität R bleibe konstant. Nach Prof. Frühling nimmt aber R nach einem Paraboloid ab (Abb. 2), sodass in einer Entfernung von 3000 m nur noch die Intensität $R/2$ vorhanden ist. Die Gleichung der Parabel ist $y^2 = p\,x$. Weil für $x = 3000$, $y = \frac{R}{2}$, so ist $p = \frac{R^2}{12000}$

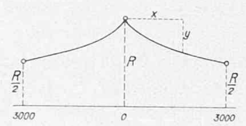

Abbildung 2.

Die Niederschlagsmenge, d. h. der Inhalt des Paraboloides ist $\pi x^2 R - {}^2/_3\, x y$. $\quad 2\pi\, 0{,}6\,x = \pi x^2 (R - 0{,}8\,y)$.

Während die gleichmässige Zuflussmenge $\pi x^2 R$ ist, ist der Verminderungskoeffizient, also $\alpha = 1 - 0{,}8\,\frac{y}{R}$

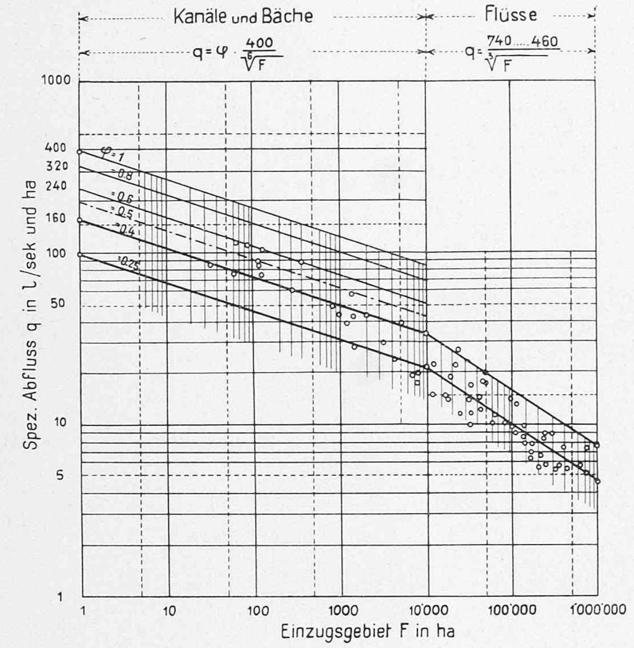

Abbildung 3.

Weil $y^2 = \frac{R^2}{12000}\, x$ oder $\frac{y}{R} = \sqrt{\frac{x}{12000}}$, so ist $a = 1 - 0{,}8\sqrt{\frac{x}{12000}}$. Angenommen, es sei bei einem Kanal von der Länge l die Regenintensität in der Mitte gleich R, so ist $x = \frac{l}{2}$, $a = 1 - 0{,}8\sqrt{\frac{l}{24000}} = 1 - 0{,}005\sqrt{l}$ und die mittlere Regenintensität $R_m = a R$. Ist z. B. $l = 1500$ m, dann würde $a = 0{,}8$ und $R_m = 0{,}8\, R$.

In St. Gallen, wo in einer gegenseitigen Entfernung von 1 ½ km drei Wassermesstationen zur Verfügung stehen, hat man folgendes beobachtet:

Station Nr. 1		Station Nr. 2		Station Nr. 3	
$t = 330$	$R = 19$	$t = 330$	$R = 15$	$t = 330$	$R = 18$
75	36	80	39	60	36
70	66	70	55	60	69
10	166	10	232	10	150
2	250	2	332	2	206
16	220	16	230	16	250
28	240	28	240	28	240

Die Regenintensität verteilt sich also auf das ganze Stadtgebiet (400 ha) mit ziemlich *gleichmässiger* Dichtigkeit, sodass $a = 1$ gesetzt werden darf.

In Hannover hat man beobachtet, dass Regen von $R = 150$ l/ha/sek sich über Gebiete von mehreren Tausend Hektaren erstrecken können (siehe Bock). In Augsburg betrug die Regenintensität im Juni 1912 $R = 180$ l/ha/sek und erstreckte sich auf ein Gebiet von 2100 ha. Weihrauch sagt ferner „dass beschränkte Annahmen über die Ausbreitung der Regenfälle nur mit grosser Vorsicht zu machen sind, da man sich bewusst sein muss, dass man damit die Zahl der Fälle herabsetzt, in denen eine Kanalisation ihren Zweck erfüllen kann". Wir kommen daher zum Schluss, dass es in Anbetracht der kleinen Einzugsgebiete städtischer Kanäle, die ja selten grösser sind als 2 km², zulässig ist, *von einer Reduktion der Regenintensität Abstand zu nehmen*, umsomehr als dadurch die Sicherheit der Rechnung erhöht wird.

Vergleich der neuen mit der alten, bisher gebräuchlichen Hochwasserformel.

Die alte Formel lautet $q = \varphi_0\, \psi\, R'$, wobei φ_0 = Dichtigkeitskoeffizient, ψ = Verzögerungskoeffizient, R' = stündliche Regenintensität.

Nun ist allgemein $q = \varphi R$

$$\varphi = \varphi_0 \sqrt[3]{\frac{h}{45}}\,; \quad R = R' \sqrt{\frac{60}{t}}$$

somit
$$q = \varphi_0 \sqrt[3]{\frac{h}{45}} \cdot \sqrt{\frac{60}{t}} \cdot R'$$

daraus
$$\psi = \sqrt{\frac{h}{45}} \cdot \sqrt[3]{\frac{60}{t}}$$

für $h = \sqrt{at} = \sqrt{50\,t}$ wird
$$\psi = \frac{4 \cdot 2}{\sqrt[3]{t}}$$

und für $t = 4\sqrt{F}$ wird
$$\psi = \frac{2 \cdot 65}{\sqrt[6]{F}}$$

Ferner ist $R = \frac{1200}{\sqrt{t}} = R' \sqrt{\frac{60}{t}}$ woraus $R' \simeq 150$ und
$$q = \varphi_0 \psi R' = \varphi_0 \cdot \frac{2 \cdot 65}{\sqrt[6]{F}} \cdot 150 = \varphi_0 \frac{400}{\sqrt[6]{F}}$$

Bei richtiger Interpretierung der Grössen ψ und R' stimmt die alte Hochwasserformel mit der neuen Formel überein. Es ist also nicht $\psi = \frac{1}{\sqrt[n]{F}}$, wobei $n = 4$, 5 oder 6 zu setzen ist, sondern
$$\psi = \frac{2 \cdot 65}{\sqrt[6]{F}}$$
und R' ist nicht 100 bis 200, sondern = 150 l/ha/sek.

Allgemein haben wir gefunden, dass $q = \frac{c}{\sqrt[6]{F}}$, wobei c eine Kontante bedeutet, die vom Gebiet abhängig ist. Um die Richtigkeit dieses Ausdruckes zu prüfen, haben wir etwa 20 Hochwasserbeobachtungen verschiedener Bäche mit Einzugsgebieten von 30 bis 10 000 ha in einem logarithmischen Netz aufgetragen (Abbildung 3) und zwar die Einzugsgebiete F als Abszissen und die speziellen Abflussmengen als Ordinaten. Aus dieser graphischen Darstellung ergibt sich

1. die grösste Abflussmenge zu $q = \frac{160}{\sqrt[6]{F}}$

2. die gewöhnliche Hochwassermenge zu $q = \frac{100}{\sqrt[6]{F}}$

In unserer Formel ist $c = \varphi_0 \cdot 400$, somit $\varphi_0 = \frac{c}{400} = \frac{160}{400} = 0{,}4$ bezw. $\varphi_0 = \frac{100}{400} = 0{,}25$.

Diese Werte von φ_0 stimmen mit denen überein, die in der Praxis für offene und wenig überbaute Gebiete meistens angenommen werden. Da bei Kanalisationsanlagen das Einzugsgebiet F meistens kleiner ist als 10 000 ha, bilden diese Beobachtungen somit eine Bestätigung unserer Anleitung, wonach q umgekehrt proportional ist $\sqrt[6]{F}$.

Vollständigkeitshalber haben wir auch noch etwa 50 Hochwasserbeobachtungen verschiedener Flüsse mit Einzugsgebieten von 10 000 bis 1 000 000 ha graphisch aufgetragen und für q die folgenden Werte gefunden:

$$q_{max} = 34{,}5 \sqrt[3]{\frac{10000}{F}} = \frac{740}{\sqrt[3]{F}}$$

$$q_{mittel} = 21{,}5 \sqrt[3]{\frac{10000}{F}} = \frac{460}{\sqrt[3]{F}}$$

Hier ist q umgekehrt proportional der $\sqrt[3]{F}$.

Hochwasserbeobachtungen im Kanalisationsnetz St. Gallen.

Für die Dimensionierung der Kanäle wurde, wie bereits erwähnt, die Hochwasserformel $q = \varphi_0 \frac{640}{\sqrt[3]{t}}$ zu Grunde gelegt, wobei für

Zone	I	II	III	IV
$\varphi_0 =$	0,75	0,625	0,50	0,375

angenommen wurde. Das ganze Stadtgebiet misst 400 ha, wovon 50 ha auf Zone I, 75 ha auf Zone II, 50 ha auf Zone III und 225 ha auf Zone IV entfallen. Der mittlere Wert von φ_0 ist 0,485 oder rund 0,5. Die Stadt wird durch vier Sammler entwässert, deren Einzugsgebiete 50, 100, 110 und 140 ha messen. Die Abflusszeit wurde zu 30 bis 35 min angenommen, d. h. eine Regenintensität von rd. 200 l/ha/sek. Die entsprechende, mittlere Abflussmenge ist $200 \cdot 0,5 = 100$ l/sek. Am 6. Juni 1904 betrug der mittlere Abfluss der vier Sammler anlässlich eines Sturzregens von 40 mm Regenhöhe in 28 min 82 bis 84 l/ha/sek und für den Sammler mit $F = 110$, $q = 87$ l/ha/sek. Diese Abflussmenge stimmt mit obiger Tabelle für $F = 110$, $\varphi_0 = 0,5$ überein.

Am 19. August 1913 führte der Sammler, der hauptsächlich Stadtgebiet entwässert, und für den $q = 110$, $\varphi_0 = 0,6$ angenommen wurde, bei etwa 114 ha Einzugsgebiet 105 l/ha/sek. An einer andern Messtelle mit einem Einzugsgebiet $F = 68$ ha war $q = 128$ l/ha/sek, was mit unserer Tabelle ($\varphi_0 = 0,6$) übereinstimmt. Der Hauptsammler (Steinach) mit $F = 1370$ ha führte $q = 59$ l/ha/sek. Das Gebiet besteht aus 200 ha überbautem, 780 ha teilweise überbautem Gebiet und 390 ha Wald und Wiese. Dieses Gebiet hat ein $\varphi_0 = 0,5$, und der Abfluss $q = 59$ stimmt ebenfalls mit unserer Tabelle überein. Am 29. Juni 1917 betrug die durchschnittliche Abflussmenge bei einem Gewitter von 40 bis 50 min Dauer und 33 mm Regenhöhe in den ersten 20 min für die vier Sammler ($\varphi_0 = 0,5$), $q = 90$ l/ha/sek; für $F = 68$ ha, $\varphi_0 = 0,6$ war $q = 134$ l/ha/sek und für $F = 91$ ha, $\varphi_0 = 0.6$ war $q = 125$ l/ha/sek. Auch diese Beobachtungen stimmen gut mit der Tabelle überein.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, dass der mittlere Abfluss der vier Hauptsammler mit einem durchschnittlichen Einzugsgebiet von je 100 ha (total 400) $q = 90$ l/sek beträgt. Aus unserer Formel $q = \varphi_0 \frac{400}{\sqrt[6]{F}}$ ergibt sich daher $\varphi_0 = 0,5$, wie angenommen wurde.

Für die Sammler, die durch das am engsten bebaute Gebiet der Stadt gehen, war

$F =$ 68	90	114 ha
$q =$ 134	125	105 l/sek

woraus sich $\varphi_0 = 0,6$ ergibt.

Zusammenstellung.

Die Hochwasserformel lautet allgemein

$$q = \varphi_0 \frac{400}{\sqrt[6]{F}}$$

Für kleine Kanäle in eng bebauten Strassen ist $\varphi_0 = 0,80$
Für Sammler in der Stadt $\varphi_0 = 0,6$
Für die Sammler im Mittel $\varphi_0 = 0,5$
Für offene Wasserläufe bis 100 km² $\varphi_0 = 0,4$
Für Flüsse von 100 bis 10000 km²

$$q_{\text{max}} = \frac{740}{\sqrt[3]{F}}, \quad q_{\text{mittel}} = \frac{460}{\sqrt[3]{F}}$$

Querschnittsbestimmung nach der Tabelle.

Ist die Abflussmenge $Q = q F$ bekannt und das Gefälle i in $^0/_{00}$ aus dem Längenprofil bestimmt, so ist der Kanalquerschnitt $f = \frac{Q}{v}$, wobei die Geschwindigkeit $v = c\sqrt{r i}$, der Profilradius $r = \frac{f}{p}$, p = Umfang und

$$c = \frac{100 \sqrt{r}}{0,35 + \sqrt{r}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1000}} = \frac{3.16 \sqrt{r}}{0.35 + \sqrt{r}}$$

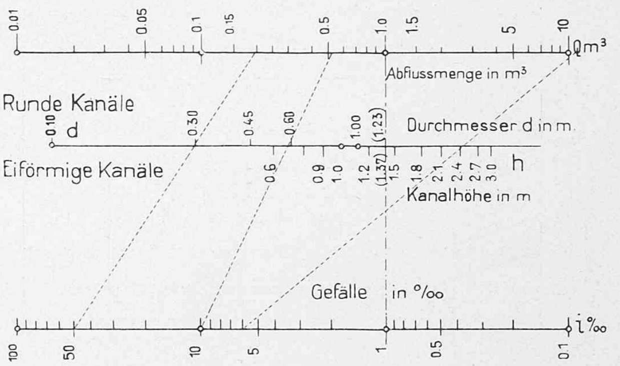

Abbildung 5.

Für die *kreisförmigen* Profile mit dem Durchmesser d ist

$$f = \frac{\pi d^2}{4}, \quad p = \pi d, \quad r = \frac{d}{4}, \quad \sqrt{r} = 0,5\sqrt{d}, \quad c = \frac{1,58\sqrt{d}}{0,35 + 0,5\sqrt{d}}$$

für	$d = 0,3$	0,45	0,6
wird	$c = 1,4$	1,54	1,67

Im Mittel $c = 1,55$ angenommen, ergibt

$$v = c\sqrt{\frac{d}{4} \cdot i} = 0,77\sqrt{d i}, \quad Q = \frac{\pi}{4}, \quad 0,77\sqrt{d^5 i} = 0,6\sqrt{d^5 i}$$

für $Q = 1$ m³, $i = 1\,^0/_{00}$, $d = 1,23$ m.

Für *Eiprofile* mit dem Verhältnis Höhe : Breite = 1,5 ist $f = 0,51\,h^2$, $p = 2,65\,h$, $r = 0,193\,h$ $\sqrt{r} = 0,44\sqrt{h}$

$$c = \frac{44\sqrt{h}}{0,35 + 0,44\sqrt{h}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1000}} = \frac{1,4\sqrt{h}}{0,35 + 0,44\sqrt{h}}$$

für	$h = 0,9$	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
	$c = 1,78$	1,86	1,94	2,0	2,05	2,1	2,14	2,18

Im Mittel $c = 2$ angenommen, ergibt $v = 0,88\sqrt{h i}$, $Q = 0,45\sqrt{h^5 i}$, für $Q = 1$, $i = 1$, $h = 1,37$.

Die graphische Darstellung der Beziehung der drei Grössen Q, d und i bezw. Q, h, i ist die folgende: Man zieht drei horizontale Linien, deren Entfernungen sich verhalten wie 1 : 2 (Abb. 5). Auf der ersten und dritten trägt man von links nach rechts und von rechts nach links die Logarithmen der natürlichen Zahlen und auf der mittlern die Logarithmen in $^5/_3$ fachem Masstabe ab. Die erste Gerade enthält dann die Logarithmen von Q, die zweite jene von d bezw. h und die dritte jene von i. Man hat dafür zu sorgen, dass die Logarithmen von $Q = 1$, $d = 1,23$ bezw. $h = 1,37$, $i = 1\,^0/_{00}$ auf eine Vertikale zu liegen kommen, dann schneidet jede Transversale drei entsprechende Werte von Q, d, i bezw. Q, h, i.

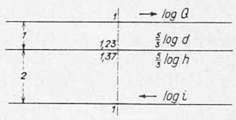

Abbildung 5.

Beispiele.

A. Für einen Strassenkanal mit $F = 0,8$ ha, $\varphi = 0,8$ und $i = 50\,^0/_{00}$ ist $q = 0,8 \frac{400}{\sqrt[6]{F+4}} = 244$ $\quad Q = q F = 200$ l/sek oder 0,2 m³/sek. Die Gerade, die die beiden Punkte $Q = 0,2$ und $i = 50$ verbindet, schneidet die Linie der d (Durchmesser) bei $d = 0,30$ m.

B. Für einen andern Kanal sei $F = 3,0$ ha, $\varphi = 0,6$, $i = 10\,^0/_{00}$; gesucht d. Es ist $q = 0,6 \frac{400}{\sqrt[6]{3,0+4}} = 170$, $Q = 3,0 \cdot 0,17 = 0,51$ m³ und $d = 0,6$ m.

C. Für einen Sammler mit $F = 90$ ha, $\varphi = 0,60$, $i = 6\,^0/_{00}$ ist $q = 115$ l/ha/sek, $Q = 10,4$ m³/sek und $h = 2,4$ m.

D. Für einen offenen Wasserlauf mit $F = 1000$ ha, also $\varphi = 0,4$, ist $q = 51$ l/ha/sek, $Q = 51$ m³/sek.

E. Für einen Fluss mit $F = 100000$ ha ist der mittlere spezielle Hochwasserabfluss $q = \frac{460}{\sqrt[3]{100000}} = 10$ l/sek/ha und $Q = 1000$ m³/sek.

Mittels dieser Tafel ist die Berechnung der Hochwassermengen bei städtischen Kanälen und offenen Wasserläufen, sowie die Bestimmung von runden und eiförmigen Kanälen äusserst einfach. Gleichzeitig ist die Unsicherheit über die Anwendung der Formel $Q = \varphi R F$ beseitigt worden.

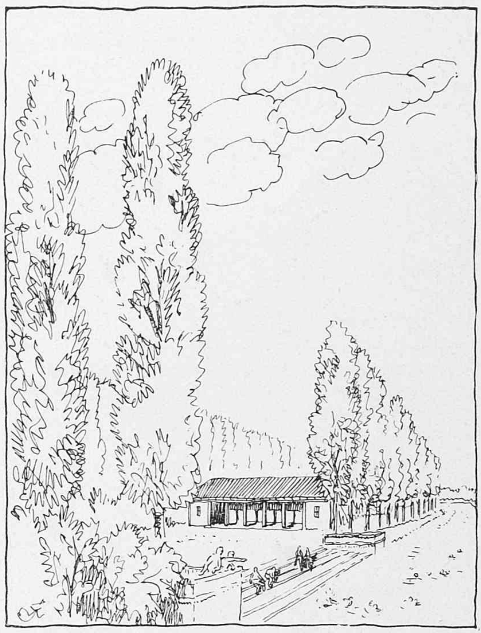

Abb. 3. Badeplatz und Sonnenbad an der Birs.

Die Siedelung „Wasserhaus“
Neue-Welt bei Basel.

Da, wo die Birs aus ihrem Tale in die breite Rheinebene heraustritt, sieht man unweit westlich der Strasse von Basel nach Münchenstein vier stattliche Häuserreihen, hinter Bäumen halb versteckt, hervorschauen: die Wohnsiedelung der Baugenossenschaft „Wasserhaus“, eine Schöpfung der „Basler Vereinigung für industrielle Landwirtschaft und Innenkolonisation“, ein Werk des Architekten Wilh. Brodtbeck in Liestal. Ueber diese, unter Ueberwindung sehr grosser finanzieller Schwierigkeiten geschaffene Kolonie und ihre interessante Entstehungsgeschichte gibt ein bei Helbing und Lichtenhahn (Basel 1923) erschienener, mit Plänen, Bildern und Zahlen reich dokumentierter Bericht erschöpfende Auskunft; dessen Studium ist sehr lehrreich. Ihm entnehmen wir folgende Angaben, sowie eine Anzahl der begleitenden Bilder; dem Erbauer der Kolonie danken wir für ergänzende Mitteilungen.

Die Siedelung liegt auf Gebiet der Gemeinde Münchenstein, da, wo der „St. Albanteich“, ein alter Gewerbekanal, von der Birs abzweigt. Das zugehörige Wehr schafft eine als Badeplatz vorzüglich geeignete Flussverbreiterung; das alte „Wasserhaus“ des Wehrwärters gab der Kolonie den Namen. Erreichbar ist die Siedelung aus Basel (Aeschenplatz) mit der Strassenbahn in zehn Minuten. Ueber deren Zweck und Wesen führt der Bericht u. a. folgendes aus:

„Die *Vereinigung* wollte aber nicht nur mithelfen, die herrschende grosse Wohnungsnot zu mildern, wie es ihre Mitglieder privatim von jeher durch den Bau von Arbeiterhäusern getan hatten; sie wollte zugleich ein praktisches Beispiel dafür geben, wie *in Zusammenarbeit von Industrie und wohnungsbedürftiger Bevölkerung* (Angestellte und Arbeiter) der Wohnungsnot in idealer Art und Weise begegnet werden kann, und auch zeigen, dass der Staats-Sozialismus noch nicht die einzige Lösung solcher Fragen bietet.

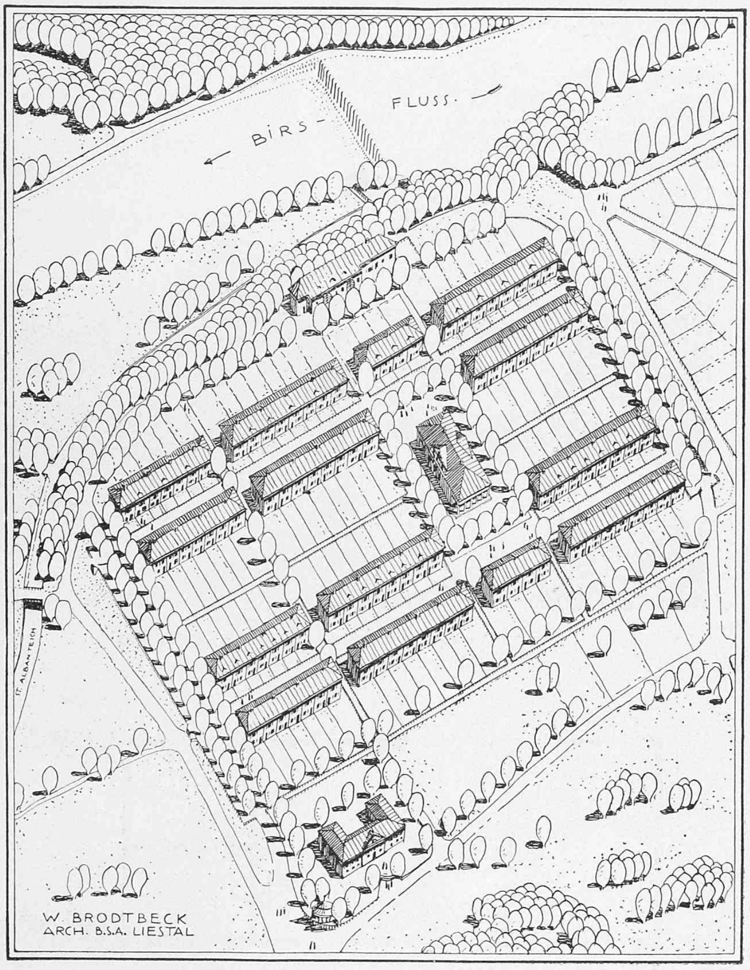

Abb. 2. Fliegerbild aus N-W der Siedelung „Wasserhaus“ bei Basel.

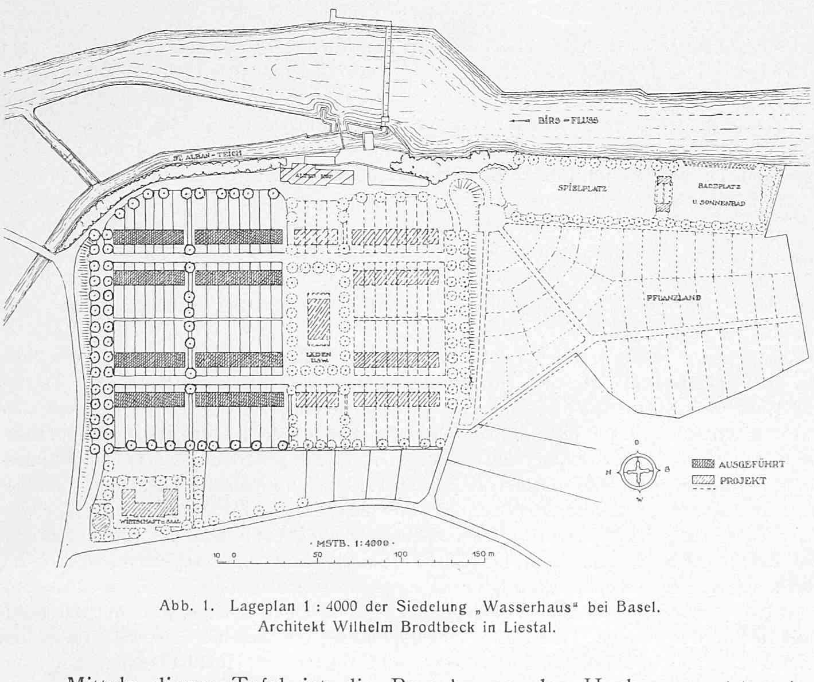

Abb. 1. Lageplan 1 : 4000 der Siedelung „Wasserhaus“ bei Basel. Architekt Wilhelm Brodtbeck in Liestal.