Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117/118 (1941)
Heft: 20

Artikel: Die Wirkung der Regenauslässe
Autor: Hörler, Arnold
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83552

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Die Wirkung der Regenauslässe. — Wettbewerb für ein Schulhaus in Zürich-Affoltern. — Bemerkungen zur Handhabung der Bauordnung. — Die schweizerische Gasindustrie in der Kriegswirtschaft. — Mitteilungen: Die Anwendung von Veloxkesseln in Heizanlagen. Reichsautobahnbrücken in Eisenbeton. Zink und seine Legierungen als Austauschwerkstoffe. Versuche über das Zusammenwirken von I-Trägern mit Eisenbetondecken. Die Zeidler-Decke. Wärmeisolierung und Raumheizung. Eidg. Techn. Hochschule. - Nekrologe: Paul Mathys. — Wettbewerbe: Primarschulhaus in Zürich-Wollishofen. Neue Bebauung der Rue Calvin in Genf. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Vortragskalender.

Band 118 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 20

Die Wirkung der Regenauslässe

Von Dipl. Ing. ARNOLD HÖRLER, Zürich

Zur weitgehenden Einsparung an Baukosten bei der Erstellung von Ortsentwässerungen wird, so oft dies möglich und wirtschaftlich gerechtfertigt ist, die abzuführende Wassermenge vom Regenwasser entlastet. Bei der Trennkanalisation ist die direkte Einleitung des Regenwasserkanals in den Vorfluter ohne Erstellung von Spezialbauwerken möglich. Bei der Mischkanalisation jedoch wird die Erstellung von Regenauslassbauwerken erforderlich, die den grössten Teil der abzuführenden Mischwassermenge durch Ueberfall in den Vorfluter entlasten.

Die Regenauslässe werden allgemein so bemessen, dass der Trockenwetterabfluss samt dem m-fachen Regenwasseranteil zum Abfluss gelangen kann, ohne dass der Ueberlauf des Regenauslasses zur Wirkung gelangt. Grössere Wassermengen als der $(1 + m)$-fache Trockenwetterabfluss hingegen werden dem Vorfluter zugeleitet. Da der Einfluss dieser Regenauslässe auf den Vorfluter in mehrfacher Hinsicht von wesentlicher Bedeutung ist, wird dem Mischungsverhältnis $(1 + m)$ bei der Festsetzung der Höhe der Ueberfallschwelle im Regenauslassbauwerk grosser Wert beigemessen.

Wichtig für die Abschätzung der Beeinflussung des Vorfluters durch einen Regenauslass ist neben der maximal zu erwartenden sekundlichen Regenüberlaufmenge die Kenntnis der Dauer und Häufigkeit der Wirkung der Auslässe, ferner die Ermittlung der totalen Ueberlaufwassermenge innerhalb eines bestimmten Zeitraumes, sowie die chemische Beschaffenheit des Abflusses. Selbstverständlich muss auch der Vorfluter im Hinblick auf seine Wasserführung und seine biologischen und chemischen Eigenschaften bekannt sein, um eine allfällige Schädigung des Flusses durch einen Regenauslass vor dessen Erstellung beurteilen zu können.

Trotzdem bis heute bereits mehrere Abhandlungen erschienen sind, die sich ganz oder teilweise mit diesen Problemen beschäftigen [1], [2], [3], [4], scheinen diese Veröffentlichungen in der Schweiz nur wenig Beachtung gefunden zu haben [1]). Dies mag zum Teil auf die berechtigten Bedenken zurückzuführen sein, Angaben, die für die Verhältnisse der deutschen Tiefebene Gültigkeit haben, ohne weiteres auf die Schweiz zu übertragen. Um brauchbare Angaben zur Beurteilung der Wirkung der Regenauslässe auf den Vorfluter wenigstens in hydraulischer Beziehung auch für die meteorologischen Gegebenheiten von Zürich zu erhalten, habe ich deshalb eine Auswertung der grundlegenden Regenbeobachtungen unabhängig von den erschienenen Veröffentlichungen vorgenommen, deren Ergebnis nachfolgend mitgeteilt wird.

A. Grundlagen zur Beurteilung der Wirkung von Regenauslässen auf die Vorfluter

Bei der Bemessung der Kanalprofile genügt es, sämtliche Starkregen auszuwerten, die durch Schreibregenmesser aufgezeichnet sind. Dabei können als untere Grenze für die auszuwertenden Regen entweder die von Wussow angegebenen Grenzwerte, wie sie von Uttinger [5] mitgeteilt wurden, oder die Angaben von Reinhold [6] benützt werden, die auch in den DIN 4045 ihren Niederschlag gefunden haben.

Zur Abklärung der eingangs aufgeworfenen Fragen bezüglich Dauer und Anzahl der Entlastungen von Regenauslässen ist jedoch die Auswertung sämtlicher Regenfälle erforderlich. Zu diesem Zwecke wurden die Regenstreifen der Jahre 1937 und 1938 des Schreibregenmessers im Botanischen Garten in Zürich bearbeitet. Zur Ergänzung einzelner Unterbrüche der Aufzeichnungen, die durch Reparaturen und im Jahre 1938 durch Umbau der Registriervorrichtung bedingt waren, war die Heranziehung der entsprechenden Regenstreifen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt notwendig [2]). Ein weiteres Jahr (1939) ist durch Auswertung der Regenstreifen der Zentralanstalt gewonnen worden. Anlässlich der Auswertung der Streifen konnte festgestellt werden, dass der Schreibregenmesser im Botanischen Garten infolge anderer geographischer Lage und verschiedenartiger Umgebung um etwa 10 % geringere Regenhöhen auf zeichnet, als der Messer der Zentralanstalt.

Bei der Auswertung der Regenstreifen wurde jeder einzelne Regenfall in seinen einzelnen Phasen verfolgt durch Ermittlung der Teilregenhöhe N und Teilregendauer T für jede Aenderung der Regenintensität. Durch Division aller dieser Teilwerte $N : T$ wird die Regenstärke i in mm/min für jeden Abschnitt eines Einzelregens erhalten. Die so gewonnenen, mehreren tausend Einzelwerte der Regendauer wurden kolonnenmässig in 22 verschiedene Regenstärkebereiche eingeordnet. Durch schrittweise Addition der Summen dieser Kolonnenwerte konnte die *Dauerkurve der Regenintensitäten* ermittelt werden, wie sie in Abb. 1 für das Jahr 1939 dargestellt ist. Als Ordinate ist die Regenintensität aufgetragen und zwar sowohl als Regenstärke i in mm/min, als auch als Regenspende r in l/sec ha. Auf der Abszisse findet sich die Regendauer in Stunden.

Aus der Dauerkurve der Regenintensitäten geht hervor, mit welcher jährlichen Regendauer für sämtliche Regen zu rechnen ist, die eine bestimmte Regenintensität erreichen und überschreiten, bzw. unterschreiten. In Abb. 2 sind die drei Dauerkurven der Regenintensitäten für die Jahre 1937, 1938 und 1939 samt der mittleren Dauerkurve aufgetragen. Dabei wurde als Abszisse die jedem Jahr entsprechende, totale Regendauer mit 100 % bezeichnet.

Die für die Auswertung herangezogenen drei Jahre 1937, 1938 und 1939 ergeben eine mittlere, jährliche Regenhöhe von 1161 mm. Nach Uttinger [7] betrug die mittlere Regenhöhe der Jahre 1864 bis 1938 in Zürich 1102 mm. Die erhaltenen Mittelkurven aus den drei Beobachtungsjahren dürften daher für die Berechnung brauchbare Werte ergeben.

Um die *jährliche Ueberlaufmenge* eines Regenauslasses ermitteln zu können, ist neben der Dauerkurve der Regenintensitäten die Kenntnis der Regenhöhenkurven erforderlich, wie sie ebenfalls in den Abb. 1 und 2 dargestellt sind. Die Regenhöhenkurve gibt an, welcher Anteil an der jährlichen Regenhöhe von Regen geliefert wird, deren Intensität einen bestimmten Wert erreicht und überschreitet, bzw. unterschreitet. Da einem Millimeter Regenhöhe eine Wassermenge von 10 m³/ha entspricht, gibt die Regenhöhe ebenfalls die jährliche Regenfülle in m³/ha an.

Die Regenhöhenkurve wird als Summenkurve aus der Dauerkurve der Regenintensitäten gebildet. Wird z. B nach dem Regenhöhenanteil gefragt, der von Regenfällen herrührt, deren Intensi-

[1]) Die Zahlen in eckiger Klammer verweisen auf das Literaturverzeichnis unter Literatur auf Seite 242.

[2]) Für die zur Verfügungstellung der Regenstreifen bin ich dem Tiefbauamt der Stadt Zürich, sowie der Direktion der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt Zürich zu Dank verpflichtet.

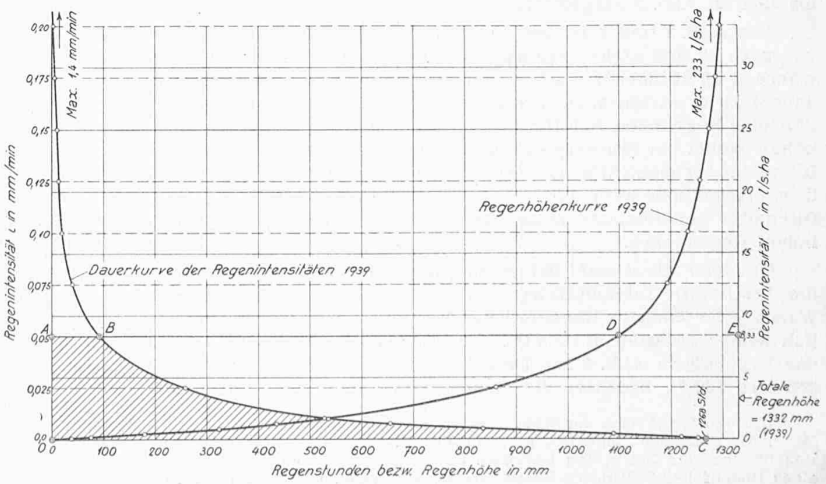


Abb. 1. Dauerkurve der Regenintensitäten und Regenhöhenkurve für 1939

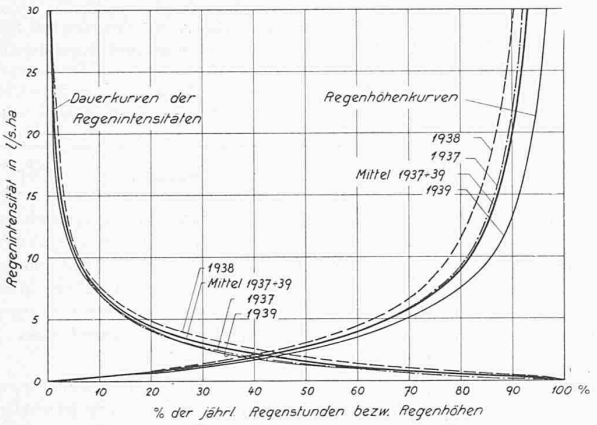


Abb. 2. Dauerkurven der Regenintensitäten und Regenhöhenkurven 1937, 1938 und 1939, sowie Mittelkurven 1937/1939

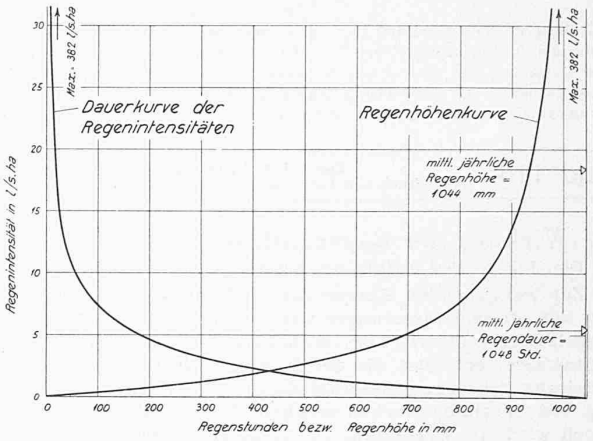


Abb. 3. Dauerkurve der Regenintensitäten und Regenhöhenkurve. Approximative Mittelwerte 1901 bis 1930

Tabelle 1

Jahr	Max. Regenstärke i in mm/min	Totale jährliche Regendauer T in h	Jährliche Regenhöhe in mm		
			Gemäss Auswertung	Gemäss Aufzeichnung*)	Abweichung
1937	1,60	838,4	914,4	1078	15,1 %
1938	1,70	692,0	963,9	1043	7,6 %
1939	1,40	1267,5	1331,8	1361	2,2 %
Im Mittel der Jahre 1864 bis 1938				1102	

*) der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt.

täten nur 0,00 bis 0,05 mm/min betragen, so entspricht dieser Regenhöhe der Inhalt der schraffierten Figur OABC (Abb. 1). Dieser Inhalt von 1098,1 mm wird als Strecke AD horizontal beim Ordinatenpunkt 0,05 mm/min abgetragen und dadurch ein Punkt D der Regenhöhenkurve erhalten. Die horizontale Strecke DE gibt dann den Regenhöhenanteil in mm derjenigen Regen an, deren Regenstärken zwischen 0,05 und 1,40 mm/min (Maximum im Jahre 1939) schwanken.

In Abb. 2 sind die drei Regenhöhenkurven der Jahre 1937, 1938 und 1939 samt der mittleren Regenhöhenkurve dargestellt, bezogen auf die jedem Jahr zugeordnete, totale, jährliche Regenhöhe von 100 %. Die tatsächlichen Werte der Koordinatenabschnitte für die einzelnen Jahreskurven gibt Tabelle 1.

Um nicht ständig mit relativen Werten rechnen zu müssen, sind in Abb. 3 angenäherte Mittelwerte für die Dauerkurve der Regenintensitäten und der Regenhöhenkurve dargestellt. Als Grundlage dazu dienten Mittelwerte der in den Jahren 1901 bis 1930 gefallenen Regen, deren Angaben mir von der Schweizer. Meteorolog. Zentralanstalt Zürich zur Verfügung gestellt wurden.

Im Mittel der Jahre 1901 bis 1930 betrug:

die maximale Regenstärke	2,29 mm/min
die Regendauer	1048 Stunden [3])
die Regenhöhe	1044 mm

Die Mittelwerte der Abb. 2 wurden den drei obenangeführten Bedingungen angepasst und als approximative Mittelwerte 1901 bis 1930 in Abb. 3 dargestellt.

Aus Abb. 2 und 3 ist beispielsweise ersichtlich, dass Regen von z. B. 20 und mehr l/sec ha Intensität jährlich im Mittel nur während 16 Stunden (= 1,5 % der gesamten jährlichen Regendauer) zu erwarten sind. Diese Regen ergeben zusammen eine jährliche Regenhöhe von 102 mm (= 9,8 % der jährlichen Regenhöhe), wobei bei Starkregen nur die 20 l/sec ha überschreitende Intensität berücksichtigt ist. Der weitaus grösste Anteil der jährlichen Regenhöhe wird durch Schwachregen von 0 bis 20 l/sec ha Intensität geliefert, und zwar total 942 mm (= 90,2 % der jährlichen Regenhöhe).

Um über die *Anzahl der Regenfälle* Aufschluss zu erhalten, die bestimmte Intensitätswerte erreichen oder überschreiten, wurde jeder einzelne Regenfall der Jahre 1937 bis 1939 hinsichtlich seiner grössten Intensität kolonnenweise eingeordnet und das Ergebnis in Abb. 4 zur Darstellung gebracht [4]). Der Abszissenwert 100 % bedeutet die Gesamtzahl der in den einzelnen Jahren gefallenen Regen. Die Anzahl der Regenfälle betrug tatsächlich:

im Jahre	1937	276 Regenfälle
„ „	1938	260 „
„ „	1939	447 „

totale Regenfälle 1937 bis 1939 983, im Jahresmittel somit angenähert 330.

Aus Abb. 4 ist z. B. ersichtlich, dass ein Regen von 20 l/sec ha Intensität nur von 14 % sämtlicher Regenfälle erreicht oder überschritten wird.

B. Die Berechnung der Regenauslässe hinsichtlich Ueberlaufdauer, Ueberlaufmenge und Anzahl der Entlastungen

1. *Der Trockenwetterabfluss.* Es bezeichne:

w = Schmutzwassermenge in l pro Kopf der Bevölkerung und pro Tag inklusive kleinere, gewerbliche Betriebe,
q_m = sekundliche Trockenwettermenge pro Kopf im Tagesmittel,
q_n = sekundlich abfliessende Trockenwettermenge pro Kopf bei gleichmässiger Verteilung des Tagesanfalles auf n Stunden (n = 10 bis 18 Stunden),
E = Einwohnerzahl des gesamten Einzugsgebietes,
E_1 = Einwohnerdichte = Anzahl Einwohner pro ha,
Q_m = sekundliche Trockenwettermenge beim Regenauslass im Tagesmittel,
Q_n = sekundlich abfliessende Wassermenge beim Regenauslass bei gleichmässiger Verteilung des Tagesanfalles auf n Stunden,
Q_i = sekundlicher Abwasseranfall beim Regenauslass von den industriellen Betrieben,
q_i = sekundlicher Abwasseranfall von den industriellen Betrieben auf den Kopf der Bevölkerung gerechnet (hydraulischer Einwohnergleichwert) auf 24 bzw. n Stunden gleichmässig verteilt,
F_z = Grösse des Teilgebietes z in ha,
ψ_z = Abflussbeiwert für das Teilgebiet z.

Dabei sollen die Werte w, q_m und q_n nur den Abwasseranfall, herrührend vom häuslichen Wasserverbrauch und von kleineren gewerblichen Betrieben einschliessen. Dann ist:

$$q_m = \frac{w}{24 \cdot 3600} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

$$q_n = \frac{w}{n\,3600} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1')$$

$$Q_m = E\,(q_m + q_i) = \frac{E\,w}{24 \cdot 3600} + Q_i \quad . \; . \; . \; . \quad (2)$$

$$Q_n = E\,(q_n + q_i) = \frac{E\,w}{n\,3600} + Q_i \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (2')$$

Häufig wird vorgeschrieben, dass der Regenauslass erst bei einer bestimmten Mischung $1 + m$ zur Wirkung gelangen soll, wobei die Zahl m den Regenwasseranteil bedeutet [5]). Soll zu jeder Tages- und Nachtzeit der Regenauslass bei einer Mischung $1 + m$ in Tätigkeit treten, so ist unter der Zahl 1 der mittlere Abfluss des Trockenwetters über 24 Stunden verteilt zu verstehen. In der Praxis bedeutet die Zahl 1 jedoch fast ausnahms-

[3]) Ausgewertet nach der Köppen'schen Stichprobenmethode.

[4]) Als einzelner Regenfall gilt ein Regen, der keine oder kleinere Regenpausen als 20 Minuten aufweist. Sobald die Regenpause innerhalb eines Regenfalles 20 Minuten überschreitet, sind zwei, eventuell mehrere Regenfälle in Rechnung gesetzt worden.

[5]) Mit der Bezeichnung Mischung und Mischungsverhältnis, anstatt Verdünnung, schliesse ich mich den Ausführungen von Kurz [3] an. Bei Regenauslässen handelt es sich nicht um Verdünnungen in chemischem Sinne, wie Analysen beweisen. Das Wort Verdünnung soll deshalb ausschliesslich bei der Betrachtung von Abwassereinläufen in Vorfluter gebraucht werden.

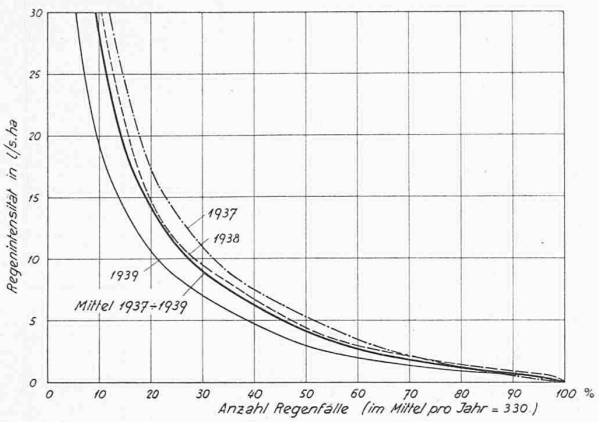


Abb. 4. Häufigkeitskurven der Regenfälle der Jahre 1937, 1938 und 1939, sowie Mittelkurve 1937 bis 1939

los die gesamte Trockenwetter-Abflussmenge, die auftritt, wenn die tägliche Schmutzwassermenge auf 10 bis 18 Stunden gleichmässig verteilt zum Abfluss gelangt. Bei dieser Annahme beträgt tagsüber derjenige Regenwasseranteil, der gerade einen Ueberlauf bewirkt, das m-fache, nachts das $(m + 1)$-fache des Trockenwetterabflusses.

2. Die kritische Regenintensität

Unter kritischer Regenintensität soll jene Regenspende r' in l/sec ha verstanden sein, bei der der Regenauslass gerade zur Wirkung gelangt. Dies tritt dann ein, wenn der Regenwetterabfluss das m-fache des Trockenwetterabflusses erreicht. Bei gleichmässiger Verteilung des Schmutzwasseranfalles auf 24 Stunden gilt dann:

$$r' \Sigma F_z \psi_z = m \left(\frac{E w}{24 \cdot 3600} + Q_i \right) = m (q_m + q_i) E \quad . \quad (3)$$

Führt man für den Ausdruck $\Sigma F_z \psi_z$ den Ausdruck $F_{\text{red.}}$ (= reduzierte Abflussfläche) ein, dann wird

$$r' = \frac{m (q_m + q_i) E}{F_{\text{red.}}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

oder bei Verteilung des Trockenwetterabflusses auf n Tagesstunden:

während den n Tagesstunden:

$$r' = \frac{m (q_n + q_i) E}{F_{\text{red.}}} \quad . \; . \quad (4')$$

während $24 - n$ Nachtstunden:

$$r' = \frac{(m + 1) (q_n + q_i) E}{F_{\text{red.}}} \quad (4'')$$

Liegt ein Einzugsgebiet von durchwegs gleicher Besiedlungsdichte und gleichem Abflussbeiwert vor, so vereinfachen sich obige Gleichungen wie folgt:

beim 24-stündigen Trockenwetterabfluss:

$$r' = \frac{m (q_m + q_i) E_1}{\psi} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

beziehungsweise während den n Tagesstunden beim n-stündigen Abfluss:

$$r' = \frac{m (q_n + q_i) E_1}{\psi} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5')$$

bzw. während den $24 - n$ Nachtstunden:

$$r' = \frac{(m + 1) (q_n + q_i) E_1}{\psi} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (5'')$$

Die Grösse der kritischen Regenintensität ist massgebend für die Bestimmung der Ueberlaufdauer, der Ueberlaufmenge und der Anzahl der Ueberläufe während eines bestimmten Zeitabschnittes. Sie ist somit für die Beurteilung über die Beanspruchung eines Vorfluters von ausschlaggebender Bedeutung.

Aus den Gleichungen (4) und (4') geht hervor, dass es nicht genügt, sich bei einem bestimmten Vorfluter mit einem festen Mischungsverhältnis $1 + m$ zu begnügen. Die kritische Regenintensität ist nicht nur von der Grösse der Mischungszahl m abhängig, sondern ebensosehr von der Grösse des Wasserverbrauches pro Einwohner, von der Besiedlungsdichte und vom Abflussbeiwert. Für die Ueberlaufmenge spielt zudem die Grösse des Einzugsgebietes eine massgebende Rolle. Wie gross der Einfluss der Besiedlung allein in Bezug auf die kritische Regenintensität bei konstantem Schmutzwasseranfall pro Kopf und einem Einzugsgebiet mit durchwegs gleichmässiger Bebauungsdichte sein kann, geht aus nachfolgendem Beispiel hervor.

Beispiel. Mit $w = 400$ l/Kopf und Tag (inkl. Gewerbe und industrielle Betriebe) wird $q_m = 0{,}0046$ l/sec und $q_n = q_{14} = 0{,}0080$ l/sec. Der Abflussbeiwert für die Berechnung der Ueberlaufdauer und Ueberlaufmenge ergibt sich auf Grund zahlreicher Veröffentlichungen im Mittel zu rund

$$\psi = 0{,}20 + 0{,}0014 E_1 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

In den Tabellen 2 und 3 sind für diese Annahmen die kritischen Regenintensitäten für verschiedene Mischungszahlen $m = 1$ bis 11 zusammengestellt. Die Werte in Tabelle 2 sind in Bezug auf den mittleren 24-stündigen Trockenwetterabfluss berechnet, diejenigen in Tabelle 3 für den über 14 Tagesstunden gleichmässig verteilten Trockenwetteranfall.

Da bei bestimmten Verhältnissen bereits die kritische Regenintensität eine Beurteilung über die Wirkung verschiedener Regenauslässe erlaubt, sollen die gewonnenen Resultate näher betrachtet werden.

Aus Tabelle 3 geht hervor, dass, gleiche Verhältnisse vorausgesetzt, ein Regenauslass mit gleicher Wirkung auf den Vorfluter bezüglich der Dauer der Entlastung je nach Besiedlungsdichte des Einzugsgebietes bei folgenden Mischungsverhältnissen entlasten müsste (Annahme: kritische Regenintensität $r' = 7$ l pro sec ha)

bei 20 Einwohner pro ha; Mischung angenähert $1 + 10$
bei 50 Einwohner pro ha; Mischung angenähert $1 + 4$
bei 100 Einwohner pro ha; Mischung angenähert $1 + 3$
bei 500 Einwohner pro ha; Mischung angenähert $1 + 1$

Selbstverständlich gelten die erhaltenen Mischungszahlen nur für die dem Beispiel zu Grunde gelegten Annahmen.

Diese Betrachtung zeigt den grossen Einfluss der Besiedlungsdichte des Einzugsgebietes deutlich. Sie zeigt aber auch, dass es zwecklos ist, sich bei einem bestimmten Vorfluter darüber zu streiten, ob eine Mischung von $1 + 3$ oder $1 + 5$ für einen vorliegenden Fall zulässig sei oder nicht, ohne sich über die Besiedlungsdichte, den Schmutzwasseranfall pro Kopf und den Abflussbeiwert Rechenschaft zu geben. Wie später gezeigt wird, spielt auch die Grösse des Einzugsgebietes eine Rolle, wenigstens bezüglich der Ueberlaufmenge.

3. Ueberlaufdauer der Regenauslässe

Die Frage nach der Ueberlaufdauer der Regenauslässe kann aus den entwickelten Unterlagen beantwortet werden. Für den jeweils vorliegenden Fall kann die kritische Regenintensität r' nach den Gleichungen (4) oder (4') berechnet werden. Aus der Dauerkurve der Regenintensitäten (Abb. 3) ist die zu r' gehörende mittlere Regendauer pro Jahr ohne weiteres ersichtlich. Unter den gleichen Annahmen wie in vorstehendem Beispiel würden sich als jährliche Ueberlaufdauer in Stunden für ein Mitteljahr bei verschiedenen Mischungszahlen und Einwohnerdichten die in der Tabelle 4 aufgeführten Werte ergeben. Dabei bedeuten die Werte in Kursivdruck die Ueberlaufdauer in % der gesamten jährlichen Regendauer, die in Abschnitt A zu 1048 Stunden angegeben wurde. In Tabelle 4 sind die Verhältnisse angegeben, wie sie sich bei gleichmässiger Verteilung des Schmutzwasseranfalles über 24 Stunden ergeben. Wird das Mischungsverhältnis in bezug auf den 14-stündigen Tagesanfall berechnet, so ergeben sich wesentlich andere Werte, die in Abbildung 5 graphisch dargestellt sind. Auf der Abszisse ist die

Tabelle 2. Kritische Regenintensitäten in l/s ha für verschiedene Mischungsverhältnisse und verschiedene Bebauungsdichten. Mischungszahl bezogen auf die mittlere Trockenwettermenge in 24 Stunden.

Einwohnerdichte E/ha	20	50	100	300	500
Abflussbeiwert ψ	0,23	0,27	0,34	0,62	0,90
$m = 1$	0,40	0,85	1,35	2,22	2,56
$m = 3$	1,20	2,55	4,05	6,68	7,68
$m = 5$	2,00	4,26	6,75	11,12	12,80
$m = 7$	2,80	5,96	9,46	15,60	17,90
$m = 9$	3,60	7,67	12,16	20,05	22,94
$m = 11$	4,40	9,38	14,87	24,46	28,16

Tabelle 3. Kritische Regenintensitäten in l/s ha für verschiedene Mischungsverhältnisse und Bebauungsdichten. Mischungszahl bezogen auf den über die 14 Tagesstunden verteilten Trockenwetterabfluss.

Einwohnerdichte E/ha	20	50	100	300	500
Abflussbeiwert ψ	0,23	0,27	0,34	0,62	0,90
$m = 1$	0,99	2,10	3,33	5,50	6,28
$m = 3$	2,38	5,05	8,05	13,26	15,20
$m = 5$	3,76	8,02	12,80	21,00	24,05
$m = 7$	5,15	11,00	17,50	28,80	33,00
$m = 9$	6,55	13,95	22,20	36,60	41,90
$m = 11$	7,94	16,90	26,80	44,30	50,60

Tabelle 4. Regendauer bzw. Ueberlaufdauer in Stunden für ein Mitteljahr (Kursivzahlen-Werte in % der gesamten jährlichen Regendauer) für verschiedene Mischungsverhältnisse und verschiedene Bebauungsdichten des Einzugsgebietes. Mischungszahl bezogen auf die mittlere Trockenwettermenge in 24 Stunden.

Einwohnerdichte E/ha		20	50	100	300	500
Abflussbeiwert ψ		0,23	0,27	0,34	0,62	0,90
$m = 1$	Regenstunden	890	705	555	410	362
	%	*85,0*	*67,3*	*53,0*	*39,1*	*34,6*
$m = 3$	Regenstunden	595	364	230	121	96
	%	*56,8*	*34,7*	*22,0*	*11,5*	*9,2*
$m = 5$	Regenstunden	442	220	118	45	34
	%	*42,2*	*21,0*	*11,3*	*4,3*	*3,2*
$m = 7$	Regenstunden	332	144	62	23,5	18,5
	%	*31,6*	*13,7*	*5,9*	*2,25*	*1,77*
$m = 9$	Regenstunden	260	96	38	15,5	12,0
	%	*24,8*	*9,2*	*3,6*	*1,48*	*1,15*
$m = 11$	Regenstunden	212	65	26	11	8,5
	%	*20,2*	*6,2*	*2,5*	*1,05*	*0,81*

Einwohnerdichte aufgetragen. Auf der Ordinate vom Ursprung nach unten findet sich die Grösse des Abflussbeiwertes. Die errechneten Kurven sind nur gültig für die angegebene Beziehung zwischen Einwohnerdichte und Abflussbeiwert, die der Gleichung (6) entspricht. Vom Ursprung nach oben wurde die Ueberlaufdauer in % der gesamten jährlichen Regendauer aufgezeichnet. Die Kurven für die verschiedenen Mischungszahlen $m = 1$ bis 11 zeigen die starke Abhängigkeit der Ueberlaufdauer von der Bebauungsdichte sehr deutlich.

4. Ueberlaufmenge der Regenauslässe

Die Ueberlaufmenge der Regenauslässe während eines bestimmten Zeitraumes lässt sich aus der Regenhöhenkurve der Abb. 3 ermitteln. Nach Bestimmung der kritischen Regenintensität r' wird auf der Regenhöhenkurve derjenige Punkt ermittelt, dessen Ordinate gleich r' ist. Die zugehörige Abszisse gibt an, wieviel mm Regenhöhe im Jahresdurchschnitt zu erwarten ist, die von Regenfällen herrühren, deren Abfluss den Regenauslass durchfliesst ohne einen Ueberfall zu bewirken. Da nur die r' überschreitenden Regenintensitäten einen Ueberfall zur Folge haben, ist die Differenz zwischen der mittleren, jährlichen Regenhöhe von 1044 mm und der oben ermittelten Regenhöhe zur Berechnung der Ueberlaufmenge massgebend. Als gesamte, jährliche Ueberlauffülle $Q_{ü}$ in m³ pro Jahr ergibt sich:

$$Q_{ü} = N' \Sigma \psi_z F_z = N' F_{\text{red.}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

wobei N' = jährliche Regenfülle in m³ pro ha, herrührend von den die kritische Intensität r' überschreitenden Regenspitzen (1 mm Regenhöhe = 10 m³ pro ha Regenfülle).

Unter den gleichen Annahmen für den Schmutzwasseranfall, die Einwohnerdichte und den Abflussbeiwert wie vorstehend, ergeben sich die Ueberlaufmengen der Regenauslässe pro Jahr und pro Hektare Einzugsgebiet gemäss der Zusammenstellung in der Tabelle 5 für den 24-stündigen Trockenwetterabfluss. In Abb. 6 ist die Beziehung zwischen Einwohnerdichte und Ueberlaufmenge graphisch dargestellt, wobei der Trockenwetterabfluss auf die 14 Tagesstunden gleichmässig verteilt angenommen ist.

Da die jährliche Ueberlaufmenge in m³ der reduzierten Fläche des Einzugsgebietes direkt proportional ist, sofern der Einfluss der Abflussverzögerung unberücksichtigt bleibt, wird die Ueberlaufmenge zur Beurteilung der Wirkung des Regenauslasses auf den Vorfluter bei grösseren Einzugsgebieten massgebend.

5. Anzahl der jährlichen Entlastungen eines Regenauslasses

Zur Ermittlung der Anzahl der Entlastungen wurde von der Voraussetzung ausgegangen, dass ein Regenfall dann einen Ueberlauf bewirkt, wenn seine Regenspitze die kritische Intensität r' überschreitet. Um den Einfluss der Abflussverzögerung beurteilen zu können, sind die einzelnen Regenfälle nach der zeitlichen Dauer ihrer Regenspitzen hin untersucht worden. Als Ergebnis dieser Untersuchung ging hervor, dass bei Starkregen die stärkste Intensität nur während etwa 5 bis 10 Minuten vorhanden ist, während bei Schwachregen, deren Regenspitzen eine Intensität von der Grössenordnung der kritischen aufweisen, die Dauer der maximalen Intensität der Einzelregen im Mittel etwa eine Stunde beträgt. Die Annahme, dass jeder Regenfall mit stärkerer Intensität als r' einen Ueberfall bewirkt, ist deshalb in erster Annäherung gerechtfertigt. Eine Berücksichtigung der Abflussverzögerung hätte übrigens eine Verminderung der Anzahl der Entlastungen zur Folge. Die errechneten Werte sind also gegenüber den tatsächlichen Verhältnissen zu ungünstig.

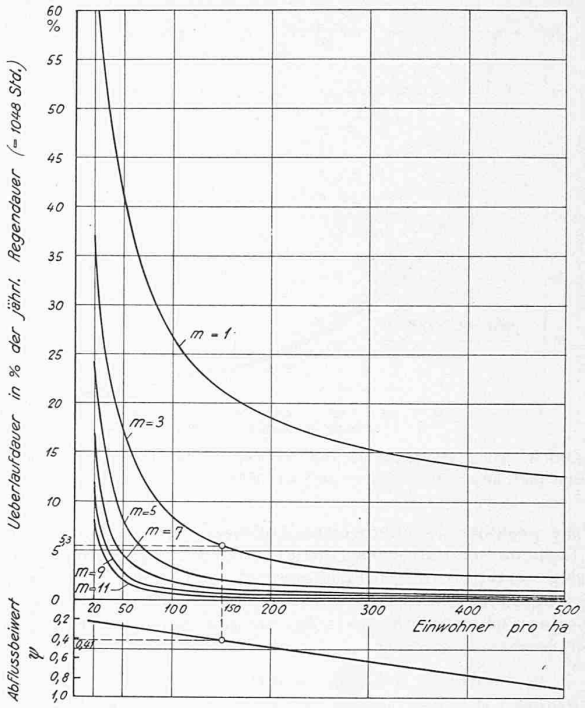


Abb. 5. Ueberlaufdauer in % der jährlichen Regendauer für verschiedene Mischungsverhältnisse und Bebauungsdichten des Einzugsgebietes. Mischungszahl m bezogen auf den über 14 Tagesstunden gleichmässig verteilten Trockenwetterabfluss. w = 400 l/KT. *Beispiel:* Bei 150 E/ha ($\psi = 0{,}41$) und einer Mischung 1 + 3 beträgt die jährliche Ueberlaufdauer 5,3% von 1048 Std = 56 Stunden

Hingegen soll für die Berechnung der Anzahl der jährlichen Entlastungen eines Regenauslasses mit andern Abflussbeiwerten gerechnet werden, als für die Beurteilung der Ueberlaufdauer und der Ueberlaufmenge, da die Grösse der Abflusspitze des Einzelregens dafür massgebend ist. Aus Mangel an Beobachtungen für schweizerische Verhältnisse soll im Folgenden ein Scheitelabflussbeiwert ψ_s [6]) verwendet werden, der folgender Gleichung gehorcht:

$$\psi_s = 0{,}12 + 0{,}0015\, E_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Unter Berücksichtigung gleicher Verhältnisse wie im vorhergehenden Beispiel würde sich beim 24-stündigen Trockenwetterabfluss die Anzahl der jährlichen Entlastungen gemäss Tabelle 6 ergeben und wie in Abb. 7 dargestellt bei Berücksichtigung des über die 14 Tagesstunden gleichmässig verteilten Schmutzwasseranfalles. Zur Aufstellung der Tabelle und der Abbildung war die erneute Bestimmung der kritischen Regenintensität erforderlich auf Grund der neuen Beziehung zwischen Einwohnerdichte und Scheitelabflussbeiwert.

C. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Aus den aufgestellten Tabellen, den graphischen Darstellungen und weiteren Berechnungen ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

1. Eine allgemeine Festsetzung des Mischungsverhältnisses, bei dem ein Regenauslass entlasten soll und das nicht überschritten werden darf (z. B. 1 + 5), ist unzulässig. Selbst bei gleicher Grösse der Wasserführung des Vorfluters und gleicher chemischer und biologischer Vorbelastung darf für zwei verschiedene Regenauslässe nicht dasselbe Mischungsverhältnis gewählt werden, sofern der Vorfluter ähnliche Belastungen durch diese Auslässe erfahren soll.

2. Die Beeinflussung eines Vorfluters durch einen Regenauslass ist nicht nur von der Wahl der Mischungszahl abhängig, sondern ebensosehr von der Grösse des Wasserverbrauchs pro Einwohner und Tag, von den Schwankungen des Trockenwetteranfalles, von der Besiedlungsdichte, dem Abflussbeiwert und der Grösse des Einzugsgebietes.

Beträgt z. B. die Schmutzwassermenge pro Kopf und Tag nur 200 statt 400 l, so wird die kritische Regenintensität proportional kleiner. Dies hat eine Vergrösserung der jährlichen Ueberlaufdauer zur Folge und zwar auf das 1,3 bis 4,0-fache der für w = 400 l/KT in Abb. 5 dargestellten Werte, je nach Mischungs-

[6]) Ueber Messungen von Gesamt- und Scheitelabflussbeiwerten berichten von Bülow [8] und Carp [9].

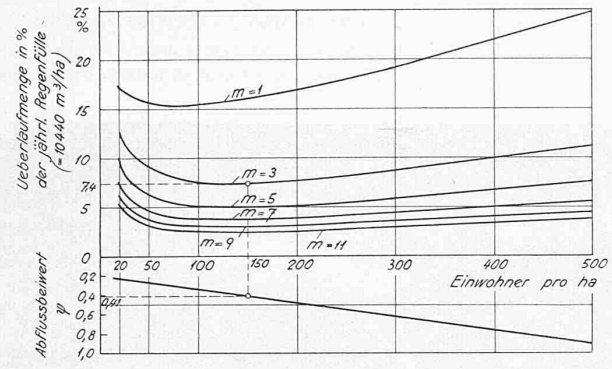


Abb. 6. Ueberlaufmenge in % der jährlichen Regenfülle für verschiedene Mischungsverhältnisse und Bebauungsdichten des Einzugsgebietes. Mischungszahl m bezogen auf den über 14 Tagesstunden gleichmässig verteilten Trockenwetterabfluss. $w = 400$ l/KT.
Beispiel: Bei 150 E/ha ($\psi = 0{,}41$) und einer Mischung 1 + 3 beträgt die jährliche Ueberlaufmenge 7,4 % von 10440 m³/ha = 775 m³/ha

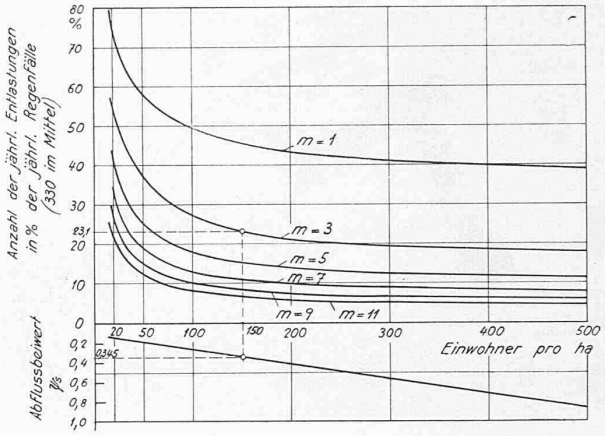


Abb. 7. Anzahl der jährlichen Entlastungen in % der Regenfälle pro Jahr für verschiedene Mischungsverhältnisse und Bebauungsdichten des Einzugsgebietes. Mischungszahl m bezogen auf den über 14 Tagesstunden gleichmässig verteilten Trockenwetterabfluss. $w = 400$ l/KT.
Beispiel: Bei 150 E/ha ($\psi_s = 0{,}345$) und einer Mischung 1 + 3 beträgt die Anzahl der Entlastungen 23,1 % von 330 = 76 mal pro Jahr

Tabelle 5. Ueberlaufmenge pro ha und Jahr in m³ für ein Mitteljahr für verschiedene Mischungsverhältnisse und Bebauungsdichten.
a = Regenfülle N' in m³/ha
b = Ueberlaufmenge bzw. Ueberlauffülle $Q_{ü}$ in m³/ha = $\psi N'$
% = Prozent der mittleren jährlichen Regenfülle = 10 440 m³/ha

Einwohnerdichte E/ha		20	50	100	300	500
Abflussbeiwert	ψ	0,23	0,27	0,34	0,62	0,90
m = 1	a	9300	8090	7120	5910	5530
	b	2140	2180	2420	3670	4980
	%	*20,5*	*20,9*	*23,2*	*35,1*	*47,7*
m = 3	a	7360	5540	4120	2740	2430
	b	1690	1496	1400	1700	2190
	%	*16,2*	*14,3*	*13,4*	*16,3*	*21,0*
m = 5	a	6170	3940	2720	1700	1500
	b	1420	1062	925	1055	1350
	%	*13,6*	*10,2*	*8,85*	*10,1*	*12,9*
m = 7	a	5290	3010	1890	1270	1130
	b	1213	813	644	788	1020
	%	*11,6*	*7,78*	*6,15*	*7,55*	*9,75*
m = 9	a	4500	2430	1580	1020	910
	b	1033	656	538	632	820
	%	*9,90*	*6,28*	*5,15*	*6,05*	*7,85*
m = 11	a	3840	2010	1320	860	740
	b	885	543	449	533	665
	%	*8,46*	*5,20*	*4,30*	*5,10*	*6,36*

Tabelle 6. Anzahl der jährlichen Entlastungen eines Regenauslasses für ein Mitteljahr, effektiv und in % der sämtlichen Regenfälle pro Jahr (im Mittel 330 Regenfälle pro Jahr) für verschiedene Mischungsverhältnisse und verschiedene Bebauungsdichten des Einzugsgebietes, bezogen auf den 24-stündigen Trockenwetterabfluss.

Einwohnerdichte E/ha		20	50	100	300	500
Scheitelabflussbeiwert ψ_s		0,15	0,195	0,27	0,57	0,87
m = 1	Eff.	288	258	232	203	197
	%	*90,6*	*78,8*	*70,7*	*62,0*	*60,0*
m = 3	Eff.	226	175	148	117	110
	%	*69,0*	*53,3*	*45,0*	*35,8*	*33,5*
m = 5	Eff.	187	135	107	74	69
	%	*57,0*	*41,2*	*31,6*	*22,7*	*21,2*
m = 7	Eff.	161	106	76	54	50
	%	*49,1*	*32,3*	*23,2*	*16,6*	*15,2*
m = 9	Eff.	141	85	60	44	40
	%	*43,0*	*25,9*	*18,4*	*13,5*	*12,1*
m = 11	Eff.	124	70	49	35	32
	%	*37,8*	*21,4*	*15,0*	*10,7*	*9,7*

zahl und Einwohnerdichte. Die Ueberlaufmenge wird ebenfalls grösser, wächst jedoch nur etwa auf das 1,1 bis 2,0-fache, die Anzahl der Entlastungen auf das 1,2 bis 2,5-fache. Der Wasserverbrauch pro Kopf, den man bis anhin für die Beurteilung der Regenauslässe kaum je berücksichtigt hat, ist also von entscheidender Bedeutung.

Die kritischen Regenintensitäten sind ferner den Abflussbeiwerten umgekehrt proportional. Ueberlaufmenge, Ueberlaufdauer und die Anzahl der Entlastungen nehmen bei einer Erhöhung des Beiwertes zu, die Ueberlaufmenge am meisten.

Die Ueberlaufmenge ist der Grösse des Einzugsgebietes direkt proportional.

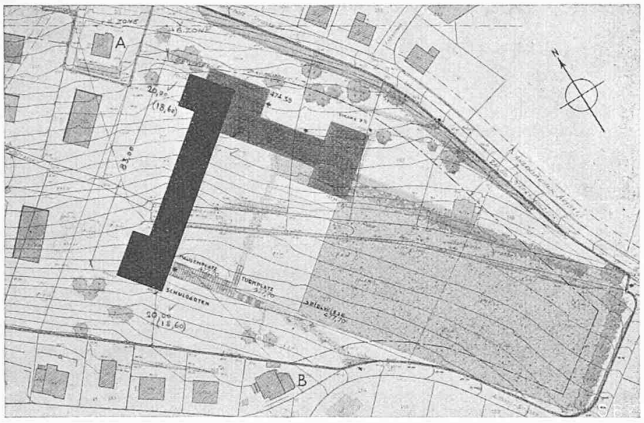
3. Die Belastung eines Vorfluters durch einen Regenauslass ist umso grösser, je länger der Auslass jährlich in Tätigkeit und je grösser die jährliche Ueberlaufmenge ist. Auf Grund dieser Erkenntnisse haben die massgebenden Behörden häufig die Tendenz, das als zulässig erachtete Mischungsverhältnis möglichst hoch anzunehmen (1 + 10 und mehr). Die graphischen Darstellungen Abb. 5, 6 und 7 zeigen jedoch deutlich (gleiche Verhältnisse wie für das berechnete Beispiel vorausgesetzt), dass bei normalen Vorflutverhältnissen solch hohe Mischungszahlen nur bei dünner Besiedlung, bei kleinem spezifischen Wasserverbrauch und bei grossen Einzugsgebieten verantwortet werden können. Bei dichterer Besiedlung ist die Wirkung des Regenauslasses auf den Vorfluter bei einer Entlastung von z. B. 1 + 7 statt 1 + 11 nicht wesentlich schlechter, auf alle Fälle nicht soviel, wie allgemein angenommen wird.

4. Durch unsachgemässe Ausbildung der Kanäle und deren Vereinigungsbauwerke, sowie durch deren mangelhafte Reinigung gelangen infolge Schlammablagerungen in den Kanälen oft stark belastete Abwässer in den Regenauslasskanal. Diese Abwässer belasten den Vorfluter häufig mehr als eine nicht allzu engherzige Interpretation des Mischungsverhältnisses.

5. Für jeden jeweils vorliegenden Fall ist zur Beurteilung der Wirkung des Auslasses auf den Vorfluter die kritische Regenintensität, die Ueberlaufdauer, die Ueberlaufmenge und die Anzahl der Ueberläufe für verschiedene Mischungszahlen vorerst theoretisch zu ermitteln, was auf Grund der vorliegenden Untersuchung möglich ist. Selbstverständlich muss auch der Vorfluter in Bezug auf seine hydrologischen und chemisch-biologischen Verhältnisse bekannt sein. Ist die Gewähr dafür vorhanden, dass die Kanäle in Ordnung gehalten werden, so dürfte öfters (namentlich bei kleinen Einzugsgebieten, dichter Bebauung und bei grossem Schmutzwasseranfall pro Kopf) ein Mischungsverhältnis für die Entlastung von etwa 1 + 3 unbedenklich sein. Im allgemeinen wird eine Mischungszahl m entsprechend einer Ueberlaufdauer und Ueberlaufmenge von rd. 5 bis max. 10 % der zugeordneten Jahreswerte genügen. Die Grösse des Einzugsgebietes und die Eigenschaften des Vorfluters sind zu berücksichtigen.

Bei der Anzahl der Entlastungen können Werte von 10 bis 20 % der jährlichen Regenfälle verantwortet werden, infolge der in den errechneten Werten enthaltenen Sicherheiten und der untergeordneten Bedeutung der Anzahl der Entlastungen auf den Vorfluter.

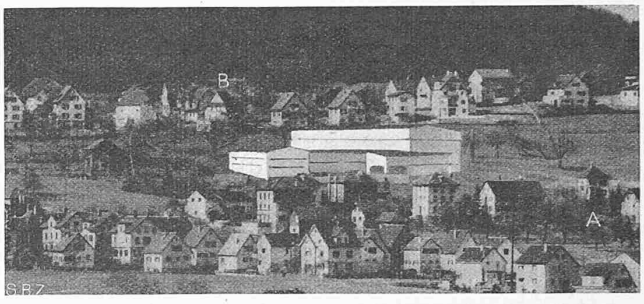
6. Verträgt ein Vorfluter die vorgenannte zusätzliche Belastung durch einen Regenauslass nicht oder muss eine solche aus andern Gründen tunlichst vermieden werden, so sind selbst bei Mischungsverhältnissen von 1 + 12 und darüber unbefriedigende Verhältnisse zu erwarten. Es bleibt dann nichts anderes übrig, als entweder auf die Erstellung eines Regenauslassbau-



Wettbewerb für ein Schulhaus Zürich-Affoltern

4. Rang (2200 Fr.) Entwurf Nr. 5. — Lageplan 1 : 2500, Bild aus Osten

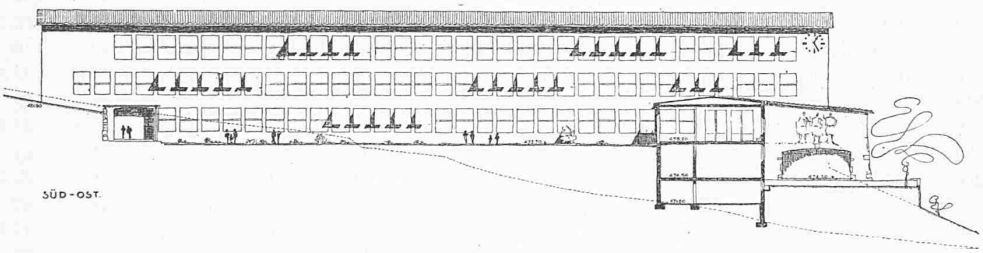
Verfasser WILLIAM CLÉMENÇON, Zürich



werkes zu verzichten oder, wenn dies finanziell nicht tragbar ist, eine Regenwasserkläranlage zu erstellen. Häufig ist in solchen Fällen die Entwässerung im Trennsystem vorteilhaft.

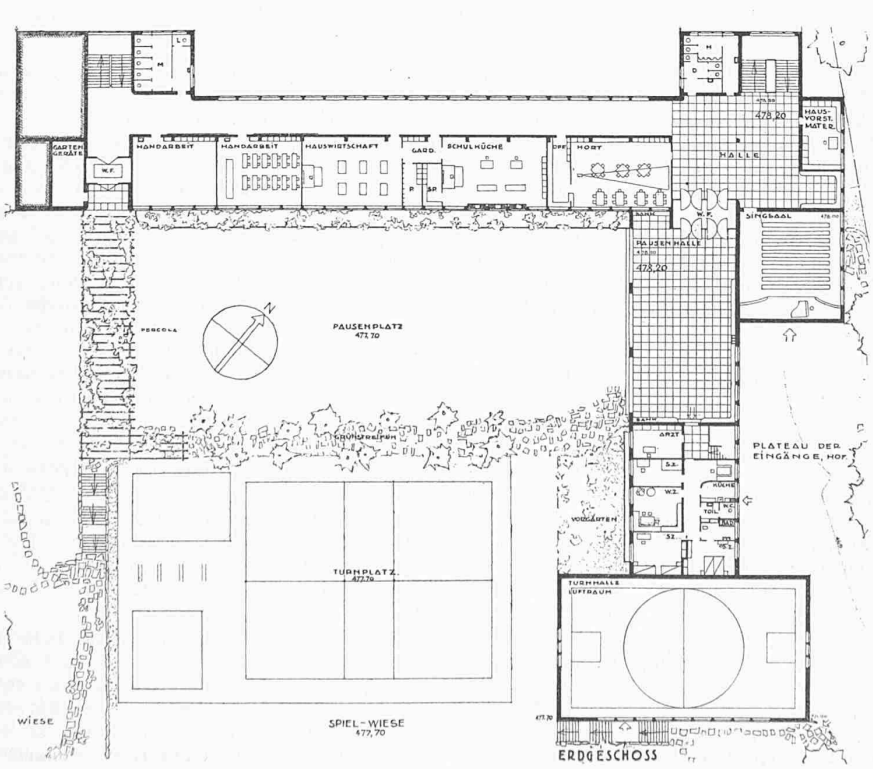
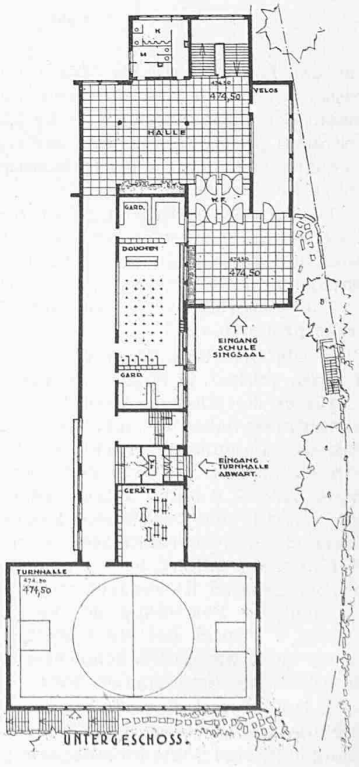
7. Regenwasserklärbecken sind teuer, wenn eine Aufenthaltszeit für die grössten Abflusspitzen von 10 bis 20 Minuten verlangt wird. Engberding [2] gibt an, dass ein Regenwasser-Klärbecken (System Mannes) im Emschergebiet eine gute Klärwirkung des Mischwasseranfalles zur Folge habe, das für eine minimale Aufenthaltszeit von 3 Minuten bemessen ist. Selbst für diese reduzierte Aufenthaltszeit sind für viele Gemeinden die Regenbecken eine zu starke finanzielle Belastung. In solchen Fällen wird man die Anlage mindestens auf eine Regenintensität von etwa 20 l/sec ha dimensionieren bei 10 bis 20 Minuten Aufenthaltszeit. Die Regenspitzen erhalten dann eine entsprechend kürzere Klärzeit oder können vor der Regenwasserkläranlage entlastet werden. Die Zahl 20 l/sec ha ergibt sich aus Abb. 2 und Abb. 3. Da die Dauerkurve der Regenintensität und die Regenhöhenkurve von 20 l/sec ha Regenspende an aufwärts beinahe parallel zur Ordinate verlaufen, würde eine Erhöhung der als Berechnungsgrundlage gewählten Intensität selbst um das Doppelte auf 40 l/sec ha die Klärung einer nur kleinen Menge zusätzlichen Regenabflusses bewirken. Für die Möglichkeit einer späteren Erweiterung der Anlage ist zu sorgen.

8. Die ermittelten Zahlenwerte sind infolge der Abhängigkeit vom Abflussbeiwert mit der selben Unsicherheit behaftet, die auch bei allen übrigen Kanalberechnungen heute noch besteht. Man darf daher schlechterdings keine mathematische Genauigkeit der Ergebnisse verlangen. Zum Abschätzen der Wirkung der Regenauslässe, namentlich zum Beurteilen und richtigen Erkennen der gegenseitigen Einflüsse bei Annahme verschiedener Mischungszahlen sind die vorgenommenen Auswertungen der Regenfälle wertvoll.



Wettbewerb für ein Schulhaus Zürich-Affoltern

4. Rang, Entwurf Nr. 5

Alle Risse 1 : 700

(Grundrisse gegenüber dem Lageplan um etwa 70° rechts gedreht)