

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

1
L. inw.

294

252

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295935

Die hydrotechnische Rechnen

von
H. Müller

XX
179

Das hydrotechnische Rechnen

mittels

Hilfstabellen.

Alle Rechte vorbehalten.

Das hydrotechnische Rechnen

mittels

Hilfstabellen.

Anleitung

zur

leichten, raschen und sichern rechnerischen Bestimmung
der Rohrlichtweiten und damit verbundenen Leistungen
von Wasserleitungen jeder Art,

unter Beifügung von

9 Hilfstabellen

mit Gebrauchsanweisungen und Erläuterungen zu denselben,
unterstützt durch

90 Rechnungsbeispiele.

Für Hydrotekten (Ingenieure und Installateure),
Maschineningenieure, Architekten, Feuerwehren, überhaupt
für Techniker jeden Faches zum täglichen Gebrauche

von

Fr. König

Ingenieur und Hydrotekt.



Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1904.

xx
671

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

I 294

Akc. Nr. 2159/49

Einleitung.

Die Vorschläge und Entwürfe für Anlage, Bauausführung und Betrieb von Wasserleitungen (sowohl Reinwasserzuleitungen, als auch Abwasserleitungen) stellen dem Techniker fast täglich neue rechnerische Aufgaben, die in Feststellung von Druckveränderungen, Durchflussmengen und Geschwindigkeiten, sowie der Steighöhen freier Wasserstrahlen bestehen. Die Berechnung dieser Vorgänge mittels der hierfür gegebenen Formeln ist meistens sehr zeitraubend, oft schwierig und setzt auch schon gewisse mathematische Kenntnisse und Übungen voraus; dabei ist diese Rechnungsweise noch von der Gefahr begleitet, dass sich leicht wesentliche Rechnungsfehler einschleichen können. Sehr häufig werden deshalb die nötigen Berechnungen ganz vernachlässigt und die vorhandene Aufgabe nach hergebrachter Übung allgemeiner Annahmen, oder für einzelne Fälle aufgestellte Faustregeln, zu lösen versucht.

Da bei so oberflächlicher Behandlung wichtiger Vorgänge die vorliegenden örtlichen Verhältnisse, sowie die mannigfachen Erfordernisse der Wasserverwendung wenig oder gar nicht berücksichtigt werden

können, so ist auch der Erfolg häufig ein mangelhafter, oft ganz unzulänglicher. Auf diese Weise werden erhebliche, unnütze Kosten durch unzweckmässige Anlagen verursacht, während durch eine gründliche Berechnung aller Vorgänge die Anlagekosten auf ein Mindestmass gebracht werden können.

Um das hydrotechnische Rechnen zu erleichtern und abzukürzen, sowie überhaupt Vielen erst zu ermöglichen, hat der Verfasser die vorliegenden Tabellen zusammengestellt, durch deren Hilfe alle vorkommenden Aufgaben mit einer für die Praxis wünschenswerten Raschheit und Sicherheit gelöst werden können. Man kann sich mittels der Tabellen sowohl von der Leistungsfähigkeit einzelner Rohrleitungen als auch ganzer Rohrnetze leicht überzeugen, die schwachen Stellen derselben erkennen und deren Verbesserung herbeiführen; insbesondere gilt dies von einer zweckmässigen Verteilung des Betriebsdruckes über ein wasserversorgtes Stadtgebiet.

Der Betriebsdruck in einem Stadtrohrnetze hat für die einzelnen Orte eines Stadtgebietes verschiedene Höhe, je nach der Entfernung eines Ortes von der Druckquelle, d. h. von dem Hochbehälter oder dem Pumpwerke einer Wasserleitung, sowie auch je nach der Höhenlage eines Ortes in Bezug auf einen gemeinschaftlichen Horizont; ferner ist der jeweilige Wasserverbrauch und die Rohrlichtweite von wesentlichem Einflusse auf den örtlichen Betriebsdruck. Entfernung von der Druckquelle, Höhenlage und Rohrlichtweite bleiben für ein und denselben Ort im allgemeinen unveränderlich, während der ört-

liche und allgemeine Wasserverbrauch schon je nach der Jahres- und Tageszeit ein sehr schwankender ist. Der geringste örtliche Betriebsdruck ergibt sich für ein Stadtrohrnetz in der Zeit des stärksten Wasserverbrauches, der bei uns im allgemeinen im Sommer während der Vormittagsstunden von 9 bis 12 Uhr vorhanden ist; den grössten Betriebsdruck findet man dagegen im Winter und in den Morgenstunden von 1 bis 5 Uhr.

Zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Stadtrohrnetzes gegenüber seiner grössten Inanspruchnahme wären während der Zeit der grössten Wasserentnahme die örtlichen Druckverhältnisse für zahlreiche Punkte des Stadtgebietes manometrisch festzustellen; da sich die Grösse des Wasserverbrauches von Jahr zu Jahr ändert, so sind diese manometrischen Aufnahmen des geringsten Betriebsdruckes zeitweise zu wiederholen und dadurch die früheren Aufnahmen richtig zu stellen. Mit Zugrundelegung des so bestimmten örtlichen Betriebsdruckes kann man dann nach Bedürfnis die Leistungsfähigkeit der Städtischen Wasserleitung zur Wasserversorgung der angrenzenden Baugrundstücke, der öffentlichen Strassen und Plätze, besonders auch die Verwendbarkeit des Wassers zu Lösch- und Begiessungszwecken untersuchen.

Im Interesse der Feuersicherheit ist es dringend nötig, jedes Stadtrohrnetz bezüglich seiner Leistungsfähigkeit für Löschzwecke rechnerisch zu prüfen, denn was nützen alle erdenklichen Löscheinrichtungen innerhalb und ausserhalb der Gebäude, wenn die Wasserzu-

führung in der Stunde der Gefahr sowohl bezüglich der Wassermenge, als des Wasserdruckes ungenügend ist. Nur zu häufig werden für Gebäude und Grundstücke Löscheinrichtungen hergestellt, ohne dass man sich vorher von der Möglichkeit der erforderlichen Wasserzufuhr durch die Städtische Wasserleitung versichert hat. Die rechnerischen Untersuchungen des Röhrensystems innerhalb eines Grundstückes sowohl, als der benachbarten Strassen unterlässt man häufig als zu schwierig und verwickelt und weil auch gewöhnlich eine richtige Kenntnis des in den Strassenleitungen vorhandenen Betriebsdruckes mangelt.

Jedes Projekt für Wasserversorgung mit Löscheinrichtungen müsste vor seiner Genehmigung einer besonderen Prüfung durch die örtliche Feuerwehr unterworfen werden. Gerade die Wasserleitungen innerhalb der Grundstücke und Gebäude werden zum grossen Teile schablonenmässig nach hergebrachten Handwerksregeln, ohne jede rechnerische Grundlage, entworfen und ausgeführt.

Um den vorhandenen örtlichen Betriebsdruck der Strassenleitungen allgemein und öffentlich bekannt zu machen, wären an den Strassenecken kleine, eiserne Tafeln, ähnlich wie die Schieber- und Hydrantentafeln, anzubringen, auf welchen sowohl der Betriebsdruck der Strassenleitung als auch deren Lichtweite angegeben ist. Bis jetzt hat sich noch kein Städt. Wasserwerk veranlasst gesehen, diese nützliche Einrichtung auszuführen, sei es, dass man den Nutzen von Drucktafeln noch nicht erkannt hat, oder dass man durch eine mehr oder weniger berechnete

Scheu vor einer so ausgedehnten Bekanntgabe der Druckverhältnisse des Stadtrohrnetzes, davon zurückgehalten wird. Es ist übrigens nicht unumgänglich nötig, dass die Anbringung der Drucktafeln von der Verwaltung des Wasserwerkes ausgeht, es könnte dies z. B. auch von der Ortsfeuerwehr veranlasst werden, da diese ohnehin ein wesentliches Interesse an der Kenntnis der Druckverhältnisse hat. Einige Hydranten-Standröhren der Feuerwehr wären zu diesem Zwecke mit einer Vorrichtung zum Anschrauben eines Manometers zu versehen und damit wäre es dann leicht, in der Zeit des stärksten Wasserverbrauches an jedem Hydranten die vorhandene Druckhöhe festzustellen. Mittels dieser Manometer-Standröhren könnte die Feuerwehr sich auch überzeugen, in welchem Masse der gewöhnliche Betriebsdruck einer Strassenleitung durch Anschluss von einem oder mehreren Schläuchen und Wasserentnahme durch dieselben, zurückgeht; bei Strassenleitungen von kleiner Lichtweite und besonders solchen mit tolaufendem Ende, ist dieser Druckrückgang unter Umständen so bedeutend, dass die Löschwirkung des Wassers sehr fraglich wird.

Auch die Hausleitungen sollten nach dem Eintritt in das Grundstück oder Gebäude an geeigneter Stelle eine absperrbare Verschraubung erhalten, an welche zur Feststellung der vorhandenen Druckhöhe ein Manometer vorübergehend angeschraubt werden könnte. Wo Wassermesser angewendet werden, empfiehlt es sich sogar, eine solche Verschraubung vor und eine hinter dem Wassermesser anzubringen, um damit

den Druckverlust feststellen zu können, welcher bei dem Durchflusse einer bestimmten Wassermenge durch den Wassermesser verursacht wird; denn durch die Wassermenge, welche bei einem bestimmten Druckverbrauche der Wassermesser noch durchlässt, ist dessen Durchlassfähigkeit bezeichnet. Derartige Vorrichtungen zum Anschrauben von Manometern verursachen nur geringe Kosten und geben der Feuerwehr und den Installateuren das Mittel an die Hand, jederzeit sich von dem vorhandenen Druck zu überzeugen und dadurch manchem Übelstande bei der Wasserentnahme begegnen zu können. —

Ich habe die Bedeutung des Betriebsdruckes hier besonders hervorgehoben, weil die Kenntnis desselben für die Ausführung von Berechnungen in vielen Fällen eine unerlässliche Voraussetzung ist. Es erübrigt nur noch die Hilfstabellen für das hydrotechnische Rechnen einer kurzen Besprechung zu unterziehen.

Die Tabellen Ia und Ib enthalten die Zahlenwerte der Geschwindigkeiten und Durchflussmengen für Rohrleitungen verschiedener Lichtweiten und von verschiedenen Gefäll- oder Druckverhältnissen. Diese Zahlenwerte sind nach der abgekürzten Kutter'schen

$$\text{Formel } w = \frac{100 \cdot \sqrt{\frac{F}{U}}}{m + \sqrt{\frac{F}{U}}} = \frac{50 \cdot \sqrt{D}}{m + 0,5 \sqrt{D}} \text{ berechnet und}$$

zwar ist für Tabelle Ia ein Rauigkeitsgrad $m = 0,25$, für Tabelle Ib ein solcher von $m = 0,15$ zugrunde gelegt. Tabelle Ia kommt hauptsächlich für Strassen-

leitungen in Anwendung, wo nach längerem Gebrauche der Leitungen eine grössere Verunreinigung der inneren Rohrflächen eintreten kann, und weil man für diese Leitungen wegen etwaiger späterer, grösserer Inanspruchnahme bestrebt ist, den Rohrleitungen reichlich bemessene Lichtweiten zu geben. Tabelle Ib ist besonders für Hausleitungen und Schlauchleitungen anzuwenden, weil hier eine grössere Erhöhung des Rauigkeitsgrades durch Verunreinigung nicht in dem Masse wie bei Strassenleitungen zu befürchten ist oder leichter verhindert werden kann. Diese Tabellen Ia und Ib dienen dazu, für eine bestimmte Durchflussmenge und Rohrlichtweite den erforderlichen Druckaufwand, oder, wenn dieser bestimmt, die Rohrlichtweite oder Durchflussmenge aus den Tabellen entnehmen zu können.

Die Tabellen IIa und IIb enthalten die Wassermengen, welche unter verschiedenen Druckhöhen vor den Ausflussmündungen der Rohrleitungen verschiedener Lichtweite aus diesen abfliessen; Tabelle IIa enthält die Wassermengen für Druckhöhen von 0,1 bis 10,0 m und für Lichtweiten der Ausmündung von 1 mm bis 100 mm, Tabelle IIb die Ausflussmengen für Druckhöhen von 10,0 bis 75,0 m und für Lichtweiten von 1 mm bis 30 mm, die hauptsächlich bei Strahlrohr- und Springbrunnen-Mundstücken vorkommen. —

Die Tabellen III 1 und III 2 ermöglichen, die Zahlenwerte der Tabellen Ia und Ib für die Rauigkeitsgrade $m = 0,25$, $m = 0,20$ und $m = 0,15$ rasch umzurechnen, je nachdem einer von den dreien

bekannt ist. Aus Tabelle III 1 erhält man die Verhältniszahlen der verschiedenen Rohrlichtweiten zur Bestimmung der Wassermengen und Geschwindigkeiten für zwei der obigen Rauigkeitsgrade, wenn der dritte davon bekannt und der Druckaufwand dabei unveränderlich ist. Tabelle III 2 enthält die Verhältniszahlen der verschiedenen Rohrlichtweiten zur Bestimmung des nötigen Druckaufwandes für zwei der obigen Rauigkeitsgrade, wenn der dritte davon bekannt ist und wenn die Durchflussmenge immer die gleiche sein soll. Mittels dieser Tabellen ist es möglich, die Leistungsfähigkeit der Rohrleitungen für verschiedene Abstufungen der Rauigkeit, wie sie sich besonders nach längerem Gebrauche der Leitungen ergeben, leicht und einfach festzustellen.

In Tabelle IV findet man für die Druckhöhen vor der Ausmündung von 5,0 bis 75,0 m die Zahlenwerte der Ausflussmengen und der senkrechten Steighöhen des freien Wasserstrahles für Lichtweiten der Mundstücke von 1 mm bis 30 mm. Ebenso kann man daraus bei gegebener Steighöhe oder Wassermenge die erforderliche Mündungsweite oder den Mündungsdruck erhalten, je nachdem das eine oder andere der beiden letztgenannten schon bestimmt ist. — Die Wirksamkeit der ausgeworfenen Wasserstrahlen zu Lösch- und Besprengungszwecken lässt sich aus dieser Tabelle leicht und rasch erkennen, beziehungsweise durch Wahl verschiedener Mundstücke verändern.

Die Tabellen Va, Vb und Vc geben für Rohrleitungen von $12\frac{1}{2}$ mm bis 100 mm Lichtweite und für Längen derselben bis zu 100 m, sowie für

Mündungsweiten von 1 mm bis 100 mm die Zahlenwerte des Mündungsdruckes für einen wirksamen Druck von 10,0 m am Anfange der Rohrleitung. Der Mündungsdruck für anderen Anfangsdruck als 10,0 m wird durch einfache Multiplikation gefunden. Tabelle V a enthält in 17 Gruppen den Mündungsdruck für die Mündungsweiten von 1 mm bis 25 mm und für Rohrweiten von $12\frac{1}{2}$ bis 25 mm; Tabelle V b den Mündungsdruck für die Mündungsweiten von 6 mm bis 30 mm und für die Rohrweiten von 30 mm bis 45 mm; Tabelle V c den Mündungsdruck für die Mündungsweiten von 10 mm bis 100 mm und für Rohrweiten von 50 mm bis 100 mm.

Aus diesen Tabellen erhält man in vielen Fällen sofort den Mündungsdruck, wenn der am Anfange der Leitung vorhandene Betriebsdruck bekannt ist. Aus dem Mündungsdruck ergibt sich dann durch die Tabellen II und IV die entsprechende Ausflussmenge und senkrechte Steighöhe des freien Wasserstrahles. Die Tabellen V können vorzüglich bei Untersuchung der Leistungsfähigkeit von Hausleitungen und Schlauchleitungen zu Lösch- und Besprengungszwecken vielfache und hervorragende Dienste leisten. —

Die Ausdehnung der Tabellen ist auf die in der Praxis vorkommenden, handelsüblichen Lichtweiten der Röhren beschränkt und innerhalb der Grenzen des durchschnittlichen Bedürfnisses gehalten, um die Übersichtlichkeit und Handlichkeit der Tabellen durch übermässige Ausdehnung derselben nicht zu beeinträchtigen. Ausserdem ist in den Gebrauchsanweisungen zu den Tabellen der Weg angegeben, auf

welchem auch für andere Lichtweiten, Längen und Druckhöhen, sowie Durchflussmengen, als die in den Tabellen enthaltenen, die gesuchten Zahlenwerte uns schwer erhalten werden können. Mittels dieser Tabellen ist man imstande, rasch und sicher, ohne verwickelte Rechnungen, in allen Fällen der Wasserzu- und Ableitung mittels Röhren einen klaren Einblick in die Druck- und Abflussverhältnisse unter den verschiedensten Einwirkungen zu erhalten und darnach zweckmässige Anordnungen zur Regelung und Erhöhung der Leistungen der Rohrleitungen zu treffen.

Die folgenden Gebrauchsanweisungen zu den Tabellen erläutern sowohl die Einrichtung derselben, als auch deren Anwendung für die Bedürfnisse der Praxis durch zahlreiche Beispiele, so dass jedermann sich leicht mit der Benützung der Tabellen vertraut machen kann. An der Hand der 90 Beispiele, und der damit verbundenen rechnerischen Lösung der darin gestellten Aufgaben, gelangt man ohne Irrung zu der zweckmässigen Verwendungsweise der Tabellen.

Mit dem Wunsche, dass das vorliegende Werkchen „Das hydrotechnische Rechnen mittels Hilfstabellen“ in weiten Kreisen als ein treuer und nützlicher Mitarbeiter willkommen sein möge, verbindet der unterzeichnete Verfasser zugleich die Zuversicht, dass damit die rechnerische Behandlung von Wasserleitungsanlagen in erheblich ausgedehnterem Masse künftig vorgenommen werden wird, als dies bisher der Fall war.

Fr. König.

Inhalt.

Anweisung für den Gebrauch der	Seite
Tabelle Ia und b	1
„ IIa und b	16
„ III	47
„ IV	52
„ Va, b und c	54

Anweisungen für den Gebrauch der Tabellen.

Tabelle Ia und Ib.

Der allgemeine Gebrauch dieser Tabellen ist aus deren Einrichtung leicht verständlich; die Benützung in besonderen Fällen wird durch folgende Beispiele erläutert, wobei die nachstehend angeführten Beziehungen der Druckverluste h , Geschwindigkeiten G und Wassermengen W zu einander zu beachten sind:

Die Grundgleichungen für diese Beziehungen sind:

$$G = w \cdot \sqrt{\frac{D}{4} \cdot h}, \text{ sowie } W = \pi 4 \cdot D^2 \cdot G.$$

Für den gleichen Wert von D , erhält man demnach bei verschiedenen Werten von G_1 und G_2 , W_1 und W_2 sowie h_1 und h_2 :

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{W_1}{W_2} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \text{ oder}$$

$$G_1 = G_2 \cdot \frac{W_1}{W_2} = G_2 \cdot \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}$$

$$W_1 = W_2 \cdot \frac{G_1}{G_2} = W_2 \cdot \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}$$

$$h_1 = h_2 \cdot \left(\frac{G_1}{G_2}\right)^2 = h_2 \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \text{ und } \frac{G_1}{G_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

für gleichbleibende Werte von G_1 und G_2 ist daher

$$W_1 = W_2 \cdot \frac{D_1^2}{D_2^2} \text{ und}$$

für gleiche Werte von W_1 und W_2 ist

$$G_1 = G_2 \cdot \frac{D_2^2}{D_1^2}.$$

Beispiele:

1. Für eine Lichtweite der Rohrleitung von $D = 100$ mm mit einer Länge von 200 m ist nach Tabelle Ia, für einen Druckverlust h_2 von $200 \cdot 0,01 = 2,0$ m, die Geschwindigkeit $G_2 = 0,61$ m und die geförderte Wassermenge $W_2 = 288$ Mtl., daher erhält man für dieselbe Rohrleitung bei einem Druckaufwande von $200 \cdot 0,007 = 1,4$ m.

$$G_1 = 0,61 \cdot \sqrt{\frac{0,007}{0,01}} = 0,51 \text{ m.}$$

$$W_1 = 288 \cdot \frac{0,51}{0,61} = 0,835 \cdot 288 = 242 \text{ Mtl.}$$

Für eine Wassermenge $W_1 = 234$ Mtl. kann man gleich aus der Tabelle Ia den Wert von G_1 mit 0,50 m und von h_1 mit $200 \cdot 0,00666 = 1,333$ m entnehmen.

2. Für eine Geschwindigkeit G_2 von 1,03 m ist in einer 200 m langen Leitung von 100 mm Lichtweite die Wassermenge W_2 nach Tabelle Ia 486 Mtl. und der Druckverlust dafür $h_2 = 200 \cdot 0,0285 = 5,70$ m. Beträgt jedoch die Geschwindigkeit G 1,08 m, dann ist

$$W_1 = 486 \cdot \frac{1,08}{1,03} = 509 \text{ Mtl. und}$$

$$h_1 = 0,0285 \cdot \left(\frac{1,08}{1,03}\right)^2 = 0,0313.$$

3. Um 1074 Mtl. Wasser durch eine Rohrleitung von 500 m Länge und 150 mm Lichtweite zu fördern, ist eine Geschwindigkeit G_2 von 1,01 m mit einem Druckverbrauche H_2 von $500 \cdot 0,0143 = 7,15$ m erforderlich nach Tabelle Ia; daraus ergibt sich für eine Wassermenge von $W_1 = 1200$ Mtl.

$$G_1 = 1,01 \cdot \frac{1200}{1074} = 1,128 \text{ m}$$

$$h_1 = \left(\frac{1,128}{1,01} \right)^2 \cdot 0,0143 = 0,0172 \text{ und } H_1 = 8,6 \text{ m.}$$

In diesen 3 Fällen tritt das Wasser an dem einen Ende der Rohrleitung in diese ein, und bei dem anderen Ende aus derselben; andere Fälle ergeben sich, wenn die Rohrleitung ausser der Endausmündung in verschiedenen Entfernungen von ihrem Eintrittsende noch mehrere Ausmündungen hat.

4. Eine Rohrleitung von 800 m Länge und einer Lichtweite D_2 von 200 mm habe in einer Entfernung von 200 m vom Eintrittsende einen Wasserabfluss von 600 Mtl. in einer solchen Entfernung von 400 m einen Abfluss von 500 Mtl., in der Entfernung von 600 m oder 200 m vom Endausflusse einen Wasserausguss von 400 Mtl. und durch die Endausmündung noch einen Wassererguss von 600 Mtl. Auf der Strecke I von dem Eintrittsende bis zum ersten Abfluss ist daher die Wassermenge

$$W_1 = 600 + 500 + 400 + 600 = 2100 \text{ Mtl.}$$

$$G_1 = 1,05 \cdot \frac{2100}{1986} = 1,10 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,01 \cdot \left(\frac{1,109}{1,05} \right)^2 = 0,011; H_1 = 2,2 \text{ m.}$$

In der Tabelle findet man für 2094 Mtl. dieselben Werte, die Berechnung ist daher nicht nötig. Auf der zweiten Strecke bis zum zweiten Abfluss ist die Wasserförderung W_2 noch $2100 - 600 = 1500$ Mtl. Aus der Tabelle Ia findet man dafür G_2 mit 0,80 m und h_2 zu 1,0057 und $H_2 = 200 \cdot 0,0057 = 1,14$ m. Auf der dritten Teilstrecke von 200 m Länge ist die Wassermenge noch $W_3 = 1000$ Mtl. Aus der Tabelle findet man für 990 Mtl. $G_3 = 0,53$ und $H_3 = 0,0025 \cdot 200 = 0,5$ m, welche Werte man, ohne dadurch einen Fehler zu begehen, für $W_3 = 1000$ Mtl. gelten lassen kann.

Am Endausfluss ergiessen sich $1000 - 400 = 600$ Mtl. Für 624 Mtl. ist nach Tabelle Ia $G_1 = 0,33$ m und $H_4 = 200 \cdot 0,001 = 0,2$ m, woraus man für 600 Mtl. erhält:

$$G_4 = \frac{600}{624} \cdot 0,33 = 0,317 \text{ m}$$

$$h_4 = \left(\frac{600}{624} \right)^2 \cdot 0,001 = 0,00092 \cdot 200 = 0,184 \text{ m,}$$

also kein erheblicher Unterschied gegenüber den für $W_4 = 624$ Mtl. aus der Tabelle Ia gefundenen Werten, weshalb man diese wählen kann.

Der Gesamtdruckverbrauch für die Förderung von zusammen 2100 Mtl. beträgt demnach:

$$2,20 + 1,14 + 0,50 + 0,20 = 4,04 \text{ m.}$$

5. Für eine Rohrleitung von 800 m Länge und 200 mm Lichtweite sei der Verbrauch an Druckhöhe für den Wasserdurchfluss ein voraus bestimmter, nämlich 5,0 m,

oder $\frac{5,0}{800} = 0,00625$ m auf 1,0 m Länge. Für 0,0066 m

Druckverlust ist nach Tabelle Ia $G = 0,86$ m und

$W = 1620$ Mtl., woraus für $0,00625$ Druckverlust sich ergibt:

$$G_1 = 0,86 \cdot \sqrt{\frac{0,00625}{0,0066}} = 0,97 \cdot 0,86 = 0,834$$

$$W = 1620 \cdot 0,97 = 1571 \text{ Mtl.}$$

6. Einer Rohrleitung von 200 m Lichtweite und 800 m Länge wird das Wasser nicht nur an der einen, sondern an ihren beiden Endmündungen zugeführt, sie hat also zwei, einander entgegengesetzte Eintrittsöffnungen, während die Ausflussöffnung sich in der Rohrstrecke befindet und zwar 300 m von deren ersten Eintrittsende oder 500 m von dem entgegengesetzten Eintrittsende entfernt.

Die Wassermenge W , welche aus der Abflussöffnung abfließt sei 2000 Mtl., welches ist der Druckverlust H ?

In diesem Falle muss man sich vor allem klar machen, dass das Wasser von beiden Eintrittsöffnungen gegen die Abflussöffnung fließt und an dieser Stelle unter gleich grosser Druckhöhe von beiden Seiten anlangt. Ist der Druck, unter welchem das Wasser an beiden Eintrittsöffnungen der Rohrleitung zufließt auch ein gleich grosser, dann muss der Druckverbrauch durch die Wasserförderung auf beiden Teilstrecken von 300 und 500 m Länge ebenfalls ein gleich grosser sein, daraus ergibt sich weiter, dass auf der 500 m langen Strecke das Wasser eine kleinere Geschwindigkeit G_1 erreicht, als die Geschwindigkeit G_2 der 300 m langen Strecke ist.

In Rohrleitungen von gleicher Lichtweite verhalten sich die Geschwindigkeiten zu einander, wenn der Gesamt-

druckverlust gleich gross ist, wie umgekehrt die Quadratwurzeln aus den Längen der Leitungen, nämlich für $H_1 = H_2$ ist

$$\frac{G_1}{G^2} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \text{ und } G_1 = G_2 \cdot \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}.$$

Im vorliegenden Falle ist demnach

$$G_1 = G_2 \cdot \sqrt{\frac{300}{500}} = 0,7746 \cdot G_2 \text{ oder auch}$$

$$W_1 = W_2 \frac{G_1}{G_2} = 0,7746 \cdot W_2; \text{ und ferner}$$

$$W_1 + W_2 = W_2 (1 + 0,7746) = 2000 \text{ m. Daher}$$

$$W_2 = \frac{2000}{1,7746} = 1127 \text{ Mtl.}$$

$$W_1 = \text{---} = 873 \text{ Mtl.}$$

Zu diesen Wassermengen erhält man die Geschwindigkeiten G_1 und G_2 , sowie die Druckverluste für 1,0 m Rohrleitung, wenn man aus Tabelle Ia einen naheliegenden Zahlenwert für 200 mm Lichtweite zu Hilfe nimmt, z. B. die Wassermenge $W = 1062$ mit $G = 0,56$ und $h = 0,0028$; damit erhält man nun:

$$\frac{G}{G_2} = \frac{W}{W_1} \text{ oder } G_2 = 0,56 \cdot \frac{1127}{1062} = 0,594 \text{ m}$$

$$G_1 = 0,7746 \cdot 0,594 = 0,460 \text{ m}$$

$$h_2 = \left(\frac{0,594}{0,56}\right)^2 \cdot 0,0028 = 0,00315 \text{ m}$$

$$h_1 = \left(\frac{0,460}{0,56}\right)^2 \cdot 0,0028 = 0,001890 \text{ m}$$

$$\text{daher } H_2 = 300 \cdot 0,00315 = 0,945 \text{ m}$$

$$H_1 = 500 \cdot 0,00189 = 0,945 \text{ m, d. h.}$$

der Gesamtdruckverlust für beide Strecken I und II gleich gross.

7. Dieselbe Rohrleitung mit Wasserzuführung an beiden Endpunkten, 200 mm Lichtweite und 800 m Länge, habe auf ihrer Erstreckung 2 Ausläufe und zwar einen in der Entfernung von 200 m von dem ersten Einmündungsende, welcher eine Wassermenge W_1 von 750 Mtl. liefern soll und einen in der Entfernung von 300 m vom zweiten Einmündungsende und 300 m vom 1. Auslaufe; dieser 2. Auslauf soll 1400 Mtl. Wasser liefern. Wie ergeben sich dafür die Zuflüsse von beiden Einmündungen.

Nach Tabelle Ia ist für die Teilstrecke I von dem ersten Einmündungsende bis zum ersten Ausguss für 750 Mtl. ein Druckverbrauch von $200 \cdot 0,00143 = 0,286$ m vorhanden, während für die Teilstrecke II bis zum zweiten Ausguss mit 1400 Mtl. sich ein Druckverlust von $300 \cdot 0,005 = 1,5$ m ergibt. Gleiche Druckhöhe an beiden Einmündungsstellen vorausgesetzt, langt demnach das Wasser vor dem Ausgusse I mit $1,5 - 0,286 = 1,214$ m höherem Drucke an als vor Ausmündung II; es findet daher noch ein Wasserabfluss auf Teilstrecke III zwischen dem I. und II. Ausgusse nach letzterem statt, so dass am II. Ausgusse das Wasser von den zwei entgegengesetzten Seiten unter gleicher Druckhöhe eintrifft. Bezeichnet man die Wassermenge, welche auf Strecke III dem zweiten Ausflusse nach zuströmt, mit W_3 , dann ist die durch Strecke I fließende Wassermenge $W_1 + W_3$ und die durch Strecke II fließende $W_2 - W_3$; für die entsprechenden Druckhöhen ergibt sich nun die Gleichung: $200 h_1 + 300 \cdot h_3 = 300 h_2$.

Nach Tabelle Ia ist z. B. für 1500 Mtl. die erforderliche Druckhöhe für $1,0$ m $= 0,0057$, daher erhält man

$$200 \cdot \frac{(W_1 + W_3)^2}{(1500)^2} \cdot 0,0057 + \frac{300 \cdot W_3^2}{(1500)^2} \cdot 0,0057 = \\ 300 \left(\frac{W_2 - W_3}{1500} \right)^2 \cdot 0,0057.$$

Der gemeinschaftliche Faktor $\frac{0,0057}{1500^2}$ fällt aus, daher

$$200 (750 + W_3)^2 + 300 W_3^2 = 300 (1400 - W_3)^2; \\ 2 [750^2 + 2 \cdot 750 \cdot W_3 + W_3^2] + 3 \cdot W_3^2 = \\ 3 [1400^2 - 2 \cdot 1400 W_3 + W_3^2]; \\ 2 \cdot W_3^2 + 11400 W_3 = 3 \cdot 1400^2 - 2 \cdot 750^2 = 4755000 \\ (W_3^2 + 2850)^2 = \frac{4755000}{2} + 2859^2 = 10500000$$

$$W_3 = \sqrt{10500000} - 2850 = 3240 - 2850 = 390 \text{ Mtl.}$$

$$W_3 = 390, W_1 + W_3 = 1140 \text{ und } W_2 - W_3 = 1010 \text{ Mtl.}$$

Nach Tabelle Ia ist für $W = 990$ Mtl. der Druckverlust $h = 0,0025$ m., daher

$$h_1 = 0,0025 \cdot \frac{(1140)^2}{(990)^2} = 0,003315; H_1 = 0,663$$

$$h_2 = 0,0025 = \frac{1010^2}{990^2} = 0,002602; H_2 = 0,78$$

$$h_3 = 0,0025 = \frac{390^2}{990^2} = 0,0003875; H_3 = 0,116$$

$$H_1 + H_3 = H_2 \text{ oder}$$

$$200 \cdot 0,003315 + 300 \cdot 0,0003875 = 300 \cdot 0,002602 \\ \text{oder } 0,663 + 0,116 = 0,7800.$$

Die Druckhöhe ist also beim Auslaufe II von beiden Stromrichtungen gleich gross, was zu beweisen war.

In den vorhergehenden Beispielen sind Rohrleitungen angenommen, die auf ihrer ganzen Erstreckung nur einerlei Lichtweite haben; in den nun folgenden Beispielen werden Rohrleitungen angeführt, die aus mehreren

Teilstrecken von verschiedener Lichtweite zusammengesetzt sind.

8. Die Teilstrecke I habe bei 200 m Länge eine Lichtweite von 200 mm, die Teilstrecke II bei 300 m Länge 175 mm Lichtweite und die Strecke III sei 500 m lang mit 150 mm Lichtweite. Am offenen Ende der 200 mm weiten Strecke tritt das Wasser ein und am offenen Ende der 150 mm Strecke fließt es wieder ab und die durchfließende Wassermenge betrage 1400 Mtl. Welcher Druckverlust ergibt sich in dieser 1000 m langen Rohrleitung? Nach Tabelle Ia

für Teilstrecke	I	200 . 0,0057 =	1,14
„	„	II 300 . 0,011 =	3,30
„	„	III 500 . 0,025 =	12,50
			<u>16,94</u>

oder rund 17,0 m.

Die Durchflussgeschwindigkeiten wären dabei folgende:

$$G_1 = 0,75 \text{ m}, G_2 = 0,97 \text{ m} \text{ und } G_3 = 1,33 \text{ m.}$$

9. Soll die Durchflussgeschwindigkeit in allen drei Teilstrecken das Durchschnittsmass von 1,0 bis 1,05 m erreichen, dann ist nach Tabelle Ia

$$W_1 = 1986 \text{ Mtl.}, W_2 = 1452 \text{ Mtl. u. } W_3 = 1074 \text{ Mtl.}$$

$$H_1 = 200 . 0,01 = 2,00 \text{ m}$$

$$H_2 = 300 . 0,0111 = 3,33 \text{ „}$$

$$H_3 = 500 . 0,0143 = 7,15 \text{ „}$$

Summa 12,48 m oder rund 12,5 m.

Dabei müssten an der Verbindungsstelle der 200 mm Strecke mit der 175 mm Leitung $1986 - 1452 = 534$ Mtl. und an der Verbindungsstelle der Strecke II mit der Strecke III $1452 - 1074 = 378$ Mtl. abgelassen werden. —

Werden dieser zusammengesetzten Rohrleitung durch die Eintrittsmündung 2500 Mtl. Wasser zugeführt, wovon an der Verbindungsstelle der I. mit der II. Strecke 800 Mtl. und an der Vereinigung der II. mit der III. Strecke 600 Mtl. abgelassen werden, während der Rest durch die Endausmündung abfließt, dann ist

$$W_1 = 2500, W_2 = 1700 \text{ und } W_3 = 1100 \text{ Mtl.}$$

$$G_1 = 1,05 \cdot \frac{2500}{1986} = 1,33 \text{ m}$$

$$G_2 = 1,01 \cdot \frac{1700}{1452} = 1,18$$

$$G_3 = 1,01 \cdot \frac{1100}{1074} = 1,03 \text{ m.}$$

$$h_1 = 0,01 \left(\frac{2500}{1986} \right)^2 = 0,016 ;$$

$$h_2 = 0,0111 \left(\frac{1700}{1452} \right)^2 = 0,0152 ;$$

$$h_3 = 0,0143 \cdot \left(\frac{1100}{1074} \right)^2 = 0,015 ;$$

$$H_1 = 200 \cdot 0,016 = 3,20 \text{ m}$$

$$H_2 = 300 \cdot 0,0152 = 4,56 \text{ „}$$

$$H_3 = 500 \cdot 0,015 = 7,50 \text{ „}$$

$$\underline{\underline{15,26 \text{ m}}}$$

Diese Werte hätte man ohne erheblichen Fehler auch unmittelbar der Tabelle entnehmen können, nämlich für 2560 Mtl. ist darnach $h_1 = 0,0166$, für 1776 Mtl. ist $h_2 = 0,0166$ und für 1644 Mtl. $h_2 = 0,0143$, im Durchschnitt also für 1700 Mtl. $h_2 = 0,0155$; für 1074 Mtl. erhält man $h_3 = 0,0125$ und für 1158 Mtl. $h_3 = 0,0166$ oder im Verhältnis dazu $h_3 = 0,015 \text{ m.}$

Ist der Druckverlust, welcher auf den Teilstrecken der zusammengesetzten Leitung sich ergeben darf, schon vorher festgesetzt, z. B. $H_1 = 3,0$ m, $H_2 = 4,5$ m und $H_3 = 9,0$ m.

Dann ergibt sich ferner:

$$h_1 = \frac{3,00}{200} = 0,015 \text{ m}, \quad h_2 = \frac{4,5}{300} = 0,015 \text{ m},$$

$$h_3 = \frac{9,00}{500} = 0,018 \text{ m}.$$

$$G_1 = 1,05 \sqrt{\frac{0,015}{0,01}} = 1,286,$$

$$G_2 = 1,01 \cdot \sqrt{\frac{0,015}{0,0111}} = 1,17,$$

$$G_3 = 1,01 \sqrt{\frac{0,018}{0,0143}} = 1,13 \text{ m}.$$

$$W_1 = 1986 \cdot \frac{1,286}{1,05} = 2423, \quad W_2 = 1452 \cdot \frac{1,17}{1,01} = 1681,$$

$$W_3 = 1074 \cdot \frac{1,13}{1,01} = 1200 \text{ Mtl.}$$

10. Für die aus drei Teilstrecken zusammengesetzte Rohrleitung sei der Gesamtdruckverlust im voraus auf 10,0 m bestimmt, wovon auf der 200 mm weiten Strecke I schon 1,5 m verbraucht werden sollen, so dass für die Strecken II und III zusammen noch 8,5 m Druckhöhe verbraucht werden können; dabei sei $W_2 = W_3$.

In diesem Falle ist $h_1 = \frac{1,50}{200} = 0,0075$ m und da nach Tabelle Ia für $W = 1986$ Mtl. $G = 1,05$ m $h = 0,001$ m ist, so ist:

$$G_1 = 1,05 \cdot \sqrt{\frac{0,0075}{0,01}} = 0,909 \text{ m.}$$

$$W_1 = 1986 \cdot \frac{0,909}{1,05} = 1720 \text{ Mtl.}$$

$$H_2 + H_3 = 10,0 - 1,5 = 8,5 \text{ m.}$$

Da $W_2 = W_3$, so ist

$$\frac{G_2}{G_3} = \frac{D_3^2}{D_2^2} = \left(\frac{0,150}{0,175}\right)^2 \text{ und } G_2 = 0,734 \cdot G_3.$$

Nach Tabelle Ia ist:

$$h_2 = 0,0111 \cdot \left(\frac{0,734 \cdot G_3}{1,01}\right)^2 \text{ und } h_3 = 0,0143 \cdot \left(\frac{G_3}{1,01}\right)^2,$$

ferner ist $300 \cdot h_2 + 500 \cdot h_3 = 8,5 \text{ m}$ oder

$$8,5 = \frac{7,15 + 3,33 \cdot 0,538756}{(1,01)^2} \cdot G_3^2 = \frac{8,944}{1,0404} \cdot G_3^2$$

$$G_3 = \sqrt{0,988} = 0,99 \text{ m}$$

$$G_2 = 0,99 \cdot 0,734 = 0,726 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,0111 \cdot \left(\frac{0,726}{1,01}\right)^2 = 0,0056;$$

$$H_2 = 300 \cdot 0,0056 = 1,68$$

$$h_3 = 0,0143 \cdot \left(\frac{0,99}{1,01}\right)^2 = 0,0138;$$

$$H_3 = 500 \cdot 0,0138 = 6,82$$

Sa. 8,50

$$W_2 = 1452 \cdot \frac{0,726}{1,01} = 1040 = W_3.$$

An der Verbindungsstelle von Strecke I mit Strecke II müssen daher $1720 - 1040 = 680 \text{ Mtl.}$ abgelassen werden, damit durch den noch verfügbaren Druck von $8,5 \text{ m}$ das übrige Wasser gefördert werden kann.

11. Für die Förderung von 3000 Mtl. Wasser ist eine Rohrleitung herzustellen, worin die Wassergeschwindigkeit das Mass von etwa 1,0 m nicht übersteigt; welche Lichtweite muss diese Rohrleitung erhalten? Nach Tabelle Ia würde dafür eine Lichtweite von 250 mm genügen; soll jedoch auf eine künftige Vermehrung der Wasserförderung gerechnet werden, so ist die Lichtweite von 275 mm zu empfehlen, womit bei 1,02 m Geschwindigkeit 3618 Mtl. abgeleitet werden können.

Für eine Länge der Rohrleitung von 10 km wäre für die Förderung von 3000 Mtl. in 250 mm Rohrleitung ein Druckaufwand von $10000 \cdot 0,0066 = 66,0$ m in 275 mm Leitung von $10000 \cdot 0,0040 = 40,0$ m erforderlich. Wäre jedoch nur eine Druckhöhe von 25,0 m zur Wasserförderung verfügbar, so müsste die Rohrleitung eine Lichtweite von 300 mm erhalten, die nach Tabelle I 3060 Mtl. mit 0,72 m Geschwindigkeit und 25,0 m Druckaufwand auf 10000 m ableitet.

12. Für eine Rohrleitung von 225 mm Lichtweite und 10000 m Länge ist nur eine Druckhöhe bis zu 50,0 m verfügbar; welche Wassermenge kann darin abgeführt werden? Der verfügbare Druckverlust für 1,0 m Leitung ist demnach $\frac{50,0}{10000} = 0,005$ m und nach Tabelle Ia erhält man dafür eine Wassermenge von 1950 Mtl. mit 0,82 m Geschwindigkeit.

13. Für eine Rohrleitung von 300 mm Lichtweite beträgt bei einer Fördermenge von 6060 Mtl. die Geschwindigkeit 1,43 m und der Druckaufwand für 1,0 m Leitung ist 0,01 m. Wie gross ist dieser Druckaufwand

in einer Rohrleitung von 400 mm Lichtweite, wenn die Wassermenge ebenfalls 6060 Mtl. beträgt?

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}; \quad G_1 = \left(\frac{300}{400}\right)^2 \cdot 1,43 = 0,804 \text{ m}$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{G_1}{G_2}\right)^2; \quad h_1 = \left(\frac{0,804}{1,0}\right)^2 \cdot h_2, \text{ wenn}$$

h_2 den Druckhöhenverlust für 1,02 m Geschwindigkeit in einem 400 mm weiten Rohre bezeichnet, nämlich

$$h_2 = 0,0033 \text{ (siehe Tabelle Ia),}$$

$$\text{daher } h_1 = 0,002133 \text{ m.}$$

Für Abwasserleitungen der Kanalisationen berechnet man die Lichtweite der Rohrleitungen im allgemeinen für halbe Füllung des Rohrquerschnittes; für den halben Rohrquerschnitt $\frac{F}{2}$ ist die

Durchflussgeschwindigkeit G , ebenso gross, wie bei der gänzlichen Füllung des Querschnittes; daher sind auch die Druckverluste, hier das Spiegelgefälle genannt, gleich gross, während die Fördermengen sich wie $\frac{F}{2 \cdot F} = \frac{1}{2}$ verhalten.

14. Eine Abwasserleitung von 1000 m Länge soll eine Wassermenge von 2700 Mtl. fördern und soll die Wassergeschwindigkeit 1,0 m nicht überschreiten. Nach Tabelle Ia erhält man, wenn ganze Füllung des Querschnittes angenommen wird, eine Lichtweite von 300 mm mit 0,64 m Geschwindigkeit und ein Gefälle von 0,002 auf 1,0 m Leitung oder 2,0 m auf die ganze Länge; bei nur halber Füllung würden nur 1350 Mtl. abgeleitet mit derselben Geschwindigkeit von 0,64 m und demselben Druckaufwande von 2,0 m. Sollen jedoch bei halber

Füllung 2700 Mtl. abgeführt werden, so wäre nach Tabelle Ia eine Lichtweite von 350 mm erforderlich mit 0,93 m Geschwindigkeit und Gefälle von 0,0033 auf 1 m oder 1:300.

15. Auf einer Strecke von 800 m ist ein Gefälle verfügbar von 1:400 und sollen 4500 Mtl. gefördert werden, welche Lichtweite ist hierzu nötig?

Nach Tabelle I erhält man für ganze Füllung des Rohrquerschnittes eine Lichtweite von 300 mm mit 0,72 m Geschwindigkeit und 2,0 m Druckaufwand oder Gefälle; für halbe Füllung aber eine Lichtweite von 450 mm mit 0,96 m Geschwindigkeit und demselben Gefälle von 2,0 m.

16. Eine Abwasserleitung von 1000 m Länge habe 500 mm Lichtweite, welches Gefälle ist erforderlich für Ableitung von 6400 Mtl. Nach Tabelle Ia ist bei halber Füllung die Geschwindigkeit 1,31 m mit Gefälle von 1:250, bei ganzer Füllung ist die Geschwindigkeit 0,66 m mit Gefälle von 1:1000.

16 a. Eine Rohrleitung von 300 mm Lichtweite und 700 m Länge fördert bei halber Füllung und 2,0 m Gesamtgefälle oder 1:350 eine Abwassermenge von 1620 Mtl. mit 0,77 m Geschwindigkeit; welche Wassermenge strömt bei ganzer Füllung durch dieselbe, wenn das Gefälle auf die ganze Länge 7,0 m oder 1:100 beträgt?

Die Wassermenge ist in diesem Falle 6060 Mtl. die mit einer Geschwindigkeit von 1,43 m durch die Leitung strömen.

In den oben angeführten Beispielen kam stets Tabelle Ia zur Anwendung, indem für öffentliche Wasser-Zu- und Ableitungen im allgemeinen ein Rauigkeitsgrad $m = 0,25$ in der Praxis angenommen wird. Für Schlauch-

leitungen und Hauswasser-Zuleitungen kann man Tabelle Ib zur Berechnung benützen, der ein Rauigkeitsgrad $m = 0,15$ zugrunde gelegt ist, weil in diesen Leitungen im allgemeinen, grössere Wassergeschwindigkeiten vorkommen und die Rohrwände im Innern weniger durch unreine Ablagerungen belegt werden, als dies in den Strassenleitungen der Fall ist.

17. Eine Schlauchleitung von 50 mm Lichtweite und 30,0 m Länge soll eine Wassermenge von 149 Mtl. fördern, dann ist nach Tabelle Ib die Geschwindigkeit $G_1 = 1,23$ m und der Druckverlust $h_1 = 0,0666$ m, der Gesamtverlust $30 \cdot 0,0666 = 2,0$ m $= H_1$. Wie gross ist G_2 und H_2 sowie h_2 bei einer Fördermenge von 400 Mtl.

$$G_2 = 3,43; h_2 = 0,53 \text{ und } H_2 = 16,0 \text{ m.}$$

18. Wie viel Wasser fliesst durch einen Schlauch von 80 mm Lichtweite und 50,0 m Länge, wenn für Druckverlust 2,0 m aufgewendet werden können? Der Druckverlust für 1,0 laufende m Leitung ist in diesem Falle $\frac{2,0}{50,0} = 0,04$ m, daher nach Tabelle Ib die Wassermenge 410 Mtl. mit 1,36 m Geschwindigkeit. Bei 20,0 m Länge des Schlauches könnten durch denselben unter 0,1 m Druckverlust auf 1,0 m Länge und mit 2,15 m Geschwindigkeit 651 Mtl. Wasser gefördert werden.

Tabelle II.

Die Zahlenwerte dieser Tabelle sind nach der Grundgleichung $W = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2g \cdot hn}$ berechnet. Für dieselbe Lichtweite d ist daher auch

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{G_1}{G_2} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \text{ und } W_1 = W_2 \cdot \frac{G_1}{G_2} = W_2 \cdot \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}.$$

Für zwei verschiedene Lichtweiten d_1 und d_2 ist bei gleicher Druckhöhe h_n vor beiden Mündungen:

$$W_1 = W_2 \cdot \frac{d_1^2}{d_2^2} \text{ und bei gleicher Ausflussmenge } W_1 = W_2 \text{ ist:}$$

$$h_1 = h_2 \frac{d_2^4}{d_1^4}.$$

Der Einfluss der Contraction auf die ausfliessenden Wassermengen ist praktisch von keiner Bedeutung, und auch je nach Beschaffenheit der Mündungsöffnung verschieden; er kann deshalb bei Berechnungen von Rohrleitungen im allgemeinen ausser acht gelassen werden. Ebenso werden auch die Druckverluste, welche durch den Eintritt des Wassers in die Rohrleitung, durch Krümmungen derselben, durch eingebaute Ventile u. dgl. verursacht werden, im allgemeinen nicht berücksichtigt, da sie besonders bei den längeren Leitungen gegenüber dem Druckverluste durch die Reibungswiderstände auf der geraden Strecke unerheblich sind. Schon dadurch, dass man der Sicherheit wegen bei Berechnung von Rohrleitungen, deren Rauigkeitsgrad nicht zu niedrig, sondern eher höher als die Wirklichkeit annimmt, sind die obengenannten Nebenverluste schon mit berücksichtigt. —

Über den Gebrauch der Tabelle II folgen nachstehend einige Beispiele:

19. Welche Lichtweiten kann eine Ausmündung haben, wenn der Wasserausguss 9 bis 10 Mtl. betragen soll?

Nach Tabelle II a erhält man:

für $d = 5$ mm,	$W = 10,42$ Mtl.	und	$h_n = 4,0$ m
„ $d = 6$ „	$W = 10,00$ „	„	$h_n = 1,8$ „
„ $d = 7$ „	$W = 10,22$ „	„	$h_n = 1,0$ „
„ $d = 8$ „	$W = 10,27$ „	„	$h_n = 0,6$ „
„ $d = 9$ „	$W = 10,62$ „	„	$h_n = 0,4$ „
„ $d = 10$ „	$W = 9,27$ „	„	$h_n = 0,2$ „
„ $d = 12$ „	$W = 9,62$ „	„	$h_n = 0,1$ „

20. Welche Druckhöhe h_n ist erforderlich, damit aus einer 50 mm weiten Mündung 200 Mtl. ausfließen; nach Tabelle II a für $W = 164$ ist $h_n = 0,1$, daher die gesuchte Druckhöhe $h = 0,1 \cdot \left(\frac{200}{164}\right)^2 = 1,5 \cdot 0,1 = 0,15$ m.

Wäre die Lichtweite der Mündung nur 15 mm, so wäre $h_1 = 0,15 \cdot \left(\frac{50}{15}\right)^4 = 18,50$ m.

21. Wenn eine Mündung von 20 mm Lichtweite 204 Mtl. Wasser ausschüttet, so ist nach Tabelle II a die erforderliche Druckhöhe 6,0 m; welche Wassermenge liefert bei gleicher Druckhöhe von 6,0 m eine Mündung von 10 mm? Nach Tabelle II 51 Mtl. Für Druckhöhe von 16,0 m würde die 10 mm weite Mündung aber nach Tabelle II b 83,6 Mtl. Wasser ausschütten.

22. Für eine Druckhöhe von 5,0 m erhält man aus einer 10 mm weiten Mündung 46,50 Mtl., welche Wassermenge bei 5,3 m Druckhöhe?

$$W = 46,5 \sqrt{\frac{5,3}{5,0}} = 47,9 \text{ Mtl.}$$

Bei Anwendung von Schläuchen mit Strahlrohrmündstücken, sowie bei Springbrunnen kommen hauptsächlich

grössere Druckhöhen h_n vor Ausflussöffnungen bis 30 mm Lichtweite vor, weshalb dafür noch die Tabelle II b beigefügt ist, deren Gebrauch derselbe wie von Tabelle II a ist.

Durch gemeinsame Verwendung der Tabellen I und II kann man weitere Aufgaben lösen, wie aus folgenden Beispielen hervorgeht:

23. Eine Rohrleitung von 100 mm Lichtweite und 200 m Länge fördert nach Tabelle Ia (siehe Beispiel 1.) mit einem Druckverlust von 2,0 m eine Wassermenge von 288 Mtl.; nach Tabelle II a ist für eine Ausmündung von 100 mm Lichtweite die Wassermenge $W_2 = 659$ Mtl. mit 0,1 m Mündungsdruck für 288 Mtl. Wassererguss ist darnach der Mündungsdruck $h_n = 0,1 \cdot \left(\frac{288}{659}\right)^2 = 0,02$ m.

Der vor der Einmündung in die Rohrleitung vorhandene Druck müsste betragen: 2,02 m.

Hätte die Ausmündung jedoch nur eine Lichtweite von 30 mm, so würde nach Tabelle II a für 200 Mtl. Wassererguss eine Druckhöhe vor der Ausmündung von 1,2 m und vor der Einmündung von 3,2 m nötig sein.

Für die Lichtweite der Ausmündung von 20 mm wären die Druckhöhen 6,0 und 8,0 m und für $d = 15$ mm ist $h_n = 19$ m und H vor dem Einlaufe = 21,0 m.

24. Nach Tabelle Ia ist zur Förderung von 1074 Mtl. durch eine 150 mm weite und 500 m lange Leitung ein Druckaufwand von 7,15 m erforderlich; ist der vor der Einmündung vorhandene Druck $H = 30,0$ m, so kommt das Wasser vor der Ausmündung mit einem Drucke von $30 - 7,15 = 22,85$ m an; welche Lichtweite muss die Ausflussöffnung erhalten, um unter diesem Drucke 1074 Mtl. durch zu lassen?

Aus Tabelle II b findet man für eine Druckhöhe $h_n = 23,0$ m eine Wassermenge von 900 Mtl. und bei gleich bleibender Druckhöhe ist $\frac{W_1}{W_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$, daher

$$d_1^2 = 30^2 \cdot \frac{1074}{900}, \quad d_1 = 35,7 \text{ mm.}$$

25. Welches sind die Lichtweiten der 4 Ausflussöffnungen der im Beispiele Nr. 4, S. 3 angeführten zusammengesetzten Rohrleitung? Nach der dort unter Nr. 4 ausgeführten Rechnung ist eine Druckhöhe H nicht angenommen; setzt man diese Druckhöhe vor der Eintrittsmündung $H = 30,0$ m, dann verbleiben

vor der Ausmündung I	=	30,0	—	2,2	=	27,8	m
" " "	=	27,80	—	1,14	=	26,66	"
" " "	=	26,66	—	0,50	=	26,16	"
" " "	=	26,16	—	0,20	=	25,96	"

Die Abflussmengen sind:

$$A_1 = 600, \quad A_2 = 500, \quad A_3 = 400 \text{ und } A_4 = 600 \text{ Mtl.}$$

Nach Tabelle II b erhält man bei $h_n = 28$ m.

$A_1 = 635$ Mtl., eine Lichtweite von 24 mm

$A_2 = 524$ " " " " 22 "

$A_3 = 425$ " " " " 20 "

$A_4 = 612$ " " " " 24 "

26. Im Beispiele 6. wurde der Druckverlust in der 800 m langen Leitung, welche das Wasser von beiden Endöffnungen nach dem zwischenliegenden Auslaufe zuströmt zu 0,945 m für jede der zwei Teilstrecken berechnet, die Zuflussmengen dagegen für die Strecke I

mit $W_1 = 1127$ Mtl. und für die Strecke II

" $W_2 = 873$ " der Gesamtauswurf

daher 2000 Mtl. Erhält die Ausflussöffnung

eine Lichtweite von 100 mm, so muss das Wasser vor dieser Öffnung noch mit einer Druckhöhe von 1,0 m anlangen (Tabelle II a) und der Druck mit dem das Wasser in die beiden Rohrenden eintritt muss demnach noch betragen:

$$1,0 + 0,945 \text{ oder rund } 2,0 \text{ m.}$$

Beträgt aber in diesem Falle der Eintrittsdruck 21,0 m, dann langt das Wasser vor dem Ausflusse noch mit 20,0 m Druck an und die Lichtweite der Ausflussöffnung für 2000 Mtl. Wassererguss erhält man wie folgt:

Nach Tabelle II b erhält man bei 30 mm Lichtweite mit 20,0 m Druckhöhe eine Ausflussmenge von 840 Mtl., daher ist die Lichtweite für 2000 Mtl.:

$$d = 30 \cdot \sqrt{\frac{2000}{840}} = 46,2 \text{ mm};$$

46,2 mm ist keine handelsübliche Lichtweite bei Röhren, sondern die nächst höhere ist 50 mm, vor welcher ein Ventil einzubauen ist, um die Ausflussmenge bis zur Höhe von 2000 Mtl. zu regeln.

27. Im Beispiele 7. hat dieselbe Rohrleitung in ihrem Verlaufe 2 Ausflussöffnungen, deren Ausgussmenge $W_1 = 750$ Mtl. und $W_2 = 1400$ Mtl. beträgt. Der erste Ausfluss erhält das Wasser nur in der Richtung von der Eintrittsöffnung der ersten Teilstrecke, während der zweite Ausguss sowohl von dieser Seite, als auch von der Seite der Eintrittsöffnung der zweiten Strecke Zufuss erhält.

Der Druck, unter welchem das Wasser an beiden Enden der Rohrleitung in diese eintritt ist gleich gross und sei zu 10,0 m angenommen; der Druckverlust in der

Teilstrecke I bis zum Ausgusse I beträgt nach Beispiel 6. $H_1 = 0,663$ m für eine Fördermenge von 1140 Mtl., wovon 750 Mtl. beim Ausgusse I ausfliessen, während 390 Mtl. nach dem Ausgusse II durch Teilstrecke III ablaufen unter einem Druckverluste $H_3 = 0,116$ m. Das Wasser erreicht daher den Ausguss I mit einer Druckhöhe von $10,0 - 0,663 = 9,337$ m, den Ausguss II mit einer solchen von $10,0 - 0,78 = 9,22$ m.

Nach Tabelle II a strömt bei 9,0 m Druckhöhe durch Öffnung von 40 mm Lichtweite eine Wassermenge von 996 Mtl. ins Freie, daher ist $d = 40 \cdot \sqrt{\frac{750}{996}} = 35$ mm für 750 Mtl.; ferner durch eine Öffnung von 50 mm eine Wassermenge von 1560 Mtl., daher

$$d = 50 \sqrt{\frac{1400}{1560}} = 47,4 \text{ mm}$$

für 1400 Mtl., 47,4 mm ist auch keine handelsübliche Lichtweite, weshalb eine solche von 50 mm mit vorge-setztem Regelungsventile anzuwenden ist.

28. Im Beispiele 11. ist für eine Rohrleitung von 275 mm Lichtweite und 10 000 m Länge zur Förderung von 3000 Mtl. Wasser ein Druckverlust von 40,0 m vorhanden; welcher Einmündungsdruck H ist nötig, damit das Wasser am Ausflussende der Rohrleitung von 275 mm Lichtweite noch mit der für den Ausguss von 3000 Mtl. erforderlichen Druckhöhe anlangen kann? Diese Druckhöhe ergibt sich auf folgende Weise:

Nach Tabelle II a ist für eine Lichtweite von 70 mm und 3069 Mtl. Wassererguss eine Druckhöhe von 9,0 m erforderlich, daher ist für $d = 275$ mm.

$h = 9 \cdot \left(\frac{70}{275}\right)^4 = 0,054 \text{ m}$, also ganz unerheblich gegenüber dem Druckverluste von 40,0 m durch Förderung auf 10 km. —

Ist bei der Einlauföffnung dieser Rohrleitung eine Höhenlage des Wasserspiegels über der Ausflussöffnung von 50 m vorhanden, so erreicht das Wasser die letztgenannte noch mit einer Druckhöhe von 10,0 m und für die Ausschüttung von 3000 Mtl. würde eine Mündungsweite von etwa 70 mm genügen (Tabelle IIa) oder der 250 mm weiten Öffnung der Rohrleitung müsste ein Ventil vorgesetzt werden, um den Ausfluss so zu regeln, dass der Ablauf bei ganzer Füllung der 10 000 m langen Leitung immer dem Wasserzulaufe entspricht.

29. Nach Beispiel 17. erhält man für eine Schlauchleitung von 50 mm Lichtweite und 30 m Länge bei einer Wasserförderung von 149 Mtl. einen Gesamtdruckverlust für Förderung von 14,4 m.

Hätte die Ausflussöffnung eine Lichtweite von 19 mm, so würde diese Wassermenge von 149 Mtl. bei einem Mündungsdrucke von 4,0 m. ausfließen und der Druck am Einlaufe in den Schlauch müsste 18,4 m betragen. Soll jedoch der Druck vor der Ausflussmündung noch 20,0 m betragen, so erhält diese Ausmündung eine Lichtweite von 13 mm und der Eintrittsdruck wird 34,4 m.

30. Nach Beispiel 18. können durch einen 80 mm weiten und 50,0 m langen Schlauch 410 Mtl. Wasser unter 2,0 m Druckverlust geleitet werden; für den Ausfluss aus der 80 mm weiten Endöffnung des Schlauches ist nach Tabelle IIa nur eine Druckhöhe von 0,1 m erforderlich, daher Druckhöhe vor der Einmündung = 2,1 m.

Ist der hier angeführte Schlauch, der Saugschlauch einer Pumpe, welche 4,0 m über dem Saugwasserspiegel steht, so ist die Saughöhe der Pumpe beim höchsten Kolbenstande 6,1 m, wozu noch eine Druckhöhe zur Ueberwindung der Reibungswiderstände für den Eintritt des Wassers durch den Seiher des Saugschlauches zu rechnen ist, der je nach Beschaffenheit des Seiher und Reinheit des Wassers zu 0,1—0,5 m anzunehmen ist.

31. Die Rohrleitung einer Sackgasse, die von einem Hauptrohre der Nachbarstrasse abgezweigt ist, habe eine Lichtweite von 80 mm und eine Länge von 180 m; an ihrem todten Ende sei sie mit einem Hydranten versehen, dem Wasser zu Löschzwecken entnommen werden soll. Bei gewöhnlichem Wasserverbrauche ist in dieser Leitung ein Betriebsdruck von rund 40.0 m vorhanden.

Wenn nur ein Schlauch an den Hydranten angeschlossen wird, dem 200 Mtl. zugeführt werden sollen, so erhält man aus Tabelle Ia hierfür einen Druckverlust in der 80 mm Rohrleitung von $180 \cdot 0,02 = 3,6$ m und das Wasser hat daher beim Endhydranten nur noch eine Druckhöhe von $40 - 3,6 = 36,4$ m. Würden mit dem Hydranten 2 Schläuche verbunden, die zusammen mit rund 400 Mtl. gespeist werden, dann kommt das Wasser nach Tabelle Ia noch mit einer Druckhöhe von $40 - 180 \cdot 0,0666 = 28$ m an. Für eine Lichtweite der Schläuche von 50 mm und Länge jeden Schlauches von 30 m ist der Druckverlust darin für eine Förderung von je 200 Mtl. nach Tabelle Ib $1,3 \cdot 30 = 4,0$ m, so dass das Wasser, wenn nur ein Schlauch benützt wird, am Ende des Schlauches mit 32,4 m Druck eintrifft. Nach Tabelle IIb liefert ein Mundstück von 14 mm Lichtweite

unter einer Druckhöhe von 30,0 m 224 Mtl. und ein solches von 13 mm Lichtweite 187 Mtl.; 13 mm Lichtweite genügt daher für etwa 200 Mtl.

Werden die beiden an den Endhydranten angeschlossenen Schläuche gleichzeitig benützt, dann ist der Druck am Hydranten 28,0 m und das Wasser trifft am Ende jeden Schlauches mit einer Druckhöhe 24,0 m ein. Nach Tabelle II b ist unter dieser Druckhöhe für den Erguss von 200 Mtl. aus jedem Schlauche ein Mundstück von 14 mm Lichtweite erforderlich.

In obiger Rechnung ist vorausgesetzt, dass das Schlauch-Mundstück sich in gleicher Höhe mit dem Hydranten befindet; liegt jedoch das Strahlrohr mit dem Mundstück 8,0 höher als der Hydrant, dann ist z. B. die Druckhöhe vor der Mündung nicht 24,0 m, sondern 16,0 m und das Mundstück müsste in diesem Falle eine Lichtweite von 16 mm haben (Tabelle II b).

32. Besteht die Rohrleitung in der Sackgasse von der Abzweigung am Hauptrohre bis auf 120 m Erstreckung in die Sackgasse aus Röhren von 100 mm Lichtweite und daran anschliessend auf 90 m Erstreckung aus Röhren von 80 mm Lichtweite, und befindet sich an der Verbindungsstelle dieser beiden Teilstrecken, sowie am toten Ende der 80 mm Strecke je ein Hydrant, dann erhält man, bei Benützung dieser, folgende Ergebnisse:

Jeder Hydrant sei mit einem Schlauche von 50 mm Lichtweite verbunden, dem er je 200 Mtl. Wasser zuführt. Der Schlauch am Zwischenhydranten habe eine Länge von 50,0 m und dessen Strahlrohr befinde sich in einer Höhe von 16,0 m über dem Hydranten; dieselben Verhältnisse seien auch für den Endhydranten gegeben.

In diesem Falle ist der Druckverlust in der 100 mm weiten Leitung für Förderung von 400 Mtl. nach Tabelle Ia $120 \cdot 0,02 = 2,4$ m und in der 80 mm Endstrecke $90 \cdot 0,02 = 1,8$ m. Am Zwischenhydranten trifft demnach das Wasser mit einer Druckhöhe von $40 - 2,4 = 37,6$ m und am Endhydranten mit einer solchen von $40 - (2,4 + 1,8) = 35,8$ m ein. Da die Erhebung des Strahlrohres über den beiden Hydranten 16,0 m beträgt, so ist der wirksame Druck an den Hydranten nur 21,6 bzw. 19,8 m. Der Druckverlust in den Schläuchen für je 200 Mtl. Förderwasser ist nach Tabelle Ib $1,3 \cdot 50 = 6,5$ m. Bei dem Schlauche des Zwischenhydranten ist daher ein Druck von $21,6 - 6,5 = 15,0$ m und bei dem des Endhydranten ein solcher von $19,8 - 6,5 = 13,3$ m vor dem Mundstück vorhanden. Die Mundstücke müssten eine Lichtweite von 16 bzw. 17 mm haben nach Tabelle II b.

33. Aus obiger Rohrleitung in der Sackgasse, wie sie im Beispiel 32. angeführt ist, soll mittels des Endhydranten und eines 20 m langen und 50 mm weiten Schlauches eine Wassermenge von 400 Mtl. zur Speisung einer Löschspritze entnommen werden; dabei liege die Ausmündung des Schlauches 2,0 m höher als der Hydrant-Druckverlust in der Strassenleitung ist für die 100 mm weite Anfangsstrecke $0,02 \cdot 120 = 2,40$ m, für die 80 mm weite Endstrecke $= 0,07 \cdot 90 = 6,3$ m, daher Gesamtverlust $2,4 + 6,3 = 8,7$ m, so dass der Druck am Hydranten noch $40 - 8,7 = 31,3$ m beträgt und der wirksame Druck H vor dem Eintritt in den Schlauch 29,3 m; der Druckverlust im Schlauche für 400 Mtl. ist nach Tabelle Ib $0,522 \cdot 20 = 10,50$ m, wonach der Druck

vor der Auslaufmündung noch $29,3 - 10,5 = 18,8$ m beträgt, so dass die Auslaufmündung noch 21 mm Lichtweite haben muss, um 400 Mtl. ausschütten zu können nach Tabelle II b. Wäre die Auslaufmündung von gleicher Weite wie der Schlauch, nämlich 50 mm, so wäre die erforderliche Druckhöhe nur 0,6 m; durch Drosselung mittels des Hydrantenventils kann der Eintrittsdruck vor dem Schlauche von 29,3 m so weit gemindert werden, dass vor der Auslaufmündung nur noch 0,6 m Druckhöhe bleiben.

34. Ein Grundstück stösst mit einer Seite an eine Strasse, wo ein Wasserleitungsrohr von 125 mm Lichtweite verlegt ist; dieses Strassenrohr, welches sich durch die ganze Strasse erstreckt, ist an deren beiden Enden mit einem grösseren Hauptrohre verbunden, so dass ein Wasserzfluss von beiden Anschlussstellen nach dem genannten Grundstücke stattfinden kann.

Auf dem Grundstücke steht an der Strasse ein Wohngebäude und rückwärts von diesem ein Fabrikgebäude. Der Hof zwischen beiden Gebäuden ist von solcher Ausdehnung, dass vor der Front des Fabrikgebäudes 2 Hydranten und je einer gegenüber dessen beiden Giebelseiten im Hofe untergebracht sind. Die beiden Fronthydranten sind 100 m von einander entfernt und durch eine Rohrleitung von 100 mm Lichtweite mit einander verbunden; von jedem Fronthydranten erstreckt sich diese Rohrleitung mit 80 mm Lichtweite und je 100 m Länge zu den beiden Giebelhydranten. Die 100 mm weite Verbindungsleitung ist, von ihrer Mitte ausgehend, durch eine 125 mm weite und 150 m lange Rohrleitung mit der Strassenleitung vor dem Wohngebäude verbunden und

zwar liegt dieser Verbindungspunkt in der Strassenleitung von deren einem Endpunkte 300 und vom anderen 200 m entfernt, so dass die ganze Strassenleitung eine Länge von 500 m hat.

Der gewöhnliche Betriebsdruck in der Strassenleitung sei 40 m und für jeden Schlauch sei zunächst ein Wasserverbrauch von 200 Mtl. angenommen.

Bei einem Brande des Fabrikgebäudes sollen nun ein Giebel- und ein Fronthydrant, die einander benachbart sind, zur Wasserlieferung durch je zwei Schläuche von 50 m Lichtweite benützt werden; dabei sollen die Schläuche des Fronthydranten eine Länge von 60,0 m, die des Giebelhydranten von 40,0 m erhalten, während die senkrechte Erhebung der 4 Strahlröhren über die beiden Hydranten 16,0 m betragen soll.

Der Gesamtwasserbedarf von 800 Mtl. wird in der Strassenleitung von zwei entgegengesetzten Seiten dem Zuleitungsrohre nach dem Hofe zugeführt; man kann daher für jede Seite des Zuflusses eine Wassermenge von 400 Mtl. annehmen, wonach sich in der Strassenleitung für die Förderung dieser Wassermenge nach Tabelle Ia folgender Druckverlust ergibt: $(300 + 200) \cdot 0,0057 = 2,85$ m oder rund 3,0 m. In der Hofzuleitung von 125 mm Lichtweite und 150 m Länge erhält man für Förderung von 800 Mtl. einen Druckverlust von $150 \cdot 0,0222 = 3,33$ m. In der halben Länge der 100 mm weiten Verbindungsleitung ist der Druckverlust für den Abfluss von 400 Mtl. nach Tabelle Ia 0,02 für 1,0 m Leitung, daher für die doppelte Wassermenge $4 \cdot 0,02 = 0,08$ m, nämlich $\frac{W_1^2}{W_2} = \frac{h_1}{h_2}$, und für 50 m Länge $50 \cdot 0,08 = 4,0$ m. — Der Druck-

verlust in der 80 mm weiten Endstrecke zum Giebelhydranten ist für 400 Mlt. $0,07 \cdot 100 = 7,0$ m. —

Das Wasser trifft daher beim Fronthydranten mit einem Drucke von $40,0 - (3,0 + 3,33 + 4,0) = 29,67$ oder rund 29,0 m ein; bei dem Giebelhydranten mit $29,67 - 7,0 = 22,67$ m Druckhöhe, so dass mit Rücksicht auf die Höhenlage der Strahlröhren von 16,0 m über den Hydranten nur ein wirksamer Eintrittsdruck Hw von 13,67 bzw. 6,67 m bleibt.

Der Druckverlust in den Schläuchen ist bei dem Fronthydranten $60 \cdot 0,13 = 7,8$ m, bei dem Giebelhydranten $40 \cdot 0,13 = 5,2$ m und der Druck vor der Mündung des Strahlrohres wäre demnach $13,67 - 7,8 = 5,87$ bzw. $6,67 - 5,20 =$ rund 1,47 m. Für den Mündungsdruck von 5,87 m müsste nach Tabelle IIa die Mündungsweite 20 mm, für $h_n = 1,47$ m müsste sie 29 mm sein, um 200 Mlt. ausschütten zu können. Die Sprungweite des freien Wasserstrahles wäre demnach unter diesen Druckverhältnissen eine sehr geringe und damit auch die Verwendung zu Löschzwecken eine sehr beschränkte. Um die Leistungsfähigkeit der Wasserleitung in dieser Richtung zu erhöhen wäre nötig, der ganzen Rohrleitung bis zu den Giebelhydranten eine Lichtweite von 125 mm zu geben, sodann würde man folgende Druckverhältnisse erhalten:

für die 50,0 m lange Strecke bis zum Fronthydranten,
die vorher nur 100 mm Lichtweite hatte, nach Tabelle Ia

$$50 \cdot 0,0222 = 1,11 \text{ m}$$

und für die Endstrecke bis zum

Giebelhydranten

$$100 \cdot 0,0057 = 0,57 \text{ m}$$

$$1,68 \text{ m.}$$

Bei den vorher angenommenen Lichtweiten von 100 bzw. 80 mm waren für diese Leitungsstrecken $4 + 7,0 = 11,0$ m erforderlich, daher 9,4 m Druckaufwand mehr.

Das Wasser erreicht daher jetzt die Strahlrohrmündungen unter einem Drucke von $5,67 + 9,4 = 15,0$ m und $1,4 + 9,4 = 10,8$ m; die Strahlrohrmündungen müssten eine Lichtweite von 16 mm bzw. 18 mm haben und die Löschwirkung des freien Strahles wäre nun beträchtlich weiterreichend.

35. Das Regensystem über einer Theaterbühne besteht aus gelochten Röhren, welche über den Soffiten in bestimmten Abständen quer über die Bühne parallel zu einander verlegt sind. Es habe z. B. ein Rohr dieses Systems bei 50 mm Lichtweite eine Länge von 12,0 m und es sei nach entgegengesetzten zwei Seiten in Abständen von 0,05 m mit 1 mm weiten Löchern durchbohrt.

Das Rohr enthält demnach $\frac{12,0}{0,05} \cdot 2 = 480$ Löcher.

Vorausgesetzt, dass im Bedarfsfalle das Wasser in dem ganzen Regensysteme überall hin sich noch mit einer Druckhöhe von 2,0 m ausbreitet, dann ist die aus einer Öffnung von 1 mm Lichtweite ausströmende Wassermenge nach Tabelle II a gleich 0,28 Mtl., wonach für 480 Löcher der Wassererguss 134 Mtl. beträgt. Ist das Regensystem aus 10 Einzelröhren zusammengesetzt, die in einem Abstände von 1,0 m von einander liegen, so ist die Wassermenge, welche in 1 Minute über eine Bühnenfläche von etwa 120 qm sich ergiesst, 1340 Liter.

Diese Wassermenge entspricht einer Niederschlagshöhe auf der Bühne von 1,1 mm; oder in der Stunde

demnach 66 mm, was dem Ergusse eines starken Gewitterregens gleichkommt. Gibt man den Löchern eine Lichtweite von 1,5 mm, dann ist der Wassererguss aus jeder Öffnung $(1,5)^2 \cdot 0,28 = 0,63$ Mtl. und der Gesamtwassererguss des Regensystems 3000 Mtl.; dies ergibt eine Niederschlagshöhe von 2,5 mm in der Minute = 150 mm in der Stunde. Eine solche Niederschlagshöhe entspricht schon der Höhe der stärksten in unserem Klima vorkommenden Gewitterregen, die man als Wolkenbrüche bezeichnet. Hätten die Bohrungen der Regenröhren eine Lichtweite von 2 mm, so wäre die Niederschlagshöhe in einer Minute 4 mm oder in der Stunde 240 mm; diese stündliche Niederschlagshöhe entspricht dem Drittel des für Deutschland ermittelten durchschnittlichen Jahresniederschlages von 750 mm Höhe.

Liegt das Regensystem eines Theaters so hoch, dass der in der Wasserleitung vorhandene Betriebsdruck nicht zu jeder Zeit ausreichend ist, um dem Regensysteme die zur Wirksamkeit erforderliche Wassermenge zuzuführen, z. B. etwa 2000 Mtl., dann ist in entsprechender Höhe über dem Systeme ein Sammelbehälter anzulegen von etwa 20,0 cbm Wasserfassung. Nimmt man an, dass die Füllung dieses Behälters in 2 Stunden bewirkt werden soll, so ergibt sich ein ständiger Zufluss während dieser Zeit von 166 Mtl. Die Zuleitung von dem Hauptrohre der Strasse vor dem Theater bis zur Bühne habe eine Lichtweite von 125 mm und 50,0 m Länge; das Aufsteigrohr von dieser Zuleitung bis zum Sammelbehälter habe eine Lichtweite von 80 mm mit einer Länge von 30,0 m.

Nach Tabelle Ia ist der Druckverlust in der Zuleitung von 125 mm Lichtweite für 166 Mtl. Durchfluss-

menge $0,001 \cdot 50 = 0,05$ m und in dem 80 mm Steigrohr $0,0125 \cdot 30 = 0,375$ m, zusammen demnach rund 0,50 m. Der gewöhnliche Betriebsdruck in der Strassenleitung sei bei dem grösseren Verbräuche in den Tagesstunden 25,0 m und das Regensystem liege in einer Höhe von 20,0 m über der Strasse, der Sammelbehälter aber mit seinem höchsten Wasserstande habe eine Höhenlage von 23,5 m über der Strasse. Das Wasser wird also bei 25,0 m Betriebsdruck noch bis 1,0 m über dem höchsten Wasserstande aufsteigen und für die Wasserausschüttung in den Sammelbehälter wäre ein Mündungsdruck bis zu 1,0 m verfügbar. Würde man am oberen Ende des 80 mm Aufsteigrohres ein Auslaufventil von 40 mm Durchgangsweite anbringen, so könnte man damit bei 1,0 m Mündungsdruck 332 Mtl., bei 0,5 Mündungsdruck 235 und bei 0,3 m Druck 182 Mtl. einlassen.

Eine unmittelbare Speisung des Regensystemes wäre im vorliegenden Falle mit 25 m Betriebsdruck nicht möglich, denn für 2000 Mtl. erhält man, auch wenn man dem Aufsteigrohr statt 80 nun 125 mm Lichtweite gibt, einen Druckverlust von $80 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{2000}{1700}\right)^2 = 0,14 \cdot 80 = 11,2$ m; der wirksame Druck beträgt aber nur $25,0 - 20 = 5,0$ m.

Um eine unmittelbare Speisung zu erreichen, müsste die Zuleitung samt Steigrohr schon eine Lichtweite von 175 mm erhalten, wobei sich ein Druckverlust für Förderung von 2000 Mtl. von $80 \cdot 0,0222 = 1,8$ m ergeben würde und das Wasser in der Höhe des Regensystemes noch mit einer Druckhöhe von 3,2 m ankäme.

Würde man behufs gleichmässiger Verteilung des Wassers 4 Steigröhren von je 50 m Länge anwenden und

die liegende Zuleitung eine Lichtweite von 175 mm erhalten, so wäre der Druckverlust in dieser Strecke $50.0,0222 = 1,11$ m. Die Aufsteigröhren hätten nur je 500 Mtl. zu fördern, mit einem Druckverluste von $50.0,01 = 0,5$ m, wenn sie eine Lichtweite von 125 mm und mit einem solchen von $50.0,0333 = 1,7$ m, wenn sie eine Lichtweite von 100 mm erhalten.

36. Eine kleine Druckspritze von 85 mm Kolbendurchmesser liefert 120 Mtl. Wasser bei 55 Kolbenhüben in der Minute (bei 85 bis 140 mm Kolbendurchmesser beträgt die Kolbenhubhöhe durchschnittlich 0,20 m). Durch ein Strahlrohr von 10 mm Mundstückweite wird diese Wassermenge ausgeworfen, wenn der Wasserdruck vor dieser Mündung eine Höhe von 35 m hat (s. Tabelle II b). Hat der Druckschlauch dabei eine Lichtweite von 40 mm und eine Länge von 20 m, dann ist nach Tabelle Ib der Druckverlust darin von $0,2.20 = 4,0$ m, wonach der wirksame Eintrittsdruck im Windkessel der Spritze 39,0 m betragen muss; dabei ist vorausgesetzt, dass das Strahlrohr sich in gleicher Höhe mit der Spritze befindet.

Rechnet man dazu noch eine Saughöhe von 5,4 m, so erhält eine Gesamt-Saug- und Druckhöhe von 44,0 m.

Die Fördermenge in der Sekunde ist $\frac{120}{60} = 2$ Liter,

daher die Arbeitsleistung zum Betriebe der Spritze:

$$0,002.1000.44 = 88 \text{ Kilogramm-meter.}$$

Nimmt man für je einen Mann der Spritzenbedienung eine Arbeitsleistung von 12 bis 16 Sek. Kilgr.-Meter an (je nachdem die Mannschaft in kleineren oder grösseren Zeitabschnitten Ablösung erhält), so ergibt sich die Zahl der erforderlichen Bedienungsmannschaft zu 6 Mann.

Durch Anwendung eines Schlauches von 50 mm statt 40 mm Lichtweite würde die Arbeit etwas erleichtert, weil für den weiteren Schlauch nur $20 \cdot 0,05 = 1,0$ m Druckverlust sich ergibt, also $4,0 - 1,0 = 3,0$ m weniger als für den 40 mm Schlauch; die Arbeit fällt daher um $3,0 \cdot 0,002 \cdot 1000 = 6,0$ Kilgr.-Meter geringer aus.

37. Eine Druckspritze, deren Pumpenkolben 110 mm Durchmesser hat, liefert bei 55 Doppelhüben in der Minute 200 Liter Wasser; bei einer Lichtweite des Druckschlauches von 50 mm mit 30 m Länge erhält man darin nach Tabelle Ib einen Druckverlust von $30 \cdot 0,13 =$ rund 4,0 m. Soll vor dem Strahlrohrmundstück noch ein Wasserdruck von 20 m vorhanden sein und erhebt sich das Strahlrohr noch 10,0 m über die Spritze, dann muss der wirksame Druck Hw im Windkessel betragen:

$$20,0 + 10,0 + 4,0 = 34,0 \text{ m};$$

hierzu noch eine Saughöhe von 6,0 m und die Gesamt-Saug- und Druckhöhe ist 40,0 m. Die Arbeitsleistung an der Spritze ist $40 \cdot \frac{200}{60} = 133$ Kilgr.-Meter. Die Bedienung muss demnach durch etwa 10 Mann betätigt werden.

38. Durch eine Spritze mit Kolbendurchmesser von 140 mm beträgt die Wasserförderung für 55 Doppelhübe in der Minute 340 Liter. In einem 50 mm weiten und 30,0 m langen Schlauche erhält man dafür einen Druckverlust von $0,4 \cdot 30 = 12,0$ m. Liegt das Strahlrohr 10,0 höher als der Windkessel der Spritze und besitzt das Wasser vor dem Mundstück noch 20,0 m Druck, sowie auch die Saughöhe 6,0 m betrage, dann ist die Gesamt-Saug- und Druckhöhe:

$$20,0 + 10,0 + 12,0 + 6,0 = 48,0 \text{ m.}$$

Die Arbeitsleistung ist:

$$48 \cdot \frac{340}{60} = 5,6 \cdot 48 = 269 \text{ Kilgr.-Meter.}$$

Die erforderliche Bedienungsmannschaft ist 18.

Würde man statt eines 50 mm weiten einen 70 mm weiten Druckschlauch verwenden, dann erhält man den Druckverlust darin nach Tabelle Ib zu $30 \cdot 0,066 = 2,0$ m und die Gesamtdruckhöhe beträgt in diesem Falle nur 38,0 m. Die Arbeitsleistung ist $38 \cdot 5,6 = 213$ Kilgr.-Meter. Die Zahl der Bedienungsmannschaft ist 16 Mann.

Hat die Spritze zwei Druckschläuche von 50 mm Lichtweite und je 30,0 m Länge mit je 170 Mtl. Wasser zu speisen, welches vor dem 10,0 m höher gelegenen Mundstück noch mit 20,0 m Druck anlangen soll, dann erhält man einen Druckverlust in jedem Schlauche von $30 \cdot 0,1 = 3,0$ m und die Gesamt-Saug- und Druckhöhe ist 39,0 m. Die Arbeitsleistung $= 39,0 \cdot 5,6 = 218$ Kilgr.-Meter. Die Zahl der Bedienungsmannschaft $= 16$.

Nach Tabelle II muss für einen Wassererguss von 340 Mtl. unter 20,0 m Mündungsdruck das Mundstück eine Lichtweite von 19 mm haben, während für einen Wasserauswurf von 170 Mtl. unter 20,0 m Druckhöhe diese Lichtweite nur 12 mm sein muss.

39. Einer Spritze sollen mittels einer Schlauchleitung von 50 mm Lichtweite und 80,0 m Länge 200 Mtl. Wasser aus einem Hydranten zugeführt werden; die Ausmündung dieses Schlauches in der Spritze liege 5,0 m höher als der Hydrant und nach Tabelle Ib ist der Druckverlust in der Schlauchleitung $80 \cdot 0,13 = 10,4$ m. Wenn die Ausflussöffnung des Schlauches auch 50 mm

Lichtweite hat, so ist der Wasserdruck davor nach Tabelle II a noch 0,2 m, so dass das Wasser am Hydranten mit einem Druck von $5,0 + 10,4 + 0,2 =$ rund 16,0 m eintreten muss.

Soll die Spritze unter sonst gleichen Umständen mit 340 Mtl. Wasser gespeist werden, dann ist der Druckverlust in der Schlauchleitung $0,4 \cdot 80 = 32,0$ m und der Druck am Hydranten müsste 37,0 m betragen. Für eine Schlauchleitung von 60 mm Lichtweite wäre der Druckverlust $80 \cdot 0,135 = 10,8$ m, wonach der Hydranten-
druck in diesem Falle nur 16,0 m zu sein brauchte.

40. Eine Zubringer-Spritze von 160 mm Kolbendurchmesser liefert eine Höchstwassermenge von 410 Mtl. Wenn die Saug- und Druckschläuche eine Lichtweite von 70 mm haben, der Saugschlauch eine Länge von 10,0 m und der Druckschlauch eine Länge von 60 m; ferner sei die Saughöhe 6,0 m und die Ausmündung des Druckschlauches liege 5,0 m höher als der Windkessel der Pumpe, dann ergibt sich:

Druckverlust in den Schlauchleitungen:

$$(60 + 10) \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{410}{453}\right)^2 = 0,8 \cdot 7 = 5,6 \text{ m oder rund } 6,0 \text{ m,}$$

und Druck vor der Ausflussmündung von 70 mm zu 0,2 m, Gesamt-Saug- und Druckhöhe:

$$6,0 + 5,0 + 6,2 = 17,2 \text{ m oder rund } 18,0 \text{ m.}$$

Arbeitsleistung $18 \cdot \frac{410}{60} = 123$ Kilgr.-Meter, Mannschaf-
zahl = 8 Mann.

41. Eine Dampfspritze, deren Pumpenkolben einen Durchmesser von 130 mm hat, liefert 700 Mtl.

Wasser. Für eine Lichtweite des Saug- und Druckschlauches von 80 mm, sowie eine Länge des Saugschlauches von 10,0 m, des Druckschlauches von 50,0 m, erhält man einen Druckverlust in den Schläuchen von $0,1 \cdot \left(\frac{700}{651}\right)^2 \cdot 60 = 0,115 \cdot 60 = 7,0$ m.

Sollen vor dem Mundstücke des Strahlrohres noch 40,0 m Wasserdruck vorhanden sein und liegt das Strahlrohr noch 16,0 m höher als der Spritzenwindkessel, sowie auch die Saughöhe 6,0 m betrage, dann ist die Gesamt-Druckhöhe:

$$40,0 + 7,0 + 16,0 + 6,0 = 69,0 \text{ m.}$$

Die Arbeitsleistung = $\frac{69 \cdot 700}{60 \cdot 95} =$ rund 11 Pferdestärken.

Das Strahlrohrmundstück muss für den Auswurf von 410 Mtl. Wasser unter 40,0 m Druck eine Lichtweite von 23 mm haben.

Würden mit dem Druckschlauche von 80 mm Lichtweite und 50,0 m Länge zwei Druckschläuche von 60 mm Lichtweite und je 40,0 m Länge verbunden, wovon jeder 350 Mtl. in einer Höhe von 16,0 m über der Spritze auswerfen soll, dann ist Druckverlust in diesen zwei Schläuchen je $40,0 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{350}{293}\right)^2 = 40 \cdot 0,142 =$ rund 6,0 m

und der Gesamtdruck ist 75,0 m. Die Arbeitsleistung $\frac{75 \cdot 700}{60 \cdot 75} =$ rund 12 Pferdestärken. Die Mundstückweite

der beiden Strahlröhren wäre für 350 Mtl. nach Tabelle I b 16,5 mm.

Würde der Dampfspritze das Wasser aus einem

Hydranten mittels zwei Schläuchen von je 50 m Länge und 50 mm Lichtweite zugeführt, in jedem dieser Schläuche also 350 Mtl., so ist der Druckverlust darin $0,4 \cdot 50 = 20,0$ m.

Liegt ausserdem die Ausmündung der Schläuche in der Dampfspritze um 3,0 m höher als der Hydrant und da ferner für den Ausguss von 350 Mtl. durch eine 50 mm weite Öffnung nach Tabelle IIa ein Mündungsdruck von 0,5 m erforderlich ist, so ist der Druck unter welchem das Wasser bei dem Hydranten in die beiden Schläuche treten muss:

$$20,0 + 3,0 + 0,5 = 23,5 \text{ m.}$$

Bei der Anlage von Hauswasserleitungen zu haus- und gewerbewirtschaftlichen Bedürfnissen werden von den Installateuren die Lichtweiten der Rohrleitungen und Ventile meistens nach Faustregeln und alten Überlieferungen bestimmt. Dieses willkürliche Verfahren hat sowohl für Hochdruck- wie für Niederdruckleitungen dieselben Nachteile im Gefolge; durch zu geringe Lichtweite ergibt sich entweder Druckmangel oder Wassermangel, durch zu grosse Lichtweiten entstehen unnütze Kosten, sowie eine träge Bewegung des Wassers in den Leitungen.

Die Anwendung der Tabellen zur Berechnung der Lichtweiten ist deshalb bei Haus-Wasserleitungen von besonderem Nutzen, weshalb auch einige Beispiele aus diesem Gebiete aufgeführt werden sollen.

42. Auf dem Hofe eines Grundstückes soll ein Zapfventil von $12\frac{1}{2}$ mm Durchgangswerte und mit 10 mm weitem Auslaufmündstück in einer Höhe von

3,0 m über der Strasse angebracht werden. Die Zuleitung von dem Hauptrohre der Strasse bis zum Zapfventile habe eine Lichtweite von $12\frac{1}{2}$ mm und eine Länge von 40,0 m; bei einer Wasserentnahme von 10,5 Mtl. durch das Zapfventil ist nach Tabelle Ib der Druckverlust in der Zuleitung $= 40 \cdot 0,9 = 36$ m und nach Tabelle IIa muss das Wasser vor der Auslaufmündung noch 0,3 m Druck besitzen, so dass in der Strassenleitung ein Betriebsdruck von $36 + 3,0 + 0,3$ oder rund 40,0 m vorhanden sein müsste.

Würde man jedoch für dasselbe Zapfventil der Zuleitung eine Lichtweite von 15 mm geben, so wäre bei Entnahme von 11,7 Mtl. nach Tabelle Ib der Druckverlust $40 \cdot 0,4 = 16$ m und eine Druckhöhe von 20,0 m im Hauptrohre würde diesem genügen.

Würde man der Zuleitung eine Lichtweite von 20 mm geben, dann wäre der Druckverlust bei einer Entnahme von 135 Mtl. $40 \cdot 0,1 = 4,0$ m und wäre dabei der Betriebsdruck 30,0 m, dann würde das Wasser am Zapfventil noch $30,0 - (4,0 + 0,5 + 3,0) = 22,5$ m Druckhöhe haben.

43. Eine Hausleitung bestehe, vom Strassenrohre beginnend, zunächst aus 30,0 m Rohrleitung von 25 mm Lichtweite, dann aus 20,0 m Rohrleitung von 20 mm Lichtweite und endlich aus einer 13,0 m langen Strecke von $12\frac{1}{2}$ mm Lichtweite. Am Ende dieser letztgenannten Strecke befinde sich ein Zapfventil von $12\frac{1}{2}$ m Durchgang und 10 mm Ausmündung in 15,0 m Höhe über dem Strassenrohre. Für eine Wasserentnahme von etwa 10,0 Mtl. erhält man folgende Druckverluste nach Tabelle Ib.

In der Anfangsstrecke von 25 mm Lichtweite	30 . 0,0166 = 0,5 m
In der Mittelstrecke von 20 mm Lichtweite	20 . 0,06 = 1,2 „
In der Endstrecke von 12 ¹ / ₂ mm Lichtweite	15 . 0,9 = 13,5 „
	<u>Sa. 15,2 m.</u>

Im Strassenrohre muss also ein wirksamer Betriebsdruck von rund 29,0 m vorhanden sein. Befindet sich an der Verbindungsstelle der Mittelstrecke mit der Endstrecke von 12¹/₂ mm 8,0 m über Strasse, ebenfalls ein Zapfventil und werden nun beiden Zapfventilen gleichzeitig je 10 Mtl. Wasser entnommen, dann ist der Druckverlust folgender:

In der Anfangsstrecke von 25 mm Lichtweite	30 . 0,0666 = 2,0 m.
In der Mittelstrecke von 20 mm Lichtweite	20 . 0,22 = 4,40 „
In der Endstrecke von 12 ¹ / ₂ mm Lichtweite	= 13,50 „
	<u>19,90 m</u>

oder rund 20,0 m Druckverlust.

Befindet sich, 3,0 m über Strasse, auch an der Verbindungsstelle der Anfangs- mit der Mittelstrecke ein Zapfventil und werden diesen drei Zapfstellen gleichzeitig je 10 Mtl. entnommen, so ergeben sich folgende Druckverhältnisse:

In der Anfangsstrecke von 25 mm	30 . 0,144 = 4,4 m.
In der Mittelstrecke	= 4,4 „
In der Endstrecke	= 13,5 „
	<u>22,3 m</u>

oder rund 23,0 m + 13,0 m Höhenlage = 36,0 m.

Ist so viel Betriebsdruck in der Strassenleitung nicht vorhanden, dann muss auf der Endstrecke eine Lichtweite von 20 mm erhalten, wodurch der Druckverlust darin von 13,5 m auf $15 \cdot 0,06 = 0,9$ m gemindert wird, und der Gesamtdruckverlust nur die Höhe von rund 10,0 m erreicht.

Wäre in diesem Falle der Betriebsdruck im Strassenrohre 35,0 m, so langt das Wasser bei dem ersten Zapfventile mit einer Druckhöhe von $35 - 7,4 = 27,6$ m an, bei dem zweiten Ventile mit $27,6 - 9,4 = 18,2$ m und bei dem dritten mit $18,2 - 5,9 =$ rund 12,2 m an. Für einen Wassererguss von 10 Mtl. müssen darnach nach Tabelle IIa und b die Ausflussöffnungen folgende Lichtweiten besitzen.

Beim ersten Ventile etwa 3 mm, bei dem zweiten etwa $3\frac{1}{2}$ mm und bei dem dritten auf 4 mm; da die Ausflussöffnung bei Zapfventilen von $12\frac{1}{2}$ mm Durchgang 10 mm weit ist, so müssen diese Ventile durch Drosselung des Durchflusses für einen Abfluss von 10 Mtl. geregelt werden.

43. Eine Badewanne sei in einer Höhe von 12,0 m über der Strasse aufgestellt, der Betriebsdruck im Strassenrohre sei 20,0 m, die Zuleitung habe auf 20,0 m Länge eine Lichtweite von 25 mm und auf 25,0 m Länge eine solche von 20 mm.

Zur Füllung der Badewanne sind 250 Liter Wasser erforderlich und die Zeit zur Füllung derselben soll 10 Minuten nicht überschreiten, wonach also 25,0 Mtl. zu liefern sind. An Druckverlust ergibt sich nach Tabelle Ib: In der Anfangsstrecke von 25 mm Lichtweite

$$20 \cdot 0,1 = 2,0 \text{ m}$$

In der Endstrecke

$$25 \cdot 0,35 = 8,8 \text{ „}$$

$$\text{Sa. } 10,8 \text{ m.}$$

Der wirksame Druck ist aber nur $20,0 - 12,0 = 8,0$ (wegen der Höhenlage der Wanne), weshalb die Füllung der Wanne innerhalb 10 Minuten nicht bewirkt werden kann; zu diesem Zwecke müsste die Endstrecke statt 20 auch 25 mm Lichtweite erhalten und wäre in diesem Falle der Druckverlust in der Leitung $45 \cdot 0,1 = 4,5$ m, so dass das Wasser die Auslauföffnung unter einem Drucke von $8,0 - 4,5 = 3,5$ m erreichen würde. Unter dem Auslaufdrucke von 3,5 m müsste das Auslaufventil für eine Öffnung von 8 mm Lichtweite geregelt werden nach Tabelle II a.

44. Ein Hausreservoir von 1 cbm Wasserfassung ist mit seinem Einlaufe in 15,0 m Höhe über einer Pumpe, d. h. über deren mittlerem Kolbenstande aufgestellt; diese Schwengelpumpe liefert mit 40 Hüben in der Minute 30 Liter Wasser, das Steigrohr hat 30 mm Lichtweite und von der Pumpe bis ins Reservoir eine Länge von 30,0 m, das Saugrohr eine solche von 10,0 m. Nach Tabelle Ia ist für 30 Mtl. der Druckverlust

$$\begin{aligned} 30 \cdot 0,05 &= 1,5 \text{ m} \\ + 10 \cdot 0,05 &= \underline{0,5 \text{ „}} \\ \text{Sa. } &2,0 \text{ m.} \end{aligned}$$

Rechnet man noch für Ein- und Austrittswiderstände u. dgl. 0,5 m, so muss eine Saug- und Druckhöhe von 17,5 m überwunden werden, woraus sich eine Arbeitsleistung von $17,5 \cdot \frac{30}{60} = 8,75$ Kilgr.-Meter ergibt. — Würde man dem Saug- und Steigrohre nur eine Lichtweite von 25 mm geben, dann wäre der Druckverlust darin $40,0 \cdot 0,15 =$ rund 6,0 m und die Arbeitsleistung $21 \cdot 0,5 = 10,5$ Kilgr.-Meter.

45. Eine Pumpe, welche 1500 Mtl. Wasser zu fördern hat, steht mit ihrem mittleren Kolbenstande 4,0 m über dem Saugwasserspiegel und ist mit einem Saugrohre von 200 mm Lichtweite und 150 m Länge versehen. Der Druckverlust im Saugrohre ist nach Tabelle Ia $150 \cdot 0,0057 = 0,9$ m oder rund 1,0 m. Die Saughöhe wäre demnach $4,0 + 1,0 = 5,0$ m.

Würde das Saugrohr nur eine Lichtweite von 150 mm erhalten, dann wäre der Druckverlust darin $150 \cdot 0,0285 = 4,3$ m. Die Saughöhe demnach 8,3 m also nahe der Grenze der theoretisch möglichen Saughöhe von 10,0 m, die in der Praxis nie erreicht wird, weil auch noch Widerstände in der Pumpe und beim Eintritt des Wassers durch den Seiher im Saugrohr zu berücksichtigen sind und weil auch eine vollständige Luftleere über dem Pumpenkolben nicht erreicht wird. —

46. Ein Gartensprengahn von 25 mm Durchgangsweite habe eine Zuleitung vom Strassenrohr mit 50,0 m Länge und 25 mm Lichtweite. Der Sprengahn ist für die Wasserbenützung mit einem Schlauche von 10,0 m Länge und 25 mm Lichtweite verbunden und es soll das Wasser vor der Strahlrohrmündung noch mit einem Drucke von 15,0 m ankommen, während der Betriebsdruck im Strassenrohre 30,0 m ist und das Strahlrohr 2,0 m über dem Strassenrohre sich befindet.

Der Druckverlust in der 60,0 m langen Leitung darf also $30 - (15 + 2,0) = 13,0$ m nicht übersteigen oder nicht $\frac{13}{60} = 0,216$ m.

Bei 0,2 m Druckverlust für 1,0 m Leitung fördert

ein 25 mm weites Rohr nach Tabelle Ib 35 Mtl., daher ist die Wassermenge bei 0,216 m Druckverlust

$$W = 25 \cdot \sqrt{\frac{0,216}{0,200}} = 1,03 \cdot 35 = 36 \text{ Mtl.}$$

Würde man der 50,0 m langen Zuleitung eine Lichtweite von 30 mm geben, dann wäre für 36 Mtl. Fördermenge der Druckverlust $50 \cdot 0,06 = 3,0$ m und im 25 mm Schlauche $10,0 \cdot 0,21 = 2,1$ m. Das Wasser trifft daher vor dem Strahlrohrmundstück mit einer Druckhöhe ein von $30 - (5,1 + 2,0) = 22,9$ m, hat demnach nun eine viel beträchtlichere Sprungweite, als wenn die Zuleitung nur 25 mm Lichtweite hat.

47. In dem Dachraume eines Wohngebäudes soll in einer Höhe von 14,0 m über der Strasse ein Feuerhahn von 25 mm Lichtweite angebracht werden, der mit einem ebenso weiten Schlauche von 8,0 m Länge verbunden ist. Der Betriebsdruck im Strassenrohre betrage 35,0 m und vor dem Mundstücke des Strahlrohres soll das Wasser noch mit einem Drucke von 16,0 m anlangen, welche Lichtweite muss die Rohrleitung, die vom Strassenrohre bis zum Feuerhahn eine Länge von 35,0 m besitzt, erhalten, damit obiger Mündungsdruck von 16,0 m noch vorhanden ist? Der Druckverlust darf darnach $35 - (14 + 16) = 5,0$ m nicht übersteigen oder auf

$$1,0 \text{ m} = \frac{5,0}{35} = 0,143 \text{ m.}$$

Hat das Strahlrohrmundstück eine Lichtweite von 7 mm, dann ist nach Tabelle IIb der Wassererguss bei 16,0 m Druck 40,88 Mtl. und nach Tabelle Ib muss demnach die Rohrleitung 30 mm Lichtweite erhalten, denn

für diese Lichtweite erhält man schon bei $35 \cdot 0,1 = 3,5$ m Druckverlust einen Wasserdurchfluss von 42,0 Mtl. Die nächstfolgende kleinere, handelsübliche Lichtweite ist 25 mm, die aber bei 35 Mtl. Wasserförderung schon einen Druckverlust von $35,0 \cdot 0,2 = 7,0$ m verursacht, so dass das Wasser nur mit einer Druckhöhe von 14,0 m vor der Strahlrohrmündung eintreffen kann. Unter diesem Mündungsdrucke müsste die Mündung für einen Wasserguss von 35 Mtl. eine Lichtweite von $6\frac{1}{2}$ mm haben.

48. Ein Wasserbehälter habe bei ganzer Füllung einen Inhalt von 3000 Liter und dabei eine Spiegelhöhe über der im Behälterboden angebrachten Auslauföffnung von 2,0 m. Das mit der Auslauföffnung verbundene Entleerungsrohr habe eine Lichtweite von 50 mm, eine Länge von 40 m und die Auslaufmündung des Entleerungsrohres liege 12,0 m unter derjenigen im Behälterboden. In welcher Zeit entleert sich der Behälter bei voller Öffnung des Ablaufes?

Es sei x die im Durchschnitte abfließende Wassermenge und nach Tabelle Ib ist für 550 Mtl. Wasserförderung in einem 50 mm weiten Rohre der Druckverlust auf 1,0 m Leitung gleich 1,0 m, daher für x Mtl. ist

$$x = \sqrt{\frac{hx}{1,0}} \cdot 550.$$

Nach Tabelle IIa ist der Druck vor der 50 mm weiten Auslaufmündung des Entleerungsrohres $h_n = 1,0$ m, wenn die Ausflussmenge 520,0 Mtl. beträgt, daher erhält

man hier $x = 520 \sqrt{\frac{hx}{1,0}}$, h_n muss aber sein gleich $(12 + 1,0) - 40 \cdot hx$ und es ist daher:

$$x = \sqrt{\frac{hx}{1}} \cdot 550 = \sqrt{13 - 40 \, hx} \cdot 520$$

$$hx = (0,943)^2 \cdot (13 - 40 \, hx)$$

$$hx(1 + 35,56) = 0,889 \cdot 13 = 11,55$$

$$hx = \frac{11,55}{36,56} = 0,316;$$

Gesamtdruckverlust demnach $40 \cdot 0,316 = 12,64$ und der durchschnittliche Mündungsdruck $h_n = 13,0 - 12,64 = 0,36$.

$$x = 550 \sqrt{0,316} = 309 \text{ Mtl.}$$

Mit dieser durchschnittlichen Abflussmenge von 309 Mtl. sind für die gänzliche Entleerung des 3000 Liter fassenden Sammelbehälters demnach etwa 10 Minuten erforderlich.

49. Ein Wasserbehälter von 3000 Liter Fassungsraum habe ein Zuleitungsrohr von 40,0 m Länge und 30 mm Lichtweite, das oberhalb des höchsten Wasserstandes im Behälter ausmündet, in einer Höhe von 15,0 m über der Strassenleitung; der Betriebsdruck der letztgenannten Leitung beträgt 35,0 m. Welche Wassermenge wird durch die 30 mm weite Mündungsöffnung der Zuleitung in den Behälter ausgegossen und in welcher Zeit kann die Füllung mit 3000 Liter Wasser bewirkt werden?

Bezeichnet x die gesuchte Wassermenge in Minutenliter, hx den Druckverlust in der Leitung für 1,0 m Länge und h_n den Wasserdruck vor der Ausflussmündung, berücksichtigt man ferner, dass für 1,0 m Druckverlust in einem 30 mm weiten Rohre nach Tabelle Ib eine Durchflussmenge von 134 Mtl. sich ergibt, und dass nach Tabelle IIa unter einem Drucke von 1,0 m aus einer Mündung von 30 mm Lichtweite 187 Mtl. abfließen, dann kann man folgende Gleichungen aufstellen:

$$x = 134 \cdot \sqrt{\frac{hx}{1}} = 187 \cdot \sqrt{\frac{hn}{1}};$$

$$hn = 35 - [15 + 40 \cdot hx], \text{ daher}$$

$$134 \cdot \sqrt{\frac{hx}{1}} = 187 \sqrt{(20 - 40 \cdot hx)}$$

$$hx = 0,4937 \text{ und } Hx = 40 \cdot 0,4937 = 19,76 \text{ m.}$$

$$hn = 35,0 - [15 + 19,76] = 0,24 \text{ m.}$$

Nach Tabelle I b ist für $hx = 0,4937$ die Wassermenge 95 Mtl. und für hn nach Tabelle II a ist dieselbe ebenfalls 95 Mtl.; um den ganz entleerten Behälter wieder mit 3000 Liter Wasser zu füllen, sind demnach $\frac{3000}{95} = 31,5$ Minuten Zeit erforderlich. —

Durch Benützung der Tabellen V wird die Lösung dieser Aufgaben wesentlich vereinfacht und verkürzt wie es unter Nr. 48 a, 49 a, S. 55 u. 56 gezeigt ist.

Tabelle III.

Diese Tabelle enthält die Verhältniszahlen der Wassermengen W und Wassergeschwindigkeiten G für die drei Rauigkeitsgrade der innern Rohrwände von $m = 0,15$, $m = 0,20$ und $m = 0,25$, für Rohrlichtweiten von $12\frac{1}{2}$ mm bis 500 mm.

Die Grundgleichung, wonach die Zahlenwerte der Tabelle III berechnet sind, ist $G = \frac{w}{2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot h}{L}}$; der Wert von w ist nach der abgekürzten Kutter'schen Gleichung

$$w = \frac{50 \cdot \sqrt{D}}{m + 0,5 \sqrt{D}} \text{ bestimmt, worin } m \text{ je nach dem an-}$$

genommenen Rauigkeitsgrade der inneren Rohrwände mit 0,25, 0,20 und 0,15 eingesetzt ist.

Für ein und dieselbe Rohrlichtweite D , Länge der Leitung L und Durchflussgeschwindigkeit G ergibt sich folgendes Verhältnis:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{w_2^2}{w_1^2} \text{ oder } h_1 = h_2 \cdot \frac{w_2^2}{w_1^2},$$

ferner erhält man bei ein und derselben Lichtweite und Länge der Rohrleitung für die zwei verschiedenen Rauigkeitsgrade m_1 und m_2 , bei gleicher Grösse von h_1 und h_2 , die zugehörigen Werte der Wassermengen W_1 oder W_2 und der Durchflussgeschwindigkeiten G_1 oder G_2 nach der Gleichung:

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{w_1}{w_2} \text{ und } W_1 = W_2 \cdot \frac{w_1}{w_2} \quad G_1 = G_2 \cdot \frac{w_1}{w_2}.$$

In der Tabelle III sind unter 1. die Verhältnisse $\frac{w_1}{w_2}$ in der Weise aufgeführt, dass für die 3 verschiedenen Rauigkeitsgrade $m = 0,15$, $m = 0,20$ und $m = 0,25$ die zugehörigen Wassermengen mit W_{15} , W_{20} und W_{25} bezeichnet sind, während die nebenstehende Horizontalreihe von Verhältniszahlen, die entsprechenden Quotienten $\frac{W_{15}}{W_{20}}$, $\frac{W_{15}}{W_{25}}$ — $\frac{W_{20}}{W_{15}}$, $\frac{W_{20}}{W_{25}}$ — $\frac{W_{25}}{W_{15}}$ und $\frac{W_{25}}{W_{20}}$ darstellen, die nur mit W_{20} , W_{25} und W_{15} zu multiplizieren sind, um die gesuchte Wassermenge zu erhalten, welche für ein und denselben Druckverlust h durch eine Rohrleitung gefördert werden kann, wenn man zwei verschiedene Rauigkeitsgrade für dieselbe annimmt.

In der Tabelle III sind unter 2. die Verhältniszahlen aufgeführt, welche zur Bestimmung der Druck-

verluste h_{15} , h_{20} und h_{25} dienen, die den verschiedenen Rauigkeitsgraden entsprechen. Die horizontalen Zahlen-

reihen stellen hier die Quotienten $\frac{w_{20}^2}{w_{15}^2}$, $\frac{w_{25}^2}{w_{15}^2}$ — $\frac{w_{15}^2}{w_{20}^2}$,

$\frac{w_{25}^2}{w_{20}^2}$ — $\frac{w_{15}^2}{w_{25}^2}$ und $\frac{w_{20}^2}{w_{25}^2}$ dar, die mit den Werten von

h_{20} , h_{25} und h_{15} zu multiplizieren sind, um die gesuchten Druckverluste h zu erhalten.

Aus dem Obigen ergibt sich leicht der Gebrauch der Tabelle III, der noch durch folgende Beispiele erläutert werden soll.

50. Eine Rohrleitung von 300 mm Lichtweite und 1000 m Länge liefert unter der Annahme eines Rauigkeitsgrades von $m = 0,25$ nach Tabelle Ia bei einem Druckverluste von $1000 \cdot 0,005 = 5,0$ m. $W_{25} = 4320$ Mtl. mit einer Durchflussgeschwindigkeit von 1,01 m. Setzt man aber einen Rauigkeitsgrad von $m = 0,20$ voraus, so erhält man für denselben Druckverlust von 0,005 m auf 1,0 m Leitung eine Wassermenge

$$W_{20} = 1,10 \cdot 4320 = 4752 \text{ Mtl.}$$

nach Tabelle III unter 1. in der 4. Horizontalreihe. Für $m = 15$ wird $W_{15} = 1,23 \cdot 4320 = 5313$ Mtl. (Tab. III unter 1.) in der zweiten Horizontalreihe.

51. Für eine Rohrleitung von 50 mm Lichtweite und 100 m Länge erhält man bei einem Druckverlust von $100 \cdot 0,05 = 5,0$ m eine Wassermenge $W_{15} = 124$ Mtl., wenn $m = 0,15$ ist.

Für $m = 0,20$ ist $W_{20} = 0,84 \cdot 124 = 100$ Mtl. und für $m = 0,25$ ist $W = 0,72 \cdot 124 = 89$ Mtl.

52. Um durch eine Rohrleitung von 200 mm Lichtweite und 300 m Länge eine Wassermenge $W_{25} =$

1986 Mtl. zu fördern, bedarf es nach Tabelle Ia eines Druckaufwandes von $300 \cdot 0,01 = 3,0$ m, wenn $m = 0,25$ ist; wird jedoch $m = 0,20$ angenommen, dann ist für dieselbe Wassermenge in der 200 mm weiten Leitung nur ein Druckverlust von $0,79 \cdot 3 = 2,37$ m nötig; nach Tabelle III unter 2. in der vierten Horizontalreihe. Für $m = 0,15$ wäre der Druckaufwand nur $0,62 \cdot 3,0 = 1,86$ m.

53. Eine Rohrleitung von 60 mm Lichtweite und 200 m Länge liefert mit einem Druckaufwande von $200 \cdot 0,04 = 8,0$ m eine Wassermenge $W_{15} = 187$ Mtl. nach Tabelle Ib unter Voraussetzung von $m = 0,15$. Für $m = 0,20$ ist nach Tabelle III unter 2., Zahlenreihe 3 der Druckverlust $1,4 \cdot 8,0 = 11,2$ m und für $m = 25$ unter 2., Zahlenreihe 5 ist der Druckverlust $1,87 \cdot 8 = 14,96$ m.

Nebenbei sei hier noch erwähnt, dass man für die 3 verschiedenen Rauigkeitsgrade im allgemeinen folgende Beschaffenheit der inneren Rohrwände annimmt:

1. Reiner, gewöhnlicher Zementverputz, reine glasierte Tonrohrwände und reine asphaltierte Eisenrohrwände bezeichnen den Rauigkeitsgrad $m = 0,15$.
2. Gut gefügte und gehobelte Bretter, gewöhnliche Zementröhrenwände und die Wände von unglasierten Tonröhren oder nicht asphaltierten Eisenröhren, bezeichnen $m = 0,20$.
3. Gutes Backstein- und Quadermauerwerk, nicht ganz glatte, verunreinigte Zement-, Ton- und Eisenröhren, rauhe Bretter u. dgl. gelten für $m = 0,25$.

54. Eine noch neue Rohrleitung mit glatten Innenwänden soll mit einer verfügbaren Druckhöhe von 6,0 m bei 70 mm Lichtweite und 200 m Länge in Betrieb gesetzt werden, welche Wassermengen liefert sie mit $m = 0,15$?

Der Druckaufwand für 1,0 m Leitung ist $\frac{6,0}{200} = 0,03$

und damit erhält man nach Tabelle Ib eine Wassermenge von 810 Mtl.

Wenn aber nun mit der Zeit die Leitung durch Ablagerungen den Rauigkeitsgrad von $m = 0,20$ erreicht, während der verfügbare Druck zur Wasserförderung immer noch 6,0 m ist, dann liefert die Rohrleitung nach Tabelle III nur noch $810 \cdot 0,85 = 688$ Mtl. Wasser und hat sich die Rauigkeit weiter bis zu $m = 0,25$ erhöht, dann ist die Leistung der Röhrenleitung auf $810 \cdot 0,74 = 600$ Mtl. zurückgegangen. Um auch bei $m = 0,25$ mit dem vorhandenen Druck von 6,0 m noch 810 Mtl. zu erhalten, müsste nach Tabelle Ia die Rohrleitung eine Lichtweite von 125 mm erhalten.

55. Das Saugrohr einer Pumpe soll eine solche Lichtweite erhalten, dass unter Voraussetzung eines Rauigkeitsgrades von $m = 0,15$ und bei einem Druckaufwande von 3,0 m etwa 4000 Mtl. auf eine Länge von 600 m angesaugt werden können. Der Druckverlust für 1,0 m ist in diesem Falle $h_{15} = \frac{3,0}{600} = 0,005$ m.

Nach Tabelle Ia kommt für eine Förderung von 4000 Mtl. mit 0,005 m Druckverlust annähernd eine Lichtweite von 300 mm in Betracht. Nach Tabelle III verhalten sich aber bei gleichem Druckaufwande die

Wassermengen $\frac{W_{25}}{W_{15}} = 0,81$ und $\frac{W_{15}}{W_{25}} = 1,23$. Um aus der Tabelle Ia, wo $m = 0,25$ ist, die entsprechende Lichtweite für $W_{25} = 0,81 \cdot 4000 = 3240$ Mtl. zu finden, geht man in der horizontalen Zahlenreihe für 0,005 Druckverlust soweit von links nach rechts, bis man auf eine 3240 sich nähernde Zahl stösst und findet diese unter der Lichtweite $D = 275$ mm mit 3184 Mtl. Für diese Lichtweite erhält man weiter aus Tabelle III die Wassermenge W_{15} mit $1,24 \cdot 3184 = 3945$ Mtl. So lange die Innenwände der Saugleitung rein und glatt bleiben, kann also eine 275 mm weite Rohrleitung den gestellten Anforderungen genügen, erreicht jedoch, durch Verunreinigung die Rauigkeit den Grad von 0,20, dann können mit dem Druckaufwande von 3,0 m nur noch $0,89 \cdot 400 = 3560$ Mtl. und bei $m = 0,25$ nur 3240 Mtl. angesaugt werden. Müssen aber unter diesen veränderten Verhältnissen dennoch 4000 Mtl. gepumpt werden, dann ist nach Tabelle III für $m = 20$ der Druckaufwand $1,25 \cdot 3 = 3,75$ m und für $m = 0,25$ ist er $1,54 \cdot 3 = 4,62$ m. —

Tabelle IV.

Bei der Verwendung des Wassers zu Lösch- und Besprengungszwecken, sowie zu Springbrunnen ist es nötig, die senkrechte Steighöhe des freien Wasserstrahles für die verschiedenen Lichtweiten der Strahlrohrmündungen und für verschiedene Druckhöhen vor diesen Mündungen zu kennen; die Tabelle IV enthält diese Steighöhen S für die allgemein üblichen Mündungsweiten d von 1 bis 30 mm und für den Mündungsdruck h_n

von 5 bis 75 m. Jeder Steighöhe ist auch gleich die zugehörige Wassermenge W beigefügt, welche durch den Wasserstrahl ins Freie gefördert wird.

Die Zahlenwerte S sind nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$S = \frac{hn}{1 + \varphi \cdot hn} \quad \text{und} \quad \varphi = \frac{0,00025}{d + 1000 d^3}.$$

Diese Gleichungen sind von Professor Otto Lueger (siehe dessen „Wasserversorgung der Städte“, Seite 121) auf Grund von Versuchen mit Mundstücken von 10 bis 30 mm Lichtweite aufgestellt worden; das Mass der Strahlhöhe bezieht sich auf die höchsten, noch sichtbaren Wassertropfen.

Den Gebrauch der Tabelle IV erkennt man leicht aus deren Einrichtung und ausserdem geben die folgenden Beispiele noch weiteren Aufschluss.

56. Für einen Mündungsdruck $hn = 20,0$ m erhält man für eine Mündungsweite $d = 15$ mm nach Tabelle IV eine Steighöhe $S = 15,7$ m mit einem Wassererguss von 210 Mtl. Mit annähernd derselben Wassermenge erreicht man mit $hn = 15$ und $d = 16$ mm nur eine Steighöhe von 12,6 m, während für $d = 15$ mm und $hn = 15,0$ m die Steighöhe 12,4 m mit 182 Mtl. Wassererguss beträgt. Einen Wassererguss von 204 Mtl. erhält man durch ein 14 mm weites Mundstück unter einem Mündungsdruck $hn = 25,0$ m und mit 18,2 m Steighöhe, oder für ein Mundstück von 13 mm Lichtweite mit $hn = 35$ und $S = 22,1$ u. s. w.

Dieselbe Steighöhe von annähernd 19,0 m erhält man nach Tabelle III durch ein 7 mm weites Mundstück unter 55 m Druck mit 55 Mtl. Wasserschüttung; oder

durch ein Mundstück von 8 mm Lichtweite unter 45,0 m Druck mit 89 Mtl. Wasserlieferung; oder durch ein Mundstück mit $d = 16$ mm, $h_n = 25,0$ m und $W = 267$ Mtl.

57. Ein Strahlrohr habe eine Hauptausmündung von 10 mm Lichtweite, welche von 10 kleinen Mündungen von je 2 mm Lichtweite kreisförmig umgeben ist; der Wasserdruck vor diesen Ausmündungen betrage 30,0 m. Welche Steighöhen werden erreicht und welche Wassermenge wird ausgeworfen?

Für das mittlere 10 mm weite Mundstück erhält man aus Tabelle IV eine Steighöhe von 17,7 m und einen Wassererguss von 114 Mtl.

Für die übrigen 10 Öffnungen ergibt sich eine Steighöhe von 6,3 m mit einem Wassererguss von $10 \cdot 4,56 = 45,6$ „
Sa. rund 160 Mtl.

Tabelle Va, b und c.

Bei der Verwendung des Wassers zu haus- und gewerbewirtschaftlichen Zwecken, besonders zu Lösch- und Besprengungszwecken, sowie für Springbrunnen, sind häufig der wirksame Wasserdruck H_w , die Lichtweite D der Zuleitungsröhren, sowie die Lichtweite d der Auslauföffnungen bekannte Grössen, während die unter diesen Verhältnissen sich ergebende Druckhöhe h_n vor der Ausflussöffnung und die daraus zu erhaltenden Wassermengen W und Steighöhen S gesucht werden.

In den vorhergehenden Beispielen Nr. 48 und 49 sind schon zwei solche Fälle angeführt und die Lösung

der Aufgabe wurde dort durch eine Zwischenrechnung mittelbar herbeigeführt. Mit Hilfe der Tabellen V wird diese Zwischenrechnung erspart und der Druck h_n vor der Ausflussmündung wird unmittelbar aus den Tabellen V, die zugehörigen Wassermengen W und Steighöhen S aus der Tabelle IV entnommen. —

Zur Berechnung der Zahlenwerte h_n in den Tabellen V wurden die im Vorhergehenden schon angeführten, verschiedenen Gleichungen angewendet und sind in den Tabellen nur die Zahlenwerte von h_n für eine beim Eintritt des Wassers in die Rohrleitung vorhandene wirksame Druckhöhe H_w von 10,0 m, dagegen für die Längen der Zuleitungsröhren von 10 bis 100 m, und für deren Lichtweiten D von $12\frac{1}{2}$ bis 100 mm sowie für die Lichtweiten d der Ausflussöffnungen von $12\frac{1}{2}$ bis 100 mm. Die Zahlenwerte von h_n für andere wirksame Druckhöhen H_w als 10,0 m erhält man leicht aus der Gleichung:

$$\frac{H_w}{10,0} = \frac{hx}{h_n}, \text{ woraus } hx = h_n \cdot \frac{H_w}{10,0}.$$

Man hat also nur die aus der Tabelle gefundenen Zahlenwerte von h_n mit der gegebenen wirksamen Druckhöhe H_w , zu multiplizieren und durch 10,0 zu dividieren, um die gesuchte Grösse von hx zu erhalten. Z. B. Aus der Tabelle erhält man $h_n = 6,0$ m, dann ist für $H_w = 18,0$ m, $hx = 1,8 \cdot 6 = 10,8$ m, — oder $H_w = 7,0$ m, dann ist $hx = 0,7 \cdot 6 = 4,20$ m u. s. w.

48 a. Die Aufgabe des Beispiels Nr. 48, S. 45 ist nun in folgender Weise zu lösen:

Die wirksame, durchschnittliche Druckhöhe ist in diesem Falle $12,0 + 1,0 = 13,0$ m, $D = 50$ mm und $d = 50$ mm. Nach Tabelle Vc erhält man für $d = D =$

50 mm und für $L = 40$ m den Wert von $h_n = 1,3 \cdot 0,28 = 0,364$ m und aus Tabelle IIa kann man die Grösse des Wasserausflusses unter diesem mittleren Drucke bestimmen. Für 1,0 m Druckhöhe ist nämlich $W = 520$ Mtl., daher für 0,364 m ist

$$W = 520 \cdot \sqrt{0,364} = 319 \text{ Mtl.}$$

49 a. Die Aufgabe des Beispiels Nr. 49, S. 46 erhält folgende Lösung:

$H_w = 35 - 15,0 = 20,0$ m; $d = D = 30$ mm, $L = 40,0$ m; in Tabelle Vb erhält man für $d = 30$ mm, den Wert von h_n mit $2,0 \cdot 0,12 = 0,24$ m und in Tabelle IIa dafür eine Ausgussmenge von

$$187 \cdot \sqrt{0,24} = 92 \text{ Mtl.}$$

Die Werte der Tabellen V sind für einen Rauheitsgrad von 0,15 berechnet; für einen anderen Rauheitsgrad $m = 0,20$ oder 0,25 sind die mittels Tabelle V und Tabelle II oder IV gefundenen Wassermengen mit der entsprechenden Verhältniszahl in Tabelle III 1. zu multiplizieren, um die dem Werte von m entsprechenden Wassermengen zu erhalten.

Z. B. die oben für die Aufgabe Nr. 48 aus Tabelle Vc gefundene Lösung mit 0,364 m Mündungsdruck und daraus nach Tabelle IIa eine Ausflussmenge von 319 Mtl. ergibt für einen Rauheitsgrad $m = 0,25$ nach Tabelle III 1. eine Wassermenge von $319 \cdot 0,72 = 229$ Mtl. Da für diese Wassermenge unter der erhöhten Rauigkeit der Gesamtdruckverlust zur Förderung durch die Leitung dieselbe Grösse hat wie bei $m = 0,15$, nämlich $13,0 - 0,364 = 12,636$ m, so ist der Mündungsdruck für 229 Mtl. mit 0,364 etwas zu gross; nach

Tabelle IIa sind für diese Ausflussmenge nur 0,2 m Druck erforderlich. Es bleibt demnach ein Überschuss von 0,164 m oder für einen Meter Leitung $\frac{0,164}{40} = 0,004$ m, was auf die Fördermenge von ganz geringem Einflusse ist, weil der Druckverbrauch für 1,0 m schon

$$\frac{12,636}{40} = 0,316 \text{ m ist.}$$

Auf diese Weise kann man also die mittels den Tabellen V erhaltenen Wassermengen umrechnen für $m = 20$ oder $m = 0,25$ und mittels dieser neuen Wassermengen erhält man aus den Tabellen II und IV die zugehörigen Druckhöhen vor der Mündung.

Zur Übung im Gebrauche der Tabellen V dienen noch folgende Aufgaben:

58. In dem Beispiele Nr. 31 ist bei Benützung eines Schlauches von 50 mm Lichtweite und 30,0 m Länge der wirksame Druck beim Eintritt in den Schlauch am Hydranten 36,4 m, die Wassermenge soll nun ermittelt werden, wenn das am Ausflussende des Schlauches vorhandene Mundstück eine Lichtweite von 15 mm hat. Nach Tabelle Vc erhält man in der Gruppe $d = 15$ mm unter $D = 50$ mm für 30 m Länge einen Mündungsdruck von $3,64 \cdot 8,26 \text{ m} = 30,0$ m. Nach Tabelle IIa ist für 1,0 m Druck bei 15,0 mm Mündung die Wassermenge 46,9 Mtl., daher für 30,0 m Druck ist

$$W = 46,9 \sqrt{30} = 257 \text{ Mtl.}$$

und nach Tabelle IV ist die Steighöhe rund 21,0 m.

Für ein Mundstück von 13 mm Lichtweite wäre nach Tabelle Vc unter Gruppe $d = 13$ mm und $D = 50$ mm

der Mündungsdruck $h_n = 3,64 \cdot 8,95 = 32,57$ m, die Wassermenge $W = 34,22 \cdot \sqrt{32,57} = 195$ Mtl. und die Steighöhe nach Tabelle IV ist 21,0 m.

Man erreicht in diesem Falle also durch Anwendung eines 13 mm weiten Mundstückes mit geringerem Wasserverbrauche dieselbe Steighöhe wie mit einem 15 mm weiten Mundstück. Wählt man ein Mundstück von 17,5 mm Lichtweite, dann ist $h_n = 3,64 \cdot 7,2 = 26,2$ m $W = 63 \cdot \sqrt{26,2} = 322$ Mtl. und die Steighöhe ist 20,0 m.

Bei vorstehender Berechnung für ein 15, 13 und 17,5 mm weites Mundstück wurde der wirksame Eintrittsdruck H_w für alle drei Fälle gleich gross angenommen, nämlich 36,4 m. Für ein 17,5 mm Mundstück fällt er aber etwas kleiner aus, weil die Wassermenge hier grösser als 200 Mtl. und für ein 15 mm weites Mundstück ist H_w ebenfalls etwas kleiner. Will man die Rechnung ganz genau durchführen, dann wiederholt man dieselbe unter Annahme eines kleineren H_w . Für ein Mundstück von 15 mm Lichtweite haben wir oben gefunden $W = 257$ Mtl. und für diese Wassermenge erhält man in der 180 m langen und 80 mm weiten Strassenleitung einen Druckverlust nach Tabelle Ia $180 \cdot 0,045 = 5,1$ m.

Für die Strassenleitung ist der Anfangsdruck 40,0 m, wovon für einen Durchfluss von 200 Mtl. 3,6 m Druckverlust abgezogen wurden, also $5,1 - 3,6$ m = 1,5 m weniger; für die Wiederholung der Rechnung nimmt man statt 1,5 nur etwa die Hälfte oder 0,8 m mehr an, so dass nun der wirksame Druck am Hydranten $H_w = 40 - 4,4 = 35,6$ wäre. Der Mündungsdruck h_n ist

dann nach Tabelle V 1. $3,56 \cdot 8,26 = 29,4$ (statt wie oben 30,0 m), $W = 46,9 \cdot \sqrt{29,16} = 254$ Mtl. (statt 257), $S = 21,0$.

Bei Anwendung des Mundstückes von $17\frac{1}{2}$ mm Weite erhielten wir oben $W = 322$ Mtl. und dafür erhält man aus Tabelle Ia einen Druckverlust in der Strassenleitung von $180 \cdot 0,045 = 6,1$ m oder $6,1 - 3,6 = 2,5$ m mehr; nimmt man für die Wiederholungsrechnung davon wieder annähernd die Hälfte oder 1,5 m, so ist jetzt $H_w = 40 - 5,1 = 34,9$ m und $h_n = 3,49 \cdot 7,2 = 25,1$ m, sowie $W = 63 \cdot \sqrt{25,1} = 315$ Mtl. und $S = 19,5$ m. Die Unterschiede dieser Ergebnisse gegenüber den oben für $H_w = 36,4$ m erhaltenen ist demnach nicht wesentlich und kann für praktische Verhältnisse im allgemeinen unberücksichtigt bleiben, doch musste hier der Weg gezeigt werden, auf welchem eine möglichst grosse Genauigkeit durch Annäherungsrechnung erreicht werden kann.

Werden mit dem Endhydranten der Sackgasse (im Beispiel 31) zwei Schläuche von 50 mm Lichtweite und je 30,0 m Länge angeschlossen und deren Strahlröhren gleichzeitig zum Wasserauswurf benützt, dann ist der wirksame Druck am Hydranten 28,0 m und das Wasser trifft daher vor den beiden Mundstücken nach Tabelle V c noch mit einer Druckhöhe ein von $2,8 \cdot 8,26 = 23,1$ m, wenn die Mundstücke eine Lichtweite von 15 mm haben. Das Wasser erreicht eine Steighöhe von 17,0 m mit 225 Mtl. Wassermenge.

In vorstehender Berechnung ist die Annahme gemacht, die Strahlröhren sich in gleicher Höhenlage mit dem Hydranten befinden; wären die Strahlröhren jedoch

in einer Höhe von 8,0 m über dem Hydranten in Tätigkeit, dann ist, wenn zwei Schläuche gleichzeitig in Gebrauch sind, der wirksame Druck am Hydranten nur $28,0 - 8,0 = 20,0$ m und der Mündungsdruck h wird nun für 15 mm weite Mundstücke $2,0 \cdot 8,26 = 16,52$ m, die Steighöhe nach Tabelle IV 13,0 m und die Wassermenge 190 Mtl.

59. In dem Beispiele Nr. 58 ist zunächst eine bestimmte Wassermenge von 200 Mtl. für jeden Schlauch angenommen, um damit den Druckverlust in der Strassenleitung, sowie den wirksamen Druck H_w bei den Hydranten zu berechnen; man kann die Lösung der gestellten Aufgabe aber auch ohne die Voraussetzung einer bestimmten Wassermenge auf folgende Weise finden. Nach Beispiel 32 besteht die Rohrleitung in der Sackgasse aus einer Strecke von 100 mm Lichtweite und 120 m Länge, an welche sich die Endstrecke von 80 mm Lichtweite und 90,0 m Länge anschliesst.

An der Verbindungsstelle dieser beiden Strecken, sowie am toten Ende der 80 mm Leitung ist je ein Hydrant angeschlossen. Es seien nun mit dem Endhydranten 2 Schläuche von 50 mm Lichtweite und je 30,0 m Länge verbunden, deren Strahlröhren Mundstücke von 15 mm Lichtweite in einer Höhe von 8,0 m über dem Hydranten tragen. Welche Wassermengen und mit welcher Steighöhe werden in diesem Falle ausgeworfen?

Nach Tabelle IIa ist für einen Mündungsdruck h_n von 1,0 m vor einer 15 mm weiten Ausflussöffnung die Wassermenge 46,9 Mtl. und nach Tabelle Ib ist der Druckverlust in einem 50 mm weiten Schlauche für 1,0 m Leitung bei 174 Mtl. Durchflussmenge gleich 0,1 m.

Bezeichnet man nun die gesuchte Wassermenge mit W und die Druckhöhe h_n mit x , den Druckverlust im Schlauche für die Durchflussmenge W und für 1,0 m Leitung mit h_1 , sowie denjenigen in der 80 mm weiten Strassenleitung mit h_2 und den in der 100 mm weiten Strecke mit h_3 und berücksichtigt, dass für die Strassenleitung nach Tabelle Ia bei 100 mm Lichtweite und 0,10 m Druckverlust 912 Mtl. bei 80 mm Lichtweite aber nur 486 Mtl. durchfliessen, dann ergeben sich folgende Gleichungen:

$$W = 46,9 \sqrt{\frac{x}{1,0}};$$

$$h_1 = \left(\frac{W}{174}\right)^2 \cdot 0,1; \quad h_2 = \left(\frac{2 \cdot W}{486}\right)^2 \cdot 0,1;$$

$$h_3 = \left(\frac{2 \cdot W}{912}\right)^2 \cdot 0,1;$$

$$h_1 = 0,1 \cdot x \cdot \left(\frac{46,9}{174}\right)^2; \quad h_2 = 0,1 \cdot x \cdot \left(\frac{93,8}{486}\right)^2;$$

$$h_3 = 0,1 \cdot x \cdot \left(\frac{93,8}{912}\right)^2.$$

Der Eintrittsdruck der Strassenleitung ist zu 40,0 m angenommen worden, demnach ist:

$$x = 40,0 - 0,1 \cdot x \cdot \left[30 \cdot \left(\frac{46,9}{174}\right)^2 + 90 \cdot \left(\frac{93,8}{486}\right)^2 + \right. \\ \left. 120 \cdot \left(\frac{93,8}{912}\right)^2 \right] - 8,0 = \\ 32 - 0,1 \cdot x \cdot [2,178 + 3,348 + 1,268]. \\ x (1 + 0,6794) = 32 \text{ und } x = 19,00 \text{ m.} \\ W = 46,9 \sqrt{19,00} = 204 \text{ Mtl.}$$

Die Steighöhe ist für $h_n = 19$ nach Tab. IV — 15,0 m.

Auf diesem Wege erhält man unmittelbar ein ganz richtiges Rechnungsergebnis.

60. Ist an der obengenannten Strassenleitung einer Sackgasse sowohl der Endhydrant, als auch der Zwischenhydrant am Ende der 100 mm weiten Leitung gleichzeitig in Benützung für Löschzwecke, indem jeder mit einem Schlauche von 50 mm Lichtweite verbunden ist; der Schlauch des Endhydranten habe eine Länge von 30,0 m mit einer Erhebung des Strahlrohres von 8,0 m über dem Hydranten, während der Schlauch des Zwischenhydranten eine Länge von 50,0 m hat und sein Strahlrohr sich 12,0 m über dem Hydranten erhebt. Die Lichtweite sei für beide Strahlrohrmündstücke 15 mm und der Eintrittsdruck in die 100 mm weite Strassenleitung sei wieder 40,0 m.

Bezeichnet W_1 den Wasserabfluss beim Endhydranten und W_2 den bei dem Zwischenhydranten und nimmt man zunächst an, dass $W_1 = W_2$, dann ist, wenn x_2 den Mündungsdruck für W_2 , h_2 den Druckverlust für 1,0 m im Schlauche des Zwischenhydranten und h_4 den Druckverlust in der 100 mm weiten Strassenleitung bezeichnet:

$$W_2 = 46,9 \cdot \sqrt{x_2};$$

$$h_2 = \left(\frac{W_2}{174}\right)^2 \cdot 0,1 \text{ und } h_4 = \left(\frac{2 \cdot W_2}{912}\right)^2 \cdot 0,1,$$

$$x_2 = 40,0 - 12,0 - \left[50 \cdot \left(\frac{46,9}{174}\right)^2 \cdot 0,1 \cdot x_2 + 120 \cdot \left(\frac{93,8}{912}\right)^2 \cdot 0,1 \cdot x_2\right] = 28,0 - [0,363 \cdot x_2 + 0,126 \cdot x_2],$$

$$x_2 [1,0 + 0,489] = 28,0; \quad x_2 = 18,8 \text{ m.}$$

$$W_2 = 46,9 \cdot \sqrt{18,8} = 203 \text{ Mlt. mit } 14,0 \text{ Steighöhe,}$$

$$h_2 = \left(\frac{203}{174}\right)^2 \cdot 0,1 = 0,136 \text{ m};$$

$$h_4 = \left(\frac{406}{912}\right)^2 \cdot 0,1 = 0,0198 \text{ m};$$

$$H_2 = 50 \cdot 0,136 = 6,80 \text{ m}$$

$$H_4 = 120 \cdot 0,0198 = 2,4 \text{ „}$$

Sa. 9,20 m,

$$x_2 = 28,0 - 9,2 = 18,8 \text{ m wie oben.}$$

Am Ende der 100 mm weiten Strassenleitung ist daher die Druckhöhe noch $40,0 - 2,4 = 37,6 \text{ m}$, und für die Leistung des Endhydranten ergibt sich nun folgende Rechnung:

$$W_1 = 46,9 \cdot \sqrt{x_1};$$

$$h_1 = \left(\frac{W_1}{174}\right)^2 \cdot 0,1 \text{ und } h_3 = \left(\frac{W_1}{486}\right)^2 \cdot 0,1,$$

$$x_1 = 37,6 - 8,0 - \left[30 \cdot \left(\frac{46,9}{174}\right)^2 \cdot 0,1 \cdot x_1 + 90 \cdot \left(\frac{46,9}{486}\right)^2 \cdot 0,1 \cdot x_1 \right] = 29,6 - [0,217 \cdot x_1 + 0,0837],$$

$$x_1 [1 + 0,3007] = 29,6; \quad x_1 = 22,75 \text{ m.}$$

$$W_1 = 46,9 \sqrt{22,75} = 223 \text{ Mtl. mit } 17,2 \text{ m Steighöhe,}$$

$$h_1 = \left(\frac{223}{174}\right)^2 \cdot 0,1 = 0,164; \quad H_1 = 30,0 \cdot 0,164 = 4,93 \text{ m}$$

$$h_3 = \left(\frac{223}{486}\right)^2 \cdot 0,1 = 0,021; \quad H_3 = 90 \cdot 0,021 = 1,92 \text{ „}$$

Sa. 6,85 m,

$$x_1 = 29,6 - 6,85 = 22,75 \text{ m wie oben.}$$

Die Voraussetzung, die bei Berechnung von x_2 gemacht wurde, dass $W_1 = W_2$ sei, trifft, wie man sieht, nicht ganz zu, indem $W_1 = 223$ und $W_2 = 203$ Mtl.

erhalten wurde. Die Genauigkeit der Rechnung wird dadurch jedoch nur sehr wenig beeinflusst, denn durch eine Vermehrung der Wassermenge W_2 um 10 bis 12 Mtl. würde der Druckverlust in der 100 mm weiten Strassenstrecke fast gar nicht verändert, weil gleichzeitig auch W_1 um einige Minutenliter kleiner würde und der Druckverlust in der 80 mm weiten Strecke würde nur unbedeutend vermindert. Durch eine Wiederholung der Rechnung unter der Annahme, dass $W_1 = W_2 \cdot 1,05$ kann man sich davon überzeugen.

In diesem Falle ist:

$$h_4 = 0,1 \cdot \left(\frac{W_2 \cdot 2,05}{912} \right)^2; H_4 = 0,1 \cdot x_2 \cdot 120 \cdot \left(\frac{2,05 \cdot 46,9}{912} \right)^2$$

und daraus erhält man

$$x_2 = \frac{28,0}{1,496} = 18,72 \text{ statt wie oben } 18,8 \text{ m.}$$

Der Druckverlust in der 100 mm Leitung

$H_4 = 0,133 \cdot 18,72 = 2,5$ m, statt wie oben 2,4 m und daraus ergibt sich der Druck am Ende der 100 mm weiten Leitung mit $40 - 2,5 = 37,5$ m, statt wie oben mit 37,6 m. Daraus ergibt sich weiter, dass

$$x_1 = \frac{29,5}{1,3007} = 22,68 \text{ statt } 22,75 \text{ m,}$$

$W_1 = 46,9 \sqrt{22,65} = 223$ Mtl. wie oben, mit 17,0 m Steighöhe.

$W_2 = 46,9 \sqrt{18,72} = 203$ Mtl. wie oben, mit 14,0 m Steighöhe.

$W_1 = 1,09 \cdot W_2$ statt, wie angenommen, $1,05 W_2$.

61. Ist die Strecke der Strassenleitung von 120 m Länge statt 100 mm nur 80 mm weit, dann ist

$$h_4 = \left(\frac{2,05 \cdot W_2}{486} \right)^2 \cdot 0,1, \text{ wenn } W_1 = 1,09 W_2,$$

dann folgt:

$$x_2 = 40,0 - 12,0 - \left[50 \cdot \left(\frac{46,9}{174} \right)^2 \cdot 0,1 \cdot x_2 + 120 \cdot \left(\frac{2,09 \cdot W_2}{486} \right)^2 \cdot 0,1 \cdot x_2 \right]$$

$$x_2 = 28,0 - [0,363 x_2 + 0,482 \cdot x_2] = 28 - x_2 \cdot 0,845;$$

$$x_2 = \frac{28,0}{1,831} = 15,2,$$

$W_2 = 46,9 \sqrt{15,2} = 183$ Mtl. mit 12,4 m Steighöhe,

$$h_4 = \left(\frac{2,09 \cdot 183}{486} \right)^2 \cdot 0,1 = 0,0595 \text{ und } H_4 = 7,4 \text{ m.}$$

Am Ende der 120 m langen Strecke ist demnach der Wasserdruck nur noch $40,0 - 7,4 = 32,6$ m und

$$x_1 = 32,6 - 8,0 - 0,3007 x_1,$$

$$x_1 = \frac{24,6}{1,3007} = 18,88.$$

$W_1 = 46,9 \cdot \sqrt{18,88} = 203$ Mtl. = $1,1 \cdot 183$ mit 14,0 m Steighöhe.

Durch die geringere Lichtweite der 120 m langen Strecke (80 mm statt 100 mm) ist demnach die Löschwirkung des Wassers nicht unerheblich geschwächt worden; in der Wasserlieferung um etwa 20 Mtl. und in der Steighöhe um 3,0 m.

62. Die im Beispiel Nr. 34 gestellte Aufgabe kann nun auch in folgender Weise gelöst werden:

Bei Benützung eines Giebelhydranten und des benachbarten Fronthydranten mit je zwei Schläuchen von 50 mm Lichtweite, wovon die des Giebelhydranten

40,0 m und die des Fronthydranten 60,0 m Länge haben mit einer Erhebung der Strahlröhren über die Hydranten von 16,0 m, sowie einem Betriebsdruck am Beginne der beiden Endpunkte der Strassenleitung von 40,0 m, erhält man folgende Beziehungen:

Die Lichtweite der Strahlrohrmundstücke sei 15 mm, welche Wassermenge wird durch dieselben ausgegossen und mit welcher Steighöhe?

Es bezeichnet x_1 die Druckhöhe vor der Mündung der Strahlröhren des Fronthydranten und x_2 die Druckhöhe vor der Mündung der Strahlröhren des Giebelhydranten; H_1 der Gesamtdruckverlust in einem der Schläuche des Fronthydranten und H in den Schläuchen des Giebelhydranten. H_3 der Druckverlust in der Strassenleitung von 125 mm Lichtweite und 500 m Länge, H_4 derjenige in der Hofleitung von 125 mm Lichtweite und 150 m Länge, H_5 derjenige in der Zuleitung zum Fronthydranten von 100 mm Lichtweite und 50,0 m Länge, sowie H_6 den Druckverlust in der Zuleitung zum Giebelhydranten von 80 mm Lichtweite und 100 m Länge, dann erhält man:

$$x_1 = 40 - 16 - [H_3 + H_4 + H_5 + H_1],$$

$$x_2 = 40 - 16 - [H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_2].$$

Bezeichnet W_1 und W_2 die von den Strahlröhren ausgeworfenen Wassermengen, so hat der Fronthydrant $2 \cdot W_1$, der Giebelhydrant $2 \cdot W_2$ Mtl. zu liefern. Da einerseits der Druckverlust in der Zuleitung für den Giebelhydrant grösser ist als für den Fronthydrant, andererseits aber der Druckverlust in den 60 m langen Schläuchen des Fronthydranten grösser ist als in denen des Giebelhydranten, so kann man zunächst $W_1 = W_2$ annehmen;

da ferner nach Tabelle II a für eine 15 mm weite Ausflussöffnung unter 1,0 m Druck die Ausflussmenge 46,9 Mtl. ist, so erhält man

$$W_1 = 46,9 \cdot \sqrt{x_1} \text{ und } W_2 = 46,9 \sqrt{x_2}.$$

Für die Schläuche von 50 mm Lichtweite ist nach Tabelle I b der Druckverlust 0,1 m auf 1,0 m Leitung die Durchflussmenge 174 Mtl., daher ist

$$h_1 = \left(\frac{W_1}{174}\right)^2 \cdot 0,1 = 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{46,9}{174}\right)^2 \text{ und}$$

$$h_2 = \left(\frac{W_2}{174}\right)^2 \cdot 0,1 = 0,1 \cdot x_2 \cdot \left(\frac{46,9}{174}\right)^2.$$

Für die Zuleitungen erhält man aus Tabelle I a mit einem Druckverlust von 0,1 m auf 1,0 m Leitung folgende Wassermengen:

bei 125 mm Lichtweite 1704 Mtl.

„ 100 „ „ 912 „

„ 80 „ „ 486 „

woraus sich ergibt:

Der Druckverlust H_3 in der Strassenleitung ist mit Rücksicht darauf zu berechnen, dass hier das Wasser von zwei Seiten der Abzweigstelle der Hofleitung zuströmt; von der einen Seite hat es nur einen Weg von 200 m, von der anderen aber von 300 m zurückzulegen, muss aber mit gleicher Druckhöhe an dieser Abzweigstelle eintreffen, weshalb in beiden Zufussrichtungen der Druckverlust gleich gross sein muss oder $300 \cdot y = 200 z$, wenn y und z die Druckverluste für 1,0 m Leitung bezeichnen, sowie w_1 und w_2 die Wassermenge dabei. Es ist aber:

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{300}{200}}; \quad w_1 = w_2 \sqrt{1,5} = 1,2274 w_2$$

$$w_1 + w_2 = 4 W_1, \text{ daher } w_2 = 4 W_1 - 1,2274 w_2$$

$$w_2 (1 + 1,2274) = 4 W_1 \text{ und } W_2 = \frac{4 W_1}{2,2274} = 1,8 \cdot W_1$$

$$w_1 = 2,2 \cdot W_1.$$

Der Druckverlust auf beiden Teilstrecken ist daher:

$$h_3 = 300 \cdot 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{1,8 \cdot 46,9}{1704} \right)^2 =$$

$$200 \cdot 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{2,2 \cdot 46,9}{1704} \right)^2.$$

Der Druckverlust in der Hofleitung von 125 Lichtweite ist

$$150 \cdot 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{4 \cdot 46,9}{1704} \right)^2 = h_4.$$

Derjenige in der 100 mm weiten Zuleitung

$$50 \cdot 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{4 \cdot 46,9}{912} \right)^2 = h_5$$

und in der 80 mm weiten Strecke

$$100 \cdot 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot 46,9}{486} \right)^2 = h_6.$$

Als Hauptgleichungen erhält man jetzt:

$$x_1 = 24 - 0,1 \cdot x_1 \left[300 \cdot \left(\frac{1,8 \cdot 46,9}{1704} \right)^2 + \right.$$

$$\left. 150 \cdot \left(\frac{4 \cdot 46,9}{1704} \right)^2 + 50 \cdot \left(\frac{4 \cdot 46,9}{912} \right)^2 + 60 \cdot \left(\frac{46,9}{174} \right)^2 \right],$$

$$x_1 = 24 - 0,1 \cdot x_1 [300 \cdot 0,00254 + 150 \cdot 0,0114 +$$

$$50 \cdot 0,0385 + 60 \cdot 0,0726],$$

$$x_1 = 24 - 0,1 \cdot x_1 [0,762 + 1,71 + 1,925 + 4,356],$$

$$x_1 = 24 - 0,1 \cdot x_1 \cdot 8,773 \text{ und } x_1 = \frac{24}{1,8773} = 12,78 \text{ m.}$$

$$x_2 = 24 - 0,1 \cdot x_2 \left[0,762 + 1,71 + 1,925 + 100 \cdot \left(\frac{2 \cdot 46,9}{486} \right)^2 + 40 \cdot \left(\frac{46,9}{174} \right)^2 \right],$$

$$x_2 = 24 - 0,1 \cdot x_2 [4,397 + 3,72 + 2,904],$$

$$x_2 = 24 - 0,1 \cdot x_2 \cdot 11,02; \quad x_2 = \frac{24}{2,102} = 11,4 \text{ m.}$$

$$W_1 = 46,9 \cdot \sqrt{x_1} = 167 \text{ Mtl. mit } 10,5 \text{ m Steighöhe,}$$

$$W_2 = 46,9 \cdot \sqrt{x_2} = 158 \text{ Mtl. mit } 9,8 \text{ m Steighöhe.}$$

Die Wassermengen sind demnach in der Tat annähernd gleich gross; der kleine Unterschied von 9 Mtl. ist von keiner beachtenswerten Bedeutung. —

63. Das in den vorhergehenden Beispielen 61 und 62 angenommene Fabrikgebäude sei auch im Innern mit Hydranten ausgerüstet, indem von der Zuleitung von 125 m Lichtweite im Hofe eine Leitung von 100 mm Lichtweite abgezweigt ist. Diese Zweigleitung teilt sich im Keller in zwei horizontale Strecken, von deren einander entgegengesetzten Enden zwei Steigröhren bis in den Dachraum sich erheben, wo sie mit einem Feuerhahne abschliessen.

Die Zuleitung vom Hofe bis in den Keller habe bei 100 mm Lichtweite eine Länge von 50 m, während die 80 mm Leitung vom Keller bis zum Feuerhahne im Dachraume eine Länge von 30,0 m hat. Die Feuerhähne befinden sich in einer Höhe von 16,0 m über der Strasse und sind mit 50 mm weiten und 15,0 m langen Schläuchen verbunden, deren Strahlröhren ein Mundstück von 12 mm Lichtweite tragen.

Bei Benützung eines Feuerhahnes mit einem

Schlauche ist für den Mündungsdruck x_1 die Wassermenge $W_1 = 30,0 \sqrt{x_1}$ (siehe Tabelle II a), wonach man für die Druckverluste in den Zuleitungen folgende Werte erhält.

Für die Strassenleitung sei hier der Einfachheit wegen $\frac{W_1}{2}$ für 500 m Länge angenommen; dann ist

$$h_3 = 500 \cdot 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{15}{1704}\right)^2, \quad H_4 = 150 \cdot 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{30}{1704}\right)^2$$

$$H_5 = 50 \cdot 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{30,0}{912}\right)^2, \quad H_6 = 30 \cdot 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{30,0}{486}\right)^2$$

$$\text{und } H_1 = 15,0 \cdot 0,1 \cdot x_1 \cdot \left(\frac{30}{174}\right)^2.$$

$$\begin{aligned} x_1 &= 40 - 16 - [H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_1] \\ &= 24 - [0,00385 + 0,00465 + 0,00541 + \\ &\quad 0,001 + 0,003] x_1 \\ &= 24 - 0,0179 \cdot x_1; \end{aligned}$$

$$x_1 = \frac{24}{1,0179} = 23,5 \text{ m.}$$

$W_1 = 30,0 \cdot \sqrt{23,5} = 145$ Mtl. mit 16,2 m Steighöhe.

Werden die beiden Feuerhähne mit je einem Schlauche benützt, dann hat man

$$\begin{aligned} x_1 &= 24 - x_1 \cdot 0,1 \left[500 \cdot \left(\frac{30}{1704}\right)^2 + 150 \cdot \left(\frac{60}{1704}\right)^2 + \right. \\ &\quad \left. 50 \cdot \left(\frac{60}{912}\right)^2 + 30 \cdot \left(\frac{30}{486}\right)^2 + 15 \cdot \left(\frac{30}{174}\right)^2 \right] \\ &= 24 - x_1 \cdot [0,01540 + 0,01860 + 0,02164 + \\ &\quad 0,001 + 0,003] \\ &= 24 - 0,0596 x_1; \end{aligned}$$

$$x_1 = \frac{24}{1,0596} = 22,66 \text{ m.}$$

$W_1 = 30 \cdot \sqrt{22,60} = 142$ Mtl. mit 15,7 m Steighöhe.

Wäre mit dem ersten Feuerhahn nur ein Schlauch, mit dem zweiten aber zwei Schläuche verbunden, dann ist:

$$\begin{aligned} x_1 &= 24 - x_1 \cdot [9 \cdot (0,00385 + 0,00465 + 0,00941) + \\ &\quad 0,001 + 0,003] \\ &= 24 - x_1 \cdot 0,1292; \end{aligned}$$

$$x_1 = \frac{24}{1,1292} = 21,2 \text{ m.}$$

$W_1 = 30 \cdot \sqrt{21,2} = 138$ Mtl. mit 15,0 m Steighöhe.

$$\begin{aligned} x_2 &= 24 - x_2 [0,1252 + 0,004 + 0,012] \\ &= 24 - 0,1412 \cdot x_2; \end{aligned}$$

$$x_2 = \frac{24}{1,1412} = 21,0 \text{ m.}$$

$W_1 = 30 \cdot \sqrt{21,0} = 134$ Mtl. mit 14,8 m Steighöhe.

Wären beide Feuerhähne mit je 2 Schläuchen von je 15 m Länge verbunden und die 4 Schläuche gleichzeitig in Benützung, dann ist

$$x_1 = x_2 = 24 - x_1 [16 \cdot (0,00385 + 0,00465 + 0,00541 + 4 (0,001 + 0,003))]$$

$$x_1 = 24 - x_1 \cdot 0,2385;$$

$$x_1 = \frac{24}{1,2385} = 19,3 \text{ m.}$$

$W_1 = W_2 = 30 \cdot \sqrt{19,3} = 132$ Mtl. mit 14,0 m Steighöhe.

Besteht die Zuleitung zu den Feuerhähnen in ihrer ganzen Ausdehnung von 80 m, nur aus Röhren mit 80 mm Lichtweite und sind mit einem Feuerhahne zwei Schläuche von je 15,0 m Länge verbunden und diese 4 Schläuche gleichzeitig in Benützung, dann ist der Rechnungsansatz für

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 24 - x_1 [16 [0,00385 + 0,00465 + \\
 &\quad 50 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{30}{486}\right)^2] + 4 (0,001 + 0,003)] \\
 &= 24 - x_1 \cdot [16 \cdot (0,00385 + 0,00465 + \\
 &\quad 0,0190) + 0,016] \\
 &= 24 - x_1 \cdot 0,456;
 \end{aligned}$$

$$x_1 = \frac{24}{1,456} = 16,5 \text{ m.}$$

$W_1 = 30 \cdot \sqrt{16,5} = 122 \text{ Mtl.}$ mit 12,9 m Steighöhe.

Durch die Verminderung der Rohrlichtweite von 100 zu 80 mm auf nur 50,0 m Länge wird demnach die Löschwirkung der Feuerhähne schon wesentlich beeinträchtigt.

64. Bei der Feuerwehr sind Strahlröhren vielfach in Gebrauch, die mit einer Vorrichtung versehen sind, wodurch über dem in der Nähe eines Feuerherdes stehenden Strahlrohrführer ein sogenannter Wasserschleier gebildet werden kann. Es sei z. B. das Strahlrohr zu diesem Zwecke mit einer mittleren Mündung von 15 mm Lichtweite für Vollstrahl und mit 20 Öffnungen von je 1 mm Lichtweite, die im Kreise um die Mittelöffnung gestellt sind, versehen. Die Schlauchleitung von 50 mm Lichtweite und 40,0 m Länge sei mit einem Strassenhydranten verbunden, wo der Betriebsdruck der Wasserleitung 40,0 m betrage; dieser Betriebsdruck sei ferner bei Benützung nur eines Hydranten unveränderlich und die Strahlrohrmündung befinde sich 12,0 m über dem Hydranten.

Der wirksame Druck am Hydranten ist darnach $40 - 12 = 28,0 \text{ m}$ und nach Tabelle Vc ist in diesem

Falle der Mündungsdruck, wenn man den Querschnitt der kleinen Öffnungen nicht berücksichtigt, $0,782 \cdot 28 = 21,8$ m. Nach Tabelle II b ist für diesen Druck die Ausflussmenge für den Vollstrahl 215 Mtl. und für den Wasserschleier $20 \cdot 0,90 = 18$ Mtl., der Gesamtwassererguss 233 Mtl. Nach Tabelle IV ist dabei die Steighöhe für den Vollstrahl 15,7 m, für die Strahlen des Wasserschleiers 3,3 m. Würden die einzelnen Öffnungen für die Schleierstrahlen eine Lichtweite von 2 mm erhalten, dann wäre nach Tabelle IV der Gesamt-Mündungsquerschnitt der 20 Öffnungen: $20 \cdot 3,14 = 62,8$ qmm, der Querschnitt des Vollstrahles ist 176 qmm, die Summe beider 238,8 qmm oder gleich dem Querschnitte eines Vollstrahles von $17\frac{1}{2}$ mm Durchmesser. Für diese Strahlstärke ist nach Tabelle V c der Mündungsdruck $0,659 \cdot 28 = 18,4$ m, der Wasserauswurf ist $200 + 20 \cdot 3,52 = 270$ Mtl., die Steighöhe für den Vollstrahl 14,8 m, für die Schleierstrahlen 5,5 m.

Verengt man nun die Mündung des Vollstrahles auf 12 mm Durchmesser, dann ist der Gesamt-Mündungsquerschnitt $113 + 20 \cdot 3,14 = 175,8$ qmm, welcher einer Lichtweite von 15 mm entspricht.

Für $d = 15$ mm ist nach Tabelle V c der Mündungsdruck $0,782 \cdot 28 = 21,8$ m, wie oben bei Schleierstrahlen von 1 mm Durchmesser, wenn man deren Mündungsquerschnitt nicht berücksichtigt. Die Steighöhe ist jedoch hier für den 12 mm starken Vollstrahl 16,4 m, für die Schleierstrahlen von 2 mm Durchmesser 5,7 m, und der Gesamt-Wassererguss $138 + 20 \cdot 3,86 = 215$ Mtl. —

65. Einen wesentlichen Bestandteil der Löscheinrichtungen in den Theatern bildet das sogenannte

„Regensystem“, das aus mehreren parallelen Reihen gelochter Wasserröhren besteht, welche sich oberhalb der Soffiten quer über die Bühne erstrecken. Ein solches Regensystem bestehe, wie es auch in Beispiel Nr. 35 beschrieben ist, aus 10 Einzelröhren mit je 480 Löchern von 1,5 mm Lichtweite, das Regensystem werde durch eine im unteren Bühnenraume aufgestellte Pumpe, die von einem Elektromotor angetrieben wird, gespeist und zwar, so wohl mittelbar durch einen Wasserbehälter, als auch unmittelbar. Zur grösseren Sicherheit ist das Regensystem aber auch mit der Städt. Wasserleitung von zwei Seiten verbunden; die Pumpenanlage sowohl, als auch die Verbindung mit der Wasserleitung sind derart bemessen, dass jede Anlage für sich allein im Stande ist, das Regensystem unmittelbar zu speisen, wenn es in Tätigkeit gesetzt ist. Für eine Lichtweite von 1,5 mm der einzelnen Öffnungen der Regenröhren ergibt sich nach Beispiel Nr. 35 bei 2,0 m Mündungsdruck ein Wasserguss von 3000 Mlt.

Für die Zuleitung dieser Wassermenge aus dem Stadtrohrnetz müsste ein Zuleitungsrohr von 250 mm Lichtweite nach dem unteren Bühnenraume geführt werden; bei dieser Lichtweite wäre die normale Durchflussgeschwindigkeit von 1,02 m vorhanden, und der Druckverlust auf 1,0 m Leitung wäre nur 0,00667 m, also unerheblich.

Im unteren Bühnenraume wäre eine Ringleitung anzulegen, von welcher 6 Steigröhren sich erheben bis zur Höhe des Regensystems, wo sie wieder in eine Ringleitung münden, die andererseits mit den beiden Enden der einzelnen Regenröhren verbunden ist. Durch diese

Anordnung von Ringleitungen und Steigröhren wird eine möglichst gleichmässige Verteilung des Wassers auf alle Regenröhren erreicht. Die Ringleitung erhält eine Lichtweite von 175 mm, womit die Hälfte der Zuflussmenge von 3000 Mtl. mit 1,07 m Geschwindigkeit und 0,0125 m Druckverlust gefördert werden kann. Diese Steigröhren erhalten eine Lichtweite von je 100 mm, so dass darin die Durchflussmenge 500 Mtl. mit 1,10 m Geschwindigkeit und 0,0333 m Druckverlust für 1,0 m Leitung betragen würde.

Jede Ringleitung habe eine Länge von 80 m, so dass der Druckverlust darin höchstens $2.80.0,0125 = 2,0$ m erreicht; die Steigröhren haben je eine Länge von 20,0 m, wofür sich ein Druckverlust von 0,7 m ergibt, so dass man im Ganzen mit einem Druckverlust von 3,0 m rechnen muss. Die Höhenlage des Regensystems ist 22,0 m über der Strasse und der Betriebsdruck in der Strassenleitung 35,0 m und da ferner das Wasser in den Regenröhren noch einen Überdruck von 2,0 m haben soll, so bleibt noch ein Drucküberschuss von

$$35 - (22,0 + 3 + 2,0) = 8,0 \text{ m.}$$

Der mittlere Kolbenstand der Pumpe befindet sich 22,0 m unter dem Regensystem und das Steigrohr erhebt sich bis über den höchsten Wasserstand im Wasserbehälter, also auf eine senkrechte Höhe von 25,0 m; es erhält ebenfalls eine Lichtweite von 250 mm, wie auch das Saugrohr das aus 5,0 m Tiefe saugt. Das Druckrohr der Pumpe ist mit den beiden Ringleitungen verbunden; die Länge des Druckrohres bis in den Wasserbehälter, einschliesslich des Saugrohres beläuft sich auf 50,0 m, wodurch man einen Druckverlust von $50,0.0,00667 =$

0,3335 m erhält oder mit den Druckverlusten in der Pumpe rund 1,0 m. Die Gesamt-Saug- und Druckhöhe ist demnach $25 + 5 + 1 = 31,0$ m, und die Arbeitsleistung der Pumpe zur Förderung von 3000 Mtl. ist

$$A = \frac{3000 \cdot 31}{60 \cdot 75} = 21 \text{ Pferdestärken Nutzleistung.}$$

66. In neuerer Zeit wird auf einzelnen Theaterbühnen während der Spielzeit zwischen den Kulissen eine Brause bereit gehalten, die durch einen Spiralschlauch mit dem nächsten Wasserleitungsrohr verbunden ist. Durch Öffnen eines Ventiles kann die Brause sofort ihre Wasserstrahlen in Bogen über einen brennenden Gegenstand auf der Bühne ergießen.

Ist der Druck in der Wasserleitung an der Verbindungsstelle mit dem Schlauche 30,0 m, die Länge des 50 mm weiten Schlauches sei 15,0 m und die Brause, welche 2,0 m höher als die Verbindungsstelle der Wasserleitung liegt, habe 100 Strahlöffnungen von 1 mm Lichtweite mit einem Gesamt-Mündungsquerschnitt von 78,5 qmm, der einem Durchmesser von 10 mm entspricht. Für $d = 10$ mm erhält man einen Mündungsdruck in diesem Falle nach Tabelle V c von $28 \cdot 0,979 = 27,4$ m, wonach aus Tabelle II b man einen Wassererguss von $100 \cdot 1,0 = 100$ Mtl. erhält mit einer Steighöhe der Strahlen (siehe Tabelle IV) von 3,4 m.

Für eine Brause mit 25 Öffnungen von je 2 mm Lichtweite entspricht deren Gesamt-Mündungsquerschnitt auch einem Durchmesser von 10 mm; man erhält daher auch hiermit einen Mündungsdruck von 27,4 m und eine Gesamtwassermenge von etwa 100 Mtl., die Steighöhe der Wasserstrahlen ist jedoch 6,20 m.

67. Das Hauptgesims einer Kirche befinde sich in einer Höhe von 20,0 m über der Strasse und bei einem Brande im Dachraume der Kirche sollen die Löscharbeiten mit Hilfe der Städt. Wasserleitung bewirkt werden, die einen Betriebsdruck während der Hydrantenbenutzung von 35,0 m zeigt. Von den Hydranten ist bis zum Hauptgesimse eine Schlauchleitung von 50,0 m Länge erforderlich, welche 50 mm Lichtweite haben und mit einem Strahlrohrmundstück von 15 mm Lichtweite ausgerüstet sein soll.

Der wirksame Druck am Hydranten ist $H_w = 35 - 20 = 15,0$ m und darnach ist der Mündungsdruck $h_n = 15 \cdot 0,741 = 11,1$ m (siehe Tabelle V c); der Wasserauswurf ist nach Tabelle II b 155 Mlt. und die Steighöhe nach Tabelle IV 9,5 m. Mit einem solchen Wasserstrahle könnte man jedoch mit Rücksicht auf die räumliche Ausdehnung des Dachraumes einer Kirche keine grosse Löschwirkung erzielen.

Würde man aber im Kirchturme in einer Höhe von 32,0 m über der Strasse oder 12,0 m über dem Hauptgesimse einen Wasserbehälter mit 10 cbm Wasserfassung aufstellen, dann könnte das Wasser wirksamer benützt werden. Die Zu- und Steigleitung zu diesem Sammelbehälter erhalte eine Länge von 70,0 m, eine Lichtweite von 80 mm und ihre Ausmündung im Behälter liege 33,0 m über der Strasse, weshalb der wirksame Druck = 2,0 m. Nach Tabelle V c erhält man für eine Lichtweite der Auslauföffnung über dem Behälter von 80 mm, gleich der Rohrweite, bei 70,0 m Länge einen Mündungsdruck von $0,035 \cdot 2 = 0,07$ m. Nach Tabelle II a ist für einen Mündungsdruck von 1,0 m die

Ausgussmenge 1336 Mtl., daher für 0,07 m Druck

$1336 \cdot \sqrt{\frac{0,07}{1,0}} = 352$ Mtl. Die Füllung des leeren

Wasserbehälters könnte also in $\frac{10000}{352} = 28$ Mt. bewirkt

sein. Die Länge der Schlauchleitung ist in diesem Falle nur 25,0 m und der wirksame Druck wenigstens 12,0 m; dafür erhält man, wenn $d = 15$ mm und $D = 50$ mm aus Tabelle Vc einen Mündungsdruck von $12 \cdot 0,852 = 10,22$ m; also etwas weniger als bei unmittelbarer Verbindung des Schlauches mit dem Strassenhydranten.

Um eine grössere Leistung zu erreichen müsste der Wasserbehälter so hoch aufgestellt werden als es der Betriebsdruck zur Zeit des geringsten Wasserverbrauches in der Nacht gestattet. Beträgt der Betriebsdruck zu dieser Zeit 45,0 und stellt man den Behälter in 42,0 m Höhe mit 43,0 m Höhe des Auslaufes darin, dann ist die Länge des Steigrohres 80 m, der wirksame Druck ebenfalls 2,0 m und nach Tabelle Vc der Mündungsdruck vor dem 80 mm weiten Auslaufe $2 \cdot 0,03 = 0,06$ m und der Wassererguss 227 Mtl., womit der entleerte Behälter in $\frac{10000}{227} = 44$ Mt. gefüllt werden kann. Für die 25,0 m

lange Schlauchleitung ist der wirksame Druck 22,0 m und der Druck vor dem Strahlrohrmundstück $22 \cdot 0,852 = 18,7$ m mit einem Wasserauswurf von 200 Mtl. und einer Steighöhe von 13,5 m.

Hätte das Strahlrohrmundstück eine Lichtweite von 17,5 mm, dann wäre der Mündungsdruck $0,755 \cdot 22 = 16,6$ m, der Wasserauswurf 250 Mtl. mit 13,5 m Steighöhe.

Für ein 12 mm weites Mundstück ist $h_n = 22.0,933 = 20,5$ m; der Wassererguss 140 Mtl. mit 15,0 m Steighöhe.

Bei einem Wasserverbrauche von 200 Mtl. wäre der Wasserbehälter in $\frac{10000}{200} = 50$ Mt. entleert, wenn unterdessen kein Zulauf in denselben möglich wäre. Man könnte also immerhin fast während einer Stunde mit wesentlich erhöhter Löschwirkung einen kräftigen Wasserstrahl dem Feuer entgegenwerfen.

68. Häufig werden auch die Steigleitungen der Hauswasserleitungen in einer Lichtweite von 25 mm bis in den Dachraum fortgesetzt und dort mit einem Feuerhahne von 25 mm Durchgangsweite ausgerüstet.

Hat die Zu- und Steigleitung vom Strassenrohr bis zum Feuerhahne eine Länge von 40,0 m, liegt der Feuerhahn 18,0 m über der Strasse, wo in der Wasserleitung ein Betriebsdruck von 35,0 m vorhanden, ist ferner mit dem Feuerhahne ein 5,0 m langer Schlauch von 25 mm Lichtweite verbunden, dessen Strahlrohr eine Mündung von 7 mm besitzt, dann erhält man folgende Leistung:

$H_w = 35 - 18 = 17,0$ m. Nach Tabelle Va ist für $d = 7$, $D = 25$ mm und Länge $= 40 + 5 = 45$ m. Der Mündungsdruck $h_n = 17.0,578 = 9,8$ m, der Wassererguss $W = 30$ Mtl. mit 7,0 m Steighöhe (Tabelle IV).

Für eine Lichtweite des Strahlrohrmundstückes von 10 mm wäre der Mündungsdruck $h_n = 17.0,247 = 4,2$ m, $W = 43,0$ Mtl. mit 3,6 m Steighöhe.

69. Die kleine Druckspritze im Beispiel Nr. 36 (S. 33) liefert bei 55 Kolbenhüben 120 Mtl. Wasser. Sie sei mit einem Druckschlauche von 40 mm Lichtweite und 20,0 m Länge verbunden, dessen Strahlrohr 8,0 m über den Windkessel der Pumpe sich erhebt. Nach Tabelle Ib beträgt der Druckverlust in dem 20,0 m langen Schlauche $20 \cdot 0,2 = 4,0$ m. Kommt nun z. B. ein 10 mm weites Mundstück zur Anwendung, so ist nach Tabelle IIb ein Mündungsdruck von 35,0 m erforderlich, wenn 120 Mtl. Wasser ausgeworfen werden sollen. Im Windkessel der Spritze muss daher ein Druck von $35,0 + 8,0 + 4,0 = 47,0$ m vorhanden sein; ist die Höhe des Windkessels über dem Saugwasserspiegel einschliesslich Druckverlust 7,0 m, dann ist die Gesamtförderhöhe 54,0 m und die Arbeitsleistung

$$\frac{120 \cdot 54}{60} = 108 \text{ Sekunden-Kilgr.-Meter,}$$

wozu eine Bedienungsmannschaft von 8 Mann erforderlich ist.

Stehen jedoch nur 6 Mann zur Verfügung mit einer Arbeitsleistung von $6 \cdot 14 = 84$ Kilgr.-Meter in der Sekunde, dann darf die Gesamtförderhöhe nur betragen:

$$\frac{84 \cdot 60}{120} = 42 \text{ m, wovon } 7,0 + 8,0 + 4,0 = 19,0 \text{ m}$$

unveränderliche Grössen sind und der Mündungsdruck daher nur $42 - 19 = 23$ m betragen darf. Nach Tabelle IIb liefert ein Mundstück von 11 mm Lichtweite unter 23,0 m Druck 121 Mtl.

70. Im Beispiel 38 (S. 34) ist eine Spritze angeführt, welche 340 Mtl. Wasser zu liefern vermag, die Spritze ist mit einem 60 mm weiten und 30,0 m langen

Schlauche verbunden, dessen Strahlrohr 10,0 m über dem Windkessel der Spritze liegt; der Windkessel liegt 6,0 m über dem Saugwasserspiegel und das Saugrohr hat eine Länge von 10,0 m und 60 mm Lichtweite.

Für eine Förderung von 340 Mtl. erhält man nach Tabelle Ib in dem Schlauche einen Druckverlust

$$(30 + 10) = 40 \cdot 0,131 = 5,24 \text{ m oder } 5,5 \text{ m.}$$

Nach Tabelle IV erhält man für einen Wasserauswurf von annähernd 340 Mtl. bei verschiedenen Mundstückweiten folgende Steighöhen:

$$d = 14 \text{ mm, } h_n = 70 \text{ m, } S = 34,0 \text{ m.}$$

$$d = 15 \text{ „ } h_n = 55 \text{ „ } S = 31,0 \text{ „}$$

$$d = 16 \text{ „ } h_n = 40 \text{ „ } S = 26,7 \text{ „}$$

$$d = 17 \text{ „ } h_n = 33,0 \text{ „ } S = 23,5 \text{ „}$$

$$d = 18 \text{ „ } h_n = 25,0 \text{ „ } S = 19,8 \text{ „}$$

$$d = 19 \text{ „ } h_n = 20,0 \text{ „ } S = 16,7 \text{ „}$$

$$d = 20 \text{ „ } h_n = 17,5 \text{ „ } S = 15,0 \text{ „}$$

$$d = 21 \text{ „ } h_n = 14,0 \text{ „ } S = 12,0 \text{ „}$$

$$d = 23 \text{ „ } h_n = 10,0 \text{ „ } S = 9,0 \text{ „}$$

Diesen verschiedenen Werten entsprechend erhält man folgende verschiedene Arbeitsleistungen mit der nötigen Anzahl Bedienungsmannschaft, in dem man die Gesamtförderhöhe setzt

$$H = h_n + 10 + 5,5 + 6,0 = h_n + 21,5 \text{ m.}$$

$$d = 14; A = \frac{340 \cdot 91,5}{60} = 520 \text{ — Z = 32—36}$$

$$d = 15; A = \frac{340 \cdot 76,5}{60} = 434 \text{ — Z = 28—32}$$

$$d = 16; A = \frac{340 \cdot 61,5}{60} = 348 \text{ — Z = 22—26}$$

	Kilgr.-Meter	Mann
$d = 17$; A =	$\frac{340 \cdot 54,5}{60} = 310$	Z = 20—22
$d = 18$; A =	$\frac{340 \cdot 46,5}{60} = 264$	Z = 18
$d = 19$; A =	$\frac{340 \cdot 41,5}{60} = 235$	Z = 16
$d = 20$; A =	$\frac{340 \cdot 38,5}{60} = 218$	Z = 16
$d = 21$; A =	$\frac{340 \cdot 35,5}{60} = 200$	Z = 14
$d = 23$; A =	$\frac{340 \cdot 31,5}{60} = 178$	Z = 14

71. Verbindet man mit derselben Spritze zwei Schläuche von 50 mm Lichtweite und 30 m Länge, dann hat jeder bei gleichzeitiger Speisung 170 Mtl. zu fördern, wofür man nach Tabelle Ib einen Druckverlust von $30 \cdot 0,1 = 3,0$ m erhält und die Gesamtförderhöhe ist nun 19,0 m.

Nach Tabelle IV erhält man nun für verschiedene Lichtweiten folgende Werte, für hn, S, A und Z.

$d = 10$ mm, 11 mm, 12 mm, 13 mm, 14 mm, 15 mm, 16 mm.

hn	65,0 m	45,0 m	34,0 m	25,0 m	18,0	13,0	10
S	26,0 "	23,0	21,0	17,7 "	13,6	10,5	8,8
A	476	362	300	256	210	160	140
Z	30—34	22—26	18—22	16—18	14—16	10—12	10

71 a. Die Druckspritze, welche in der vorhergehenden Nr. 70 in Betracht kommt, liefert bei 55 Doppelhüben 340 Mtl. Wasser; werden aber nur 40 Doppelhüben gemacht, dann ist die Wasserförderung nur

$$340 \cdot \frac{40}{55} = 247 \text{ Mtl.}$$

und der Druckverlust in der 30 m langen und 60 mm weiten Schlauchleitung nach Tab. Ib ist $40 \cdot 0,07 = 2,8$ m. Hierzu die Saug- und Steighöhe mit $6 + 10 = 16,0$ m, erhält man eine Gesamtförderhöhe von $H = h_n + 18,8$ m. Für ein 20 mm weites Mundstück ist demnach der Mündungsdruck bei einem Wassererguss von 247 Mtl. nach Tabelle II a $h_n = 9,0$ m mit 8,0 m Steighöhe. Die Gesamtförderhöhe ist 27,8 m, der Druck im Windkessel 21,8 m, der wirksame Druck hier aber nur

$$21,8 - [10 \cdot 0,07 + 10,0] = 11,1 \text{ m}$$

und dafür erhält man aus Tabelle Vc wieder den Mündungsdruck $h_n = 0,808 \cdot 11,1 = 9,0$ m, wie oben auch berechnet wurde.

Die Arbeitsleistung ist in diesem Falle

$$\frac{247 \cdot 27,8}{60} = 114 \text{ Kilgr.-Meter,}$$

wofür 8 Mann an der Pumpe genügen.

72. Die in Nr. 70 u. 71 angeführte Spritze mit 340 Mtl. Höchstlieferung soll derartig in Tätigkeit erhalten werden, dass bei Verbindung mit 2 Schläuchen von je 30,0 m Länge und 50 mm Lichtweite deren Strahlröhren 10,0 m über dem Windkessel geführt werden und der ausgeworfene Wasserstrahl bei verschiedenen Lichtweiten der beiden Strahlröhren immer dieselbe Steighöhe von etwa 16,0 m besitzt. Die zugehörigen Werte von h_n erhält man aus Tabelle IV, sowie auch die entsprechenden Wassermengen W , die ein Strahlrohr ausgiesst. Daraus ergibt sich die erforderliche Hubzahl H_b und mit Hilfe der Tabelle Ib der Druckverlust h in den

Schlauchleitungen; die wirksame Förderhöhe H_w ist $h_n + h$, die Gesamtförderhöhe ist

$$H = H_w + 10 + 6 + h_1,$$

wo h_1 den Druckverlust in der 10,0 m langen und 60 mm weiten Saugleitung bezeichnet; folgende Tabelle enthält die Zusammenstellung dieser verschiedenen Werte:

d mm	Hb	h _n m	W Mtl.	H _w m	H m	A kgm	Z
13	52	22	160	24,4	41,7	223	16
12	45	23	140	25,0	42,0	196	14
11	41	24,5	120	26,0	43,0	176	14
10	34	25,5	105	26,6	43,5	152	12
9	29	27,0	88	28,3	44,6	131	10
8	24	30,0	75	30,6	47,0	118	8
7	20	35	60	35,4	57,7	103	8
6	17	45	50	45,3	61,6	103	8

73. Dieselbe Spritze von 340 Mtl. Höchstlieferung, soll derart in Betrieb erhalten werden, dass während des Wasserergusses der damit verbundenen 30,0 m langen und 50 mm weiten Schläuche der wirksame Druck H_w im Windkessel immer der gleiche bleibt, nämlich 30,0 m. In diesem Falle erhält man die Druckhöhe vor der Strahlrohrmündung für verschiedene Lichtweiten derselben aus Tabelle V c. Durch diese Druckhöhe ist auch die Wassermenge und Steighöhe Tabelle IV bestimmt, aus Tabelle I b erhält man mittels der Wassermenge den Druckverlust h_1 im 60 mm weiten, 10 m langen Saugrohre und die Gesamtförderhöhe ist: $H = 30 + 10 + 6,0 + h_1$.

W bezeichnet die Wassermenge eines Strahlrohres.

In nachstehender Tabelle sind diese Werte für verschiedene Lichtweiten aufgeführt.

d	hn	W	S	H	Hb	A	Z
10	28,8	112	17,0	46,2	19	86	6
11	28,1	133	18,0	46,3	22	103	8
12	27,6	157	18,2	46,4	26	121	10
13	26,8	180	18,5	46,5	30	140	10
15	24,8	234	18,8	46,8	38	182	14
17,5	21,6	293	17,6	47,0	48	230	16
20	18,0	354	15,7	47,5	58	280	20

In obiger Zusammenstellung ist für Berechnung der Arbeitsleistung A die Benützung von nur einem Schlauche angenommen; für den Anschluss von zwei Schläuchen an die Spritze würde die Arbeitsleistung das Doppelte betragen; genau genommen etwas mehr als das Doppelte, weil der Druckverlust in der Saugrohrleitung für die doppelte Wassermenge um das 4fache zunimmt.

74. Nach dem Beispiele Nr. 39 soll eine Schlauchleitung von 50 mm Lichtweite und 80 m Länge, die mit einem Strassenhydranten verbunden ist, einer Druckspritze das Wasser zubringen. Der Betriebsdruck am Hydranten sei dabei mit 35,0 m anzunehmen. Welche Wassermengen können durch diese Schlauchleitung gefördert werden, wenn deren Ausmündung in der Spritze 2,0 m über dem Hydranten liegt?

Nach Tabelle Vc ist in diesem Falle der Mündungsdruck, wenn $d = D$, $hn = (35,0 - 2) \cdot 0,014 = 0,46$ m; für 1,0 m Mündungsdruck ist nach Tabelle IIa die Wassermenge 520 Mtl., daher für $hn = 0,46$ ist

$$W = 520 \sqrt{0,46} = 352 \text{ Mtl.}$$

Wäre der Rauigkeitsgrad nicht mit 0,15, sondern mit 0,20 zu berechnen, so verhalten sich nach Tabelle III

die Wassermengen bei gleichem Druckverbrauche wie 1:0,84, so dass man nun statt 352 nur $352 \cdot 0,84 = 295$ Mtl. erhält. Soll jedoch die Wassermenge dieselbe bleiben und der Betriebsdruck auch derselbe von 35 m sein, dann muss ein Schlauch von grösserer Lichtweite angewendet oder zwei Schläuche von 50 mm Lichtweite verlegt werden.

Z. B. Bei Anwendung eines Schlauches von 60 mm Lichtweite wäre $hn = 3,3 \cdot 0,19 = 0,62$ nach Tabelle Vc und dafür erhält man aus Tabelle IIa eine Wassermenge von 620 Mtl. bei $m = 0,15$; für $m = 0,20$ ist $W = 0,84 \cdot 620 = 520$ und für $m = 0,25$ ist $W = 0,73 \cdot 620 = 452$ Mtl.

75. Nach dem Beispiele 42 soll ein Zapfventil von 10 mm Mundstückweite durch eine 40,0 m lange und $12\frac{1}{2}$ mm weite Zuleitung aus einer Strassenleitung gespeist werden, deren Betriebsdruck 43,0 m ist.

Nach Tabelle Va ist der Mündungsdruck

$$hn = 40 \cdot \frac{0,07}{10} = 0,28$$

und nach Tabelle IIa ist für $hn = 1,0$ die Wassermenge 20,87 Mtl., daher für $hn = 0,28$ ist

$$W = 20,87 \cdot \sqrt{0,28} = 11 \text{ Mtl.}$$

Für eine Lichtweite der Zuleitung von 15 mm wäre $hn = 4 \cdot 0,2 = 0,8$ m und

$$W = 20,87 \cdot \sqrt{0,80} = 18,6 \text{ Mtl.}$$

Erhält die Zuleitung eine Lichtweite von 20 mm, an ihrem Ende, 3,0 m über der Strasse, ein Zapfventil von 20 mm, mit dem ein Schlauch von 5,0 m Länge, 20 mm Lichtweite verbunden ist, der ein Strahlmündstück

von 7 mm Lichtweite besitzt, dann erhält man einen Mündungsdruck von $4,0 \cdot 2,79 = 11,16$ m, einen Wasserguss von 34 Mtl. mit einer senkrechten Steighöhe des freien Strahles von 8,0 m (siehe Tabelle IV). Unter denselben Verhältnissen wäre für eine Zuleitung mit Schlauch wie oben, aber 25 mm Lichtweite, $h_n = 4,0 \cdot 5,78 = 23,12$ m, $W = 47$ Mtl. und $S = 12,5$ m.

76. Eine Hausleitung bestehe, vom Strassenrohre beginnend, zunächst aus 30,0 m Rohrleitung von 25 mm Lichtweite, dann aus 20,0 m Rohrleitung von 20 mm Lichtweite und aus einer 15 m langen Strecke von 15 mm Lichtweite.

Am Ende jeder dieser 3 Strecken ist ein Zapfventil damit verbunden, dessen Auslaufmündstück eine Lichtweite von 10 mm hat. Der Betriebsdruck der Strassenleitung sei 40,0 m. Das erste Zapfventil befinde sich in einer Höhe von 5,0 m, das zweite von 10,0 m und das dritte von 15,0 m über der Strasse. Welche Wassermenge liefert jedes Zapfventil, wenn alle drei gleichzeitig geöffnet werden und wenn jedes dieselbe Wassermenge liefert, die Gesamtwassermenge demnach $3 W$ ist, auch das oberste Zapfventil noch eine Auslaufmündung von 10 mm Lichtweite hat.

Bezeichnet x den Mündungsdruck h_n bei dem obersten Zapfventile, dann ist $x = \frac{W^2}{20,87^2}$, da für $d = 10$ mm und $h_n = 1,0$ m nach Tabelle IIa die Wassermenge 20,87 Mtl. ist.

Bezeichnet ferner H_1 den Druckverlust in der 30,0 m langen und 25 mm weiten Leitungsstrecke, H_2 den in der folgenden 20 mm weiten und H_3 den in der letzten

15 mm weiten Strecke, dann ist $x = 40,0 - 15,0 - [H_1 + H_2 + H_3]$.

Nach Tabelle Ib ist für 1,0 m Druckverlust auf 1,0 m Leitung die Wassermenge

bei 25 mm Lichtweite 79 Mtl.

„ 20 „ „ 42,7 „

„ $12\frac{1}{2}$ „ „ 11,0 „

daher $h_1 = \frac{(3 W)^2}{79^2}$, $h_2 = \frac{(2 W)^2}{(42,7)^2}$, $h_3 = \frac{W^2}{(11)^2}$ und

$$x = 25,0 - W^2 \left[\frac{9 \cdot 30}{6241} + \frac{4 \cdot 20}{1823} + \frac{1 \cdot 15}{121} \right] =$$

$25 - 0,2158 \cdot W^2$ und da auch

$$x = \frac{W^2}{(20,87)^2} = W^2 \cdot 0,00229, \text{ so ist}$$

$$25 = W^2 \cdot 0,2180 \text{ und } W = \frac{5}{0,460} = 10,80 \text{ Mtl.}$$

Daraus ergibt sich weiter:

$$H_1 = (10,8)^2 \cdot 0,0429 = 5,05, \quad H_2 = 5,10 \text{ und}$$

$$H_3 = 14,60 \text{ m.}$$

Der Druck vor dem ersten Zapfventil $25,0 - 5,05 = 19,95$ m, der vor dem zweiten $25,0 - (5,05 + 5,10) = 14,85$ m und der vor dem dritten $25 - (10,15 + 14,60) = 0,25$ m. —

Die Zapfventile 1 und 2 müssen daher einen entsprechend verengten Abflussquerschnitt erhalten, was durch Drosselung bewirkt werden kann.

Ist nur das oberste Zapfventil ganz geöffnet, die beiden unteren aber ganz geschlossen, dann ist

$$x = 25 - W^2 \left[\frac{30}{6241} + \frac{20}{1823} + \frac{1}{121} \right] =$$

$$25 - W^2 [0,00016 \cdot 30 + 0,000548 \cdot 20 + 0,00826],$$

$$x = 25 - W^2 \cdot 0,024 = 0,00229 \cdot W^2$$

$$25 = 0,0263 \cdot W^2 \text{ und } W = \frac{5}{0,162} = 30,8 \text{ Mtl.}$$

Ist nur das zweite oder mittlere Ventil ganz geöffnet, während die anderen ganz geschlossen sind, dann erhält man:

Den Mündungsdruck vor dem mittleren Ventil

$$x = 40 - 10 - W^2 [30 \cdot 0,000159 + 20 \cdot 0,000548] = 30 - 0,01570 \cdot W^2 = 0,00229 \cdot W^2,$$

$$W^2 \cdot 0,01800 = 30$$

$$W = \sqrt{\frac{30}{0,018}} = 41 \text{ Mtl.}$$

Für den Fall, dass nur das unterste Zapfventil ganz geöffnet ist wird

$$x = 40 - 5 - W^2 \cdot 30 \cdot 0,00016 \\ 35 - 0,0048 \cdot W^2 = 0,00229 \cdot W^2$$

$$W = \sqrt{\frac{35}{0,0071}} = 70 \text{ Mtl.}$$

$$H_1 = 70^2 \cdot 30 \cdot 0,00016 = 23,5 \text{ m und}$$

$$h_n = 35 - 23,5 = 11,5 \text{ m.}$$

Bei ganzer Öffnung des untersten Ventiles erhält das zweite Ventil nur wenig Wasser und das oberste gar kein Wasser.

Den Wert von x für das unterste Zapfventil kann man rascher auch mittels Tabelle Va erhalten; dort ist in der Gruppe $d = 10$ mm für eine 30 m lange und 25 mm weite Rohrleitung bei 10,0 m Anfangsdruck $h_n = 3,3$ m also für $40 - 5 = 35,0$ ist $x = 3,3 \cdot 3,5 = 11,5$ m, was oben auch gefunden wurde.

Wie aus dem obigen Beispiele hervorgeht, kann man mit einigem Geschick in der Benützung der Tabellen für eine Reihe von Fällen der Wasserentnahme aus Zapfventilen leicht und rasch die Lösung erhalten.

77. Das Zuleitungsrohr zu einer Badewanne habe eine Lichtweite von 20 mm und eine Länge von 40 m; der Betriebsdruck am Anfange der Zuleitung sei 30,0 m und die Auslauföffnung in der Badewanne liege 10,0 m über dem Anfangspunkte, so dass der wirksame Druck $H_w = 30,0 - 10,0 = 20,0$ m ist.

Bei voller Öffnung der Auslaufmündung mit 20 mm Lichtweite ist nach Tabelle Va Gruppe $d = D = 20$ mm in diesem Falle der Mündungsdruck

$$h_n = \frac{20 \cdot 0,06}{10} = 0,12 \text{ m}$$

und darnach nach Tabelle IIa die Ausflussmenge

$$W = 83,4 \cdot \sqrt{0,12} = 29 \text{ Mlt.}$$

Beträgt die Wasserfassung der Wanne 250 Mlt., dann ist die Zeit, welche die ganze Füllung erheischt

$$\frac{250}{29} = 8,6 \text{ Minuten.}$$

Mit der Zuleitung zur Wanne ist auch eine Badebrause durch ein 20 mm weites Rohr verbunden, so dass die Länge des Zuleitungsrohres bis zur Brause 45,0 m und die Höhenlage der Brause über dem Anfangspunkte der Zuleitung 12,0 m beträgt; die Brause hat 50 Ausflussöffnungen von je 1 mm Lichtweite mit einem Gesamt-Öffnungsquerschnitt von 39 qmm, dieser Querschnitt entspricht dem Durchmesser eines Vollstrahles von 7 mm und dafür erhält man aus Tabelle Va Gruppe $d = 7$ mm

einen Mündungsdruck $h_n = (30 - 12) \cdot \frac{2,79}{10} = 5,00$ m.

Die Ausflussmenge nach Tabelle II a ist $W = 50 \cdot 0,44 = 22$ Mtl. In demselben Baderaume ist auch ein Ventil mit einem 2,0 m langen Gummischlauche von 20 mm Lichtweite zur Vollstrahl-Begiessung aus 7 mm weitem Mundstücke angebracht; die Zuleitung dazu steht mit der Wannenzuleitung in Verbindung und hat auch eine Gesamtlänge von 45,0 m. Nach Tabelle Va ist der Mündungsdruck, wenn das Strahlrohrmundstück eine Höhenlage von 10,0 m über dem Anfangspunkte der Zuleitung hat, $h_n = 2,0 \cdot 2,79 = 5,8$ m. Nach Tabelle IV ist daher die Ausflussmenge $W = 24$ Mtl. und die senkrechte Steighöhe des Vollstrahles 4,9 m.

Würde man dem Zuleitungsrohre auf seine ganze Länge eine Lichtweite von 25 mm geben, so wäre $h_n = 2,0 \cdot 5,78 = 11,56$ m, $W = 33$ Mtl. und $S = 8,0$ m.

78. Ein Hausreservoir, das im Dachraume in einer Höhe von 16,0 m über der Strasse aufgestellt ist, wird aus der Städtischen Strassenleitung gespeist mittels eines 30 mm weiten und 40,0 m langen Zuleitungsrohres. Der Betriebsdruck der Strassenleitung ist 35,0 m, also der wirksame Druck am Anfange der Zuleitung $35 - 16 = 19,0$ m. Die Ausflussöffnung des Zuleitungsrohres befindet sich über dem höchsten Wasserstande des Wasserbehälters und ist mit einem Schwimmerventile von 30 mm Durchgangsweite ausgerüstet, dessen Ausflussmundstück eine Lichtweite von 30 mm hat.

Nach Tabelle Vb, Gruppe d = 30 ist in diesem Falle $h_n = 1,9 \cdot 0,12 = 0,228$ und nach Tabelle II a ist $W = 187 \cdot \sqrt{0,228} = 89$ Mtl.

Für je 1,0 cbm Fassungsraum des Sammelbehälters ergibt sich daraus eine Füllungsdauer von

$$\frac{1000}{89} = 11,3 \text{ Minuten.}$$

Ist die Ausmündung des Schwimmerventiles nur 25 mm weit, dann ist $h_n = 1,9 \cdot 0,25 = 0,475$ m und $W = 90$ Mtl., für $d = 20$ ist $h_n = 1,9 \cdot 0,69 = 1,3$ m, sowie $W = 95$ Mtl.

79. Das Zuleitungsrohr zu einem Wasserbehälter mündet in diesem nicht über dessen Wasser Spiegel, sondern in dessen Boden, ist also nicht nur Zu-, sondern auch Ableitungsrohr von 40 mm Lichtweite.

Unterhalb des Sammelbehälters in 20,0 m Entfernung, ist von dessen Zuleitung eine Nebenleitung zu einem Zapfventile abgezweigt, welche 20 mm Lichtweite und 30,0 m Länge hat. Das Zapfventil besitzt ein Mundstück von 15 mm Lichtweite und liegt 10,0 m unter dem mittleren Wasserstande des Sammelbehälters. Welche Wassermenge liefert dies Zapfventil bei dem mittleren Wasserstande im Sammelbehälter und bei ganzer Öffnung.

Es sei x der Druck vor der Auslaufmündung des Zapfventiles während dessen Öffnung, dann ist nach Tabelle II die Ausflussmenge

$$W = 46,9 \sqrt{x} \text{ und } x = \frac{W^2}{(46,9)^2};$$

ausserdem ist nach Tabelle Ib der Druckverlust H_1 in der 40 mm weiten und 20,0 m langen Strecke $20,0 \cdot \frac{W^2}{(290)^2}$ und das Wasser langt an der Abzweigstelle mit einer Druckhöhe von $10 - 20 \cdot \frac{W^2}{290^2}$ an, oder

$$10 - 20 \cdot \frac{(46,9)^2}{(290)^2} \cdot x;$$

für diesen Anfangsdruck der 20 mm weiten und 30,0 m langen Nebenleitung erhält man aus Tabelle den Mündungsdruck x mit

$$(10 - 20 \cdot \frac{46,9^2}{290^2} \cdot x) \cdot \frac{0,26}{10} = x$$

$$10 - 0,520 x = 38,4 x$$

$$x = \frac{10,0}{38,920} = 0,257 \text{ und } W = 23 \text{ Mlt.}$$

80. Für den im Beispiele Nr. 46 angeführten Sprenghahn mit 50,0 m langer und 25 mm weiter Zuleitung, sowie 10,0 m langem und 25 mm weitem Schlauche, dessen Strahlrohr mit 7 mm weitem Mundstück sich 2 m über Strassenhöhe erhebt, erhält man aus Tabelle Va, Gruppe $d = 7$ mm den Mündungsdruck, wenn der Betriebsdruck der Strassenleitung ständig 35,0 m ist, $h_n = \frac{5,07}{10} \cdot (35 - 2) = 16,7$ m und aus Tabelle IV eine Ausgussmenge von 42 Mlt. mit 10,5 m Steighöhe.

Hätte die Zuleitung eine Lichtweite von 30 mm, die Schlauchleitung 25 mm, und bezeichnet x den Mündungsdruck am Strahlrohr dann ist $x = \frac{W^2}{(10,22)^2}$ und $W^2 = (10,22)^2 \cdot x$ (Tabelle II a); ferner ist nach Tabelle Ib der Druckverlust in der 30 mm Zuleitung $H_1 = 50 \cdot \frac{W^2}{(134)^2}$, daher $35 - 2 - 50 \cdot \left(\frac{10,22}{134}\right)^2 \cdot x$ der Druck beim Sprenghahne am Anfange des Schlauches.

Nach Tabelle Va, Gruppe d = 7 mm ist

$$h_n = x = (33 - 0,2905 \cdot x) \cdot \frac{8,6}{10}$$

$$x = 28,38 - 0,253 x;$$

$$x = \frac{28,38}{1,25} = 22,6 \text{ m.}$$

Für $h_n = 22,6$ m ist nach Tabelle IV die Ausgussmenge $W = 48$ Mlt. und die Steighöhe $S = 12,5$ m.

81. Die im Beispiele Nr. 48 gestellte Aufgabe kann mittels Tabelle Vc auf einfache Weise gelöst werden. Für ein 40 m langes und 50 mm weites Rohr mit Auslauföffnung 50 mm und einer wirksamen mittleren Druckhöhe von $12,0 + 1,0 = 13,0$ m ist die Druckhöhe vor der Ausflussöffnung nach Tabelle Vc, Gruppe d = D = 50 mm, $h_n = \frac{13,0 \cdot 0,28}{10} = 0,364$ m, wie er auch in

Nr. 48, S. 45 u. 46 auf umständlichere Weise gefunden wurde.

Ebenso kann auch die Aufgabe Nr. 49 nun einfacher gelöst werden, denn für eine Zuleitung von 40,0 m Länge und 30 mm Lichtweite mit wirksamem Anfangsdruck $H_w = 35,0 - 15,0 = 20,0$ m ist nach Tabelle Vb, Gruppe d = D = 30 mm, die Druckhöhe vor der Auslaufmündung $20,0 \cdot \frac{0,12}{10} = 0,24$, wie oben unter 48, S. 45 u. 46 auch sich ergeben hat.

82. Die Zuleitung zu den Sprengventilen eines Gartens habe vom Hauptrohre der Strasse bis zum ersten Ventile 50,0 m Länge und 40 mm Lichtweite, vom ersten bis zweiten Sprengventile 50,0 m Länge und 30 mm Lichtweite. Mit jedem Sprengventile ist ein 10 mm langer Schlauch verbunden, der mit einem 7 mm weiten Mund-

stück endigt. Der Betriebsdruck in der Strassenleitung sei 38,0 m, die Höhenlage der beiden Schlauchmundstücke sei 2,0 m über der Strasse, ausserdem ist zu berücksichtigen, dass in die Zuleitung nächst der Strassenleitung ein Wassermesser eingebaut ist, durch welchen für den Wasserdurchfluss ein Druckverlust von 3,0 m veranlasst wird. [Den durchschnittlichen Druckverlust, der in Wassermessern verursacht wird bei dem gewöhnlichen Wasserverbrauche nimmt man gewöhnlich zu 2,5 m an.]

Im vorliegenden Falle ist demnach der wirksame Anfangsdruck $38 - 2,0 - 3,0 = 33$ m. Durch die erste Strecke der Zuleitung, die 40 mm Lichtweite hat, muss bei gleichzeitiger Benützung der beiden Sprengventile die Gesamtwassermenge abfliessen, welche durch die beiden Mundstücke 7 mm der Schläuche ausgeworfen wird und man kann als annähernd richtig annehmen, dass der Abfluss am Ende der 40 mm weiten Strecke durch 2 Mundstücke von je 7 mm Weite erfolge.

Unter dieser Annahme erhält man am Ende der 40 mm Strecke ein Ausflussquerschnitt von $2.38,48 = 77$ qmm, der einer Lichtweite von 10 mm entspricht, siehe Tabelle II a.

Für $D = 40$ mm und $d = 10$ mm, sowie $L = 50,0$ m erhält man aus Tabelle V b den Wert von

$$h_n = \frac{33,0 \cdot 8,06}{10} = 26,6 \text{ m.}$$

Für die zweite Strecke der Zuleitung mit 30 mm Lichtweite und 50 mm Lichtweite ist nun der wirksame Anfangsdruck $H_w = 26,6$ m und nach Tabelle V b ist am Ende dieser Strecke die Druckhöhe $h_n = 26,6 \cdot 0,775 = 20,6$ m, weil hier eine Ausflussöffnung von 7 mm Licht-

weite vorhanden ist. Daraus erhält man nun die Druckhöhen vor den Schlauchmundstücken durch Tabelle Va mit $26,6 \cdot 0,86 = 22,8$ m am ersten und mit $20,6 \cdot 0,86 = 17,7$ m am zweiten Sprengventile. Nach Tabelle IV ist ferner $W_1 = 48$ Mtl., $W_2 = 42$ Mtl., $S_1 = 12,5$ und $S_2 = 10,9$ m.

Diese Berechnungsweise nur mit Hilfe der Tabellen V ist wesentlich einfacher und kürzer als die im Beispiele 80, S. 93 u. 94 angewendete; sie ist allerdings nicht so genau wie diese, aber das Ergebnis ist immerhin ein sehr gut brauchbares, da der Fehler nicht bedeutend ausfällt.

82 a. Das Mundstück eines Garten-Springbrunnens habe 5 mm Lichtweite, die Zuleitung zu demselben sei 50 m lang bei 25 mm Lichtweite; der wirksame Anfangsdruck $H = 30,0$ m. Nach Tabelle Va ist der Druck vor der Ausmündung $30 \cdot 0,825 = 24,75$ m und nach Tabelle IV erreicht man damit eine Steighöhe von 11,0 m mit 26 Mtl. Wassererguss.

Besteht das Mundstück nicht nur aus einer einzigen Strahlöffnung, sondern bildet gleichsam eine Brause mit einer mittleren Öffnung von 5 mm Lichtweite, die zunächst mit einem Ringe von 5 Öffnungen von 2 mm Lichtweite und dieser mit einem zweiten Ringe von 10 Löchern mit nur 1 mm Lichtweite versehen ist, dann erhält man folgenden Gesamt-Öffnungsquerschnitt von

$F = 10 \cdot 0,7854 + 5 \cdot 3,14 + 19,64 = 43,194$ qmm; diesem Querschnitt entspricht ein Durchmesser von 7,4 mm. Nach Tabelle Va ist für $d = 7$ mm im vorliegenden Falle einer 50,0 m langen und 25 mm Zuleitung der Mündungsdruck $h_n = 5,62$ m, für $d = 8$ mm aber 4,20 m auf 10 m Anfangsdruck; daher für 7,4 mm wird annähernd $h_n = 5,00$

und für 30,0 m Anfangsdruck ist $h_n = 15,00$ m. Für den Mittelstrahl erhält man nach Tabelle IV eine Steighöhe von 8,5 m mit 20 Mtl. Wassererguss, die 5 Strahlen des ersten Ringes erreichen eine Höhe von 5,0 m mit 16,0 Mtl. Wasserlieferung und die 10 Strahlen des zweiten Ringes erheben sich auf 3,0 m mit 7,7 Mtl. Wasserausschüttung. Der Gesamtwasserauswurf ist demnach 43,7 Mtl.

Würde man der 50 m langen Zuleitung eine Lichtweite von 30 mm geben, dann ist nach Tabelle Vb der Mündungsdruck $h_n = 30 \cdot 0,733 = 22,0$ m; die Steighöhe des Mittelstrahles wäre 10,50 m, des ersten Ringes 5,8 m und des zweiten Ringes 3,3 m; der Wassererguss ist dabei 24,0, 20 und 9 Mtl., zusammen 53 Mtl.

Zur Ableitung des Leerlauf- und Überlaufwassers aus dem Sammelbecken des Springbrunnens sei eine 200 m lange Rohrleitung anzulegen, die von der Sohle des Beckens bis zur Mitte der Auslaufmündung des Ableitungsrohres nur 0,5 m Gefälle erhalten kann; der höchste Wasserstand im Becken ist 0,5 m über Sohle, für den Überlauf daher das Gefälle 1,0 m auf 200 m Länge oder 0,005 m.

Nach Tabelle Ia fördert ein 70 mm weites Rohr, mit 0,005 m Gefälle auf 1,0 m, eine Wassermenge von 72 Mtl., also reichlich die Überlaufmenge, die nur etwa 53 Mtl. beträgt. Bei der Entleerung des Beckens ergibt sich für den tiefsten Wasserstand ein Gefällverhältnis von

$$\frac{0,5}{200} = 0,0025 \text{ und das mittlere ist demnach}$$

$$\frac{0,0075}{2} = 0,0037.$$

Mit diesem Gefällverhältnis von 0,0037 erhält man nach Tabelle Ia durch ein 70 mm weites Rohr 60 Mtl. Wasserablauf, so dass das volle Becken, wenn es einen Inhalt von 6,0 cbm hätte, in 100 Minuten oder rund in $1\frac{3}{4}$ Stunden entleert werden könnte.

83. Für einen grösseren Park ist eine Anzahl Sprengventile derart anzulegen, dass damit die Rasenplätze und Wege begossen werden können; die Sprengventile erhalten eine Durchgangsweite von 40 mm, die Schläuche bei 20,0 m Länge ebenfalls 40 mm Lichtweite mit einem Strahlrohrmundstück von 10 mm Lichtweite.

Dem Rohrnetze des Parkes wird das Wasser von einer Stelle aus zugeführt und die Rohrleitung bis zu dem entferntesten Ventile von dieser Stelle beträgt 800 m, wovon die Anfangsstrecke auf 100 m Länge eine Lichtweite von 125 mm hat, worauf eine Strecke von 400 m Länge und 100 mm Lichtweite folgt; an diese schliesst sich eine Leitung an von 240 m Länge und 80 mm Lichtweite und die Endstrecken verzweigen sich nach zwei Sprengventilen in zwei getrennten Zweigleitungen, wovon die erste 60,0 m, die zweite 80 m Länge und beide 60 mm Lichtweite haben. Welche Wasserausschüttung und Steighöhe erhält man bei Benützung nur eines, sowie bei gleichzeitiger Benützung der zwei Sprengventile, wenn der wirksame Betriebsdruck an der Einführungsstelle 35,0 m beträgt?

Bezeichnet man die Ausgussmengen am ersten Strahlrohr mit W_1 , die am zweiten Rohre mit W_2 und dementsprechend den Mündungsdruck daselbst mit x_1 und x_2 und berücksichtigt man, dass nach Tabelle IIa für einen

Mündungsdruck von 1,0 m durch eine 10 mm weite Öffnung eine Wassermenge von 20,8 Mtl. fließt, dann ist:

$$x_1 = \frac{W_1^2}{(20,8)^2}; \quad x_2 = \frac{W_2^2}{20,8^2} \quad \text{und}$$

$$W_1 = 20,8 \sqrt{x_1}; \quad W_2 = 20,8 \sqrt{x_2}.$$

Ferner ist nach Tabelle V c, Gruppe d = 10 mm der Mündungsdruck für eine 60 m lange und 60 mm weite Zuleitung und für 10,0 m Anfangsdruck, $h_n = 9,61$ m, für eine 80 m lange Strecke $h_n = 9,52$ m.

Daraus ergibt sich das Verhältnis

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{9,61}{9,52} = 1,01 \quad \text{oder} \quad x_1 = 1,01 x_2.$$

$$W_1 = 20,8 \sqrt{1,01 x_2} = 20,9 \cdot \sqrt{x_2} = 436,8 \cdot x_2 = 432,6 \cdot x_1.$$

Ferner ist nach Tabelle Ia bei dem Druckverlust auf 1,0 m Leitung von 0,04 m die Durchflussmenge für $D = 125$ mm Lichtweite 1080, $D = 100$ Lichtweite 576 und $D = 80$ mm Lichtweite 306 Mtl., sowie $D = 60$ Lichtweite 210 Mtl. Bezeichnet H_1 den Druckverlust in der 125 mm weiten Strecke, H_2 den in der 100 mm und H_3 den in der 80 mm Strecke, sowie H_4 den in der 60 m langen Zweigleitung zum ersten, H_5 den in der 80 m langen Zuleitung zum zweiten Sprengventil, dann ist bei Benützung von nur einem Sprengventile, z. B. dem ersten, die Druckhöhe am Anfange des Schlauches

$$y_1 = 35 - [H_1 + H_2 + H_3 + H_4]$$

$$H_1 = 0,04 \left(\frac{W_1}{1080} \right)^2 \cdot 100, \quad H_2 = 0,04 \left(\frac{W_1}{576} \right)^2 \cdot 400,$$

$$H_3 = 0,04 \left(\frac{W_1}{306} \right)^2 \cdot 240, \quad H_4 = 0,04 \left(\frac{W_1}{210} \right)^2 \cdot 60.$$

$$y_1 = 35 - \left[100 \cdot x_1 \cdot \frac{432}{1080^2} + 400 \cdot x_1 \cdot \frac{432}{576^2} + 240 \cdot x_1 \cdot \frac{432}{(306)^2} + 60 \cdot x_1 \cdot \frac{432}{(210)^2} \right] \cdot 0,04$$

$$y_1 = 35 - x_1 [0,037 + 0,520 + 1,106 + 0,588] \cdot 0,04 = 35 - 0,09 \cdot x_1 \text{ der Anfangsdruck des Schlauches.}$$

Nach Tabelle V b, Gruppe d = 10 mm ist der Mündungsdruck des 40 mm weiten und 20,0 m langen Schlauches demnach:

$$(35 - 0,09 \cdot x_1) \cdot 0,912 = x_1 \text{ und}$$

$$x_1 = \frac{0,912 \cdot 35}{1,082} = 29,5 \text{ m und nach Tabelle IV}$$

$$W = 112 \text{ Mtl., } S = 17,0 \text{ m.}$$

Sind die beiden Sprengventile gleichzeitig in Benutzung, dann kommt für den Druckverlust in der Zuleitung die Wassermenge $W_1 + W_2$ in Betracht.

$$W_1 + W_2 = 436,8 x_2 + 432,0 \cdot x_2 = x_2 \cdot 868,8.$$

Die Druckhöhe am Ende der 80 mm weiten Leitung, wo die Nebenleitungen 60 mm zu den Sprengventilen abgezweigt sind, ist

$$\begin{aligned} y_2 &= 35,0 - [H_1 + H_2 + H_3] \\ &= 35,0 - 0,04 \cdot x_2 \cdot 868,8 \left[\frac{100}{(1080)^2} + \frac{400}{(576)^2} + \frac{240}{(306)^2} \right] \\ &= 35 - 0,04 \cdot x_2 \cdot [0,0744 + 1,04 + 2,227] \\ &= 35 - 0,04 \cdot x_2 \cdot 3,34 = 35 - 0,1336 \cdot x_2. \end{aligned}$$

In der 80 m langen Nebenleitung von 60 mm Lichtweite ist der Druckverlust

$$H_3 = 0,04 \cdot x_2 \cdot 80 \cdot \frac{432}{(210)^2} = 0,0313 x_2,$$

daher ist der Anfangsdruck des Schlauches

$$y_3 = 35 - x_2 (0,1336 + 0,0313) \\ = 35 - 0,1649 x_2.$$

Der Mündungsdruck am Strahlrohr

$$x_2 = (35 - 0,1649 x_2) 0,912 = 31,92 - 0,15 x_2 \\ x_2 = \frac{31,92}{1,15} = 27 \text{ m.}$$

$$W = 109 \text{ Mtl.}, S = 16,8 \text{ m.}$$

In der 60 m langen Zuleitung ist der Druckverlust

$$H_4 = 0,04 \cdot x_2 \cdot 60 \cdot \frac{436,8}{(210)_2} = 0,02376 x_2.$$

Der Anfangsdruck des Schlauches:

$$y_4 = 35 - x_2 [0,1336 + 0,02376] \\ = 35 - 0,15736 x_2 \text{ und}$$

$$x_1 = [35 - 0,15736 x_2] 0,912 = 31,92 - 0,1435 x_2$$

$$x_1 = 1,01 \cdot x_2 = 31,92 - 0,1435 x_2$$

$$x_2 = \frac{31,92}{0,15} = 27,0 \text{ wie oben}$$

$$x_1 = 1,01 \cdot 27,0 = 27,27.$$

Die Rechnung kann man auch in der Weise ausführen, dass man von dem Enddruck $y_2 = 35 - 0,1336 x_2$ ausgehend, mittels Tabelle V den Enddruck H_4 und H_5 , sowie auch den Mündungsdruck für $d = 10 \text{ mm}$ bestimmt, wie nachstehend ausgeführt.

Druckhöhe am Ende der 80 mm Strecke

$$y_2 = 35 - 0,1336 x_2$$

und nach Tabelle Vc ist für eine 60 mm weite, 80 m lange Leitung mit $d = 10 \text{ mm}$ der Mündungsdruck $= (35 - 0,1336 x_2) 0,961$ am Ende der 60 mm Leitung und für den Schlauch von 20 m Länge und 40 mm Lichtweite mit $d = 10 \text{ mm}$ ist

$$hn = (35,0 - 0,1336 \cdot x_2) \cdot 0,96 \cdot 0,91$$

$$hn = (35,0 - 0,1336 \cdot x_2) \cdot 0,874 = 30,60 - 0,117 \cdot x_2$$

$$hn = x_2 = \frac{30,60}{1,1170} = 27,2 \text{ m,}$$

also nur wenig mehr, als oben gefunden wurde. Dieses Mehr rührt daher, weil in Tabelle V die Zahlenwerte für eine Rauigkeit von $m = 0,15$ berechnet sind, während die Werte in Tabelle Ia für $m = 0,25$ bestimmt sind.

84. Ein grosser Teich-Springbrunnen besitze ein Mundstück, das aus einer Mittelöffnung von 30 mm Lichtweite, dann aus einem Ringe von 5 Öffnungen mit 10 mm Lichtweite, ferner aus einem Ringe von 10 Öffnungen mit 5 mm Lichtweite besteht; welche Wassermengen und Steighöhen ergeben sich, wenn die Zuleitung aus 300 m Rohrleitung von 200 mm und aus 200 m Rohrleitung von 150 mm Lichtweite besteht und der wirksame Druck am Anfange der 200 mm Leitung ständig 40,0 m beträgt.

Der Gesamt-Öffnungenquerschnitt ist (s. Tabelle IIa):

$$706 + 5 \cdot 78,54 + 10 \cdot 19,64 = 1295 \text{ qmm,}$$

was einem Durchmesser von etwa 40 mm entspricht.

Für einen Meter Mündungsdruck ist die durch eine Öffnung von 40 mm abfliessende Wassermenge nach Tabelle IIa 332 Mtl., für einen Mündungsdruck x ist

$$\text{daher } W = 332 \cdot \sqrt{x} \text{ und } x = \frac{W^2}{(332)^2}.$$

Der Druckverlust in der Zuleitungsstrecke von 200 mm ist für 6276 Mtl. auf 1,0 m Leitung = 0,1 m und ist der gleiche in der 150 mm weiten Strecke für einen Durchfluss von 2838 Mtl. Für eine Durchflussmenge W ist daher der Druckverlust

$$H_1 = 300 \cdot 0,1 \cdot \frac{W^2}{(6276)^2} \text{ und}$$

$$H_2 = 200 \cdot 0,1 \cdot \frac{W^2}{(2838)^2}, \text{ woraus}$$

$$\begin{aligned} x &= 40 - x \cdot 0,1 \left[\frac{(332)^2 \cdot 200}{2838^2} + \frac{(332)^2 \cdot 300}{6276^2} \right] \\ &= 40 - x \cdot 11022 (0,0000235 + 0,00000763) \\ &= 40 - x \cdot 0,343 \end{aligned}$$

$$x = \frac{40}{1,343} = 30,0 \text{ m.}$$

Nach Tabelle IV ergeben sich folgende Wassermengen und Steighöhen für die drei verschiedenen Mundstückweiten:

für d = 30 mm	ist W = rund	1000 Mtl.	S = 26,0 m
„ d = 10 „	„	W = 5.114 = 570 „	S = 17,5 „
„ d = 5 „	„	W = 10.28 = 280 „	S = 12,0 „
Gesamt-Wassererguss 1850 Mtl.			

Kommt für die Zuleitung aber ein Rauheitsgrad von $m = 0,20$ in Betracht, statt wie oben nach Tab. Ia mit $m = 0,25$, dann ist die Wassermenge, welche bei 0,1 m Gefällverhältnis durch die Zuleitung strömt, nach Tabelle III für die 200 mm weite Strecke

$$W = 1,11 \cdot 6276 = 6966 \text{ Mtl.}$$

und für die 150 mm Strecke ist

$$W = 1,12 \cdot 2868 = 3178 \text{ Mtl.,}$$

so dass nun

$$\begin{aligned} x &= 40 - 11022 \left(\frac{200}{(3178)^2} + \frac{300}{(6966)^2} \right) \cdot x \\ &= 40 - 0,288 x; \quad x = \frac{40,0}{1,288} = 31,0 \text{ m.} \end{aligned}$$

Der Unterschied ist demnach nicht erheblich.

85. Durch eine Dampfspritze werde das Wasser unter einem ständigen Drucke von 80 m im Windkessel

der Spritze der Schlauchleitung zugeführt; die Schlauchleitung besteht zunächst aus einem 70 m langen und 80 mm weiten Schlauche, an dessen Ende zwei je 50 m lange und 60 mm weite Schläuche gekuppelt sind, an deren Enden sich Strahlröhren mit 25 mm weiten Mundstücken in 18,0 m Höhe über dem Windkessel der Spritze befinden.

Welcher Wassererguss und welche senkrechte Steighöhe der Wasserstrahlen wird hierdurch erreicht?

Bezeichnet x den Mündungsdruck, H_1 den Druckverlust in der 70 m langen 80 mm weiten Strecke, und berücksichtigt man, dass für $d = 25$ mm nach Tab. II a die Ausgussmenge für den Druck von 1,0 m mit 130 Mtl. sich ergibt und dass nach Tabelle Ib bei dem Druckverlust von 1,0 m auf 1,0 m Leitung ein Durchfluss von 2058 Mtl. stattfindet, dann erhält man:

$$x = \frac{W^2}{(130)^2}; H_1 = 70 \cdot \frac{4 \cdot W^2}{(2058)^2} = 70 \cdot x \cdot \frac{(130)^2 \cdot 4}{(2058)^2}$$

$$H_1 = 1,12 x.$$

Die am Ende des 80 mm Schlauches noch vorhandene Druckhöhe ist demnach:

$$80 - 18 - 1,12 x = 62 - 1,12 x.$$

Die Druckhöhe x ist aber nach Tabelle V c, Gruppe $d = 25$ mm:

$$x = (62 - 1,12 x) 0,507$$

$$x = \frac{31,43}{1,5678} = 20,0 \text{ m.}$$

Der Wasserauswurf eines Strahlrohres 523 Mtl. mit 17,8 m Steighöhe, Gesamtwassermenge 1046 Mtl.

Hat das Strahlrohrmundstück eine Lichtweite von 27,5 mm, dann ist

$$x = (62 - 1,12 x) \cdot 0,412$$

$$x = \frac{25,54}{1,4944} = 17,00 \text{ m,}$$

$$W = 650 \text{ Mtlt., } S = 15 \text{ m.}$$

Für $d = 22\frac{1}{2}$ mm ist $x = (62 - 1,12 x) 0,61$

$$x = \frac{37,8}{1,683} = 22,4 \text{ m}$$

$$W = 500 \text{ Mtlt., } S = 19,0 \text{ m.}$$

Gesamtwassermenge 1000 Mtlt.

Hat der eine der beiden 60 mm weiten Schläuche eine Länge von 70 und erhebt sich auf 18,0 m Höhe über dem Windkessel der Spritze, dann erhält man, wenn beide Strahlröhren Mundstücke von 25 mm Lichtweite haben, und die Druckhöhe vor dem einen Mundstück mit x_1 vor dem anderen mit x_2 bezeichnet wird nach Tabelle Vc.

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{5,07}{4,23} = 1,2, \text{ daher } x_1 = 1,2 \cdot x_2$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \sqrt{\frac{x_1}{x_2}}; W_1 = W_2 \cdot \sqrt{1,2}; W_2 = x_2 (130)^2$$

$$H_1 = 70 \cdot \frac{W_2^2 (1 + \sqrt{1,2})^2}{(2058)^2} = 70 \cdot \frac{(2,0954)^2 \cdot (130)^2 \cdot x_2}{(2058)^2}$$

$$H_1 = 1,225 x_2$$

$$(62 - 1,225 x_2) 0,423 = x_2$$

$$x_2 = \frac{26,226}{1,518} = 17,2 \text{ m, } x_1 = 20,6 \text{ m}$$

$$W_2 = 540 \text{ Mtlt. } W_1 = 590 \text{ Mtlt.}$$

$$S_2 = 15,5 \text{ m. } S_1 = 17,5 \text{ m.}$$

86. Das Aufsteigrohr zu dem Wasserbehälter eines Wasserturmes hat eine Lichtweite

von 100 mm bei einer Länge von 80 m und soll bei einem Höchstdruck von 35,0 m am Anfange der Steigleitung 500 Mtl. in den Behälter liefern, wie hoch kann die Auslaufmündung des Steigrohres über dessen unterem Anfange liegen?

Nach Tabelle IIa muss vor der 100 mm weiten Ausflussöffnung noch eine Druckhöhe von 0,1 m vorhanden sein, wenn etwa 500 Mtl. ausfliessen sollen; nach Tabelle Vc, Gruppe $d = D = 100$ m ist für 10 m Anfangsdruck $h_n = 0,4$ m, und bezeichnet man die gesuchte Höhe mit x , dann muss sein:

$$(35 - x) \cdot 0,04 = 0,1 \text{ oder } 14,0 - 0,04 x = 0,1$$

$$x = \frac{1,3}{0,04} = 32,5 \text{ m.}$$

Der wirksame Anfangsdruck ist daher:

$$H_w = 35,0 - 32,5 = 2,5 \text{ m.}$$

Erhebt sich H_w auf 5,0 m, dann ist

$$h_n = 0,04 \cdot 5 = 0,2 \text{ m}$$

und damit erreicht man nach Tabelle IIa eine Ausflussmenge von etwa 900 Mtl.

Sinkt der Druck H_w auf 1,0 m, dann ist $h_n = 0,04$

$$\text{und } W = 659 \cdot \sqrt{\frac{0,04}{0,10}} = 415 \text{ Mtl.}$$

87. Mittels einer Dückerleitung von 300 m Länge soll eine Wassermenge von 10000 Mtl. gefördert werden, wozu ein Gesamtgefälle vom Einlaufe bis zum Ablaufe von 1,0 m oder ein Gefällverhältnis von $\frac{1}{300} = 0,0033$ zur Verfügung steht. Welche Lichtweite muss das Dückerrohr erhalten?

Nach Tabelle Ia findet man in der Horizontalreihe für das Gefällverhältnis 1:300 bei einem Durchmesser

von 450 mm eine Durchflussmenge von 10 560 Mtl. und würde also diese Lichtweite genügen. Würde z. B. zeitweise eine Zuflussmenge von 15 000 Mtl. vorkommen, so würde am Einlaufe des Dückers eine Stauung von 1,0 m über dem Wasserstande bei 10 000 Mtl. Zufluss eintreten müssen, weil nach Tabelle Va für den Durchfluss von 15 000 Mtl. ein Gefälle von 2,0 m auf 300 m Länge erforderlich ist.

88. Ein Saugheber erhält z. B. eine Länge von 300 m und soll 3000 Mtl. Wasser fördern; der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasserspiegel sei 3,8 m, welche Lichtweite muss das Heberrohr erhalten?

Die vorhandene Saughöhe von 3,8 m kürze man zuvor um etwa 0,4 m, als erforderlich für den Mündungsdruck, so dass für den Druckverlust in der Leitung 3,4 m oder ein Gefällverhältnis von 1:90 verbleiben; für dies Gefälle kann nach Tabelle Ia eine Lichtweite von 225 mm zur Förderung von 2900 genügen. Der Mündungsdruck ist jedoch für ein 225 mm weites Rohr beim Ausguss von 3000 Mtl. nur etwa 0,1 m, denn für ein 100 mm Rohr ist er bei Ausschüttung von 659 Mtl. 0,1 m; bei gleicher Druckhöhe verhalten sich aber

$$\frac{W_{100}}{W_{225}} = \frac{1}{5}, \text{ also } W_{225} = 5 \cdot 659 = 3295.$$

Statt wirksame Druckhöhe von 3,4 m erhält man daher 3,7 m oder ein Gefällverhältnis von 0,0123, womit die verlangte Wassermenge erhalten werden kann.

Zu obiger Berechnung des Druckverlustes wurde Tabelle Ia benützt, wobei eine Rauigkeit der inneren Rohrwände von $m = 0,25$ angenommen ist; für einen Rauigkeitsgrad von $m = 0,20$ ist bei gleichbleibender

Wassermenge der Druckverlust in der Rohrleitung nach Tabelle III, 2. von $0,80 \cdot 0,0123 \cdot 300 = 2,85$ m; bei gleichbleibendem Druckaufwande ist die geförderte Wassermenge nach Tabelle III, 1 $= 1,11 \cdot 3000 = 3330$ Mtl.

89. Auf ein Rieselgut seien durch eine 8 km lange Druck- und Saugrohrleitung von 500 mm Lichtweite etwa 6000 Mtl. Abwasser mittels eines Dampf-pumpwerkes zu fördern; die Auslaufmündung auf dem Rieselfelde liegt 15,0 m über dem Saugwasserspiegel vor den Pumpen. Auf welche Nutzleistung wird das Pumpwerk beansprucht?

Nach Tabelle Ia ist der Druckverlust in der Rohrleitung $8000 \cdot 0,001 = 8,0$ m, für die senkrechte Förderhöhe mit 15,0 m, ferner für Ein- und Austrittswiderstände und solche in den Pumpen rund 1,0 m, erhält man eine Gesamtförderhöhe von 24,0 m; darnach ist die Nutzleistung

$$\frac{6000 \cdot 24}{60 \cdot 75} = 32 \text{ P.S.}$$

Bei starken Regenfällen müssen jedoch etwa 12000 Mtl. von dem Pumpwerk gefördert werden und in diesem Falle ist der Druckverlust in der Rohrleitung nach Tabelle Ia $h = 8000 \cdot 0,004 = 32,00$ m, die Durchflussgeschwindigkeit ist jetzt 1,30 m, während sie bei der Mindestförderung nur 0,65 m ist. Die von dem Pumpwerk zu leistende Arbeit ist für die Höchstleistung

$$\frac{12000 \cdot (32,0 + 15 + 2,0)}{60 \cdot 75} = 131 \text{ P.S.}$$

Es ist daher zweckmässig, das Pumpwerk in drei Einzelpumpwerke von je 50 P.S. zu zerlegen um mit möglichst günstiger Ausnützung der Dampfkraft allen Anforderungen genügen zu können.

90. Die Abwasser einer Stadt sollen durch eine 5,0 km lange und 350 mm weite Druckrohrleitung mittels Pumpwerk auf ein Rieselfeld gefördert werden und zwar zunächst in einen Hochbehälter, von wo das Abwasser durch besondere Rohrleitung über das Rieselfeld verteilt und mittels Schläuchen und Strahlröhren über die Rieselbeete ausgegossen werden soll. Die Schläuche erhalten bei 60 mm Lichtweite eine Länge von 50 m; das Strahlrohr trägt eine Brause mit 16 Öffnungen von je 3 mm Lichtweite, also mit $16 \cdot 7,07 = 113$ qmm Öffnungsquerschnitt, entsprechend einem Durchmesser von 12 mm (s. Tabelle IIa). Die Zuleitung von dem Hochbehälter bis zu dem Hydranten, an welchen der Schlauch angeschlossen ist, habe 80 mm Lichtweite bei 200 m Länge; welche Höhenlage muss der Wasserspiegel im Hochbehälter mindestens haben, damit die vom Strahlrohr ausgeworfenen Wasserstrahlen noch wenigstens eine senkrechte Steighöhe von 9,0 m haben?

Nach Tabelle IV ist für diese Steighöhe bei einer Strahldicke $d = 3$ mm ein Mündungsdruck von 35,0 m erforderlich und werden 179 Mtl. Wasser ausgeworfen. Für den Mündungsdruck von 35 m muss nach Tabelle Vc, Gruppe $d = 12$ mm, der Anfangsdruck $\frac{35}{0,95} = 37,0$ m.

In der 80 mm Zuleitung ist nach Tabelle Ia für den Durchfluss von 179 Mtl. ein Druckaufwand von $200 \cdot 0,014 = 2,8$ m nötig; das Hochreservoir muss demnach $37,0 + 2,8$ oder rund 40,0 m über dem Hydranten liegen. In obiger Rechnung ist der Druckverlust im Schlauche nach Tab. Vc mit Rauigkeit $m = 0,15$ berechnet; wäre für den Schlauch auch $m = 0,25$ anzunehmen, so erhält man

statt 2,0 m Druckverlust darin, nach Tabelle III einen solchen von $1,8 \cdot 2,0 = 3,6$ und hätte die 80 mm Leitung zwei Schläuche zu speisen, so erhält man darin einen Druckverlust von $200 \cdot 0,05 = 10,0$ m. Diesem erhöhten Druckbedürfnis entsprechend, müsste der Wasserspiegel des Hochbehälters höher gelegt werden.

Wenn auch in Vorstehendem nicht alle möglichen Fälle angeführt sind, in denen die Hilfstabellen zur Anwendung kommen können, so dürften die obigen Beispiele doch zahlreich genug sein, um damit den vorteilhaften Gebrauch der Tabellen nach allen Seiten zu erläutern, vielseitige Übungen im hydrotechnischen Rechnen zu gestatten und vorzubereiten.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Leipzig,
Walter Wigand's Buchdruckerei.

Tabellen Ia und Ib.

Druckverlust h für 1,0 m Rohrleitungen von verschiedener Lichtweite D in Millimeter und Durchflussgeschwindigkeit G in Sekundenmeter, sowie Wassermengen W in Minutenliter.

Tabelle Ia.

Berechnung des Druckverlustes für einen Rauigkeitsgrad der inneren Rohrwände von $m = 0,25$.

Verlust an Druckhöhe für je 1,0 m Rohrleitg. in Meter	Lichtweiten D der Rohrleitungen in Millimeter.																																Verlust an Druckhöhe für je 1,0 m	Verhältnis der Leitungslänge zu 1,0 m Druckverlust						
	40		50		60		70		80		90		100		125		150		175		200		225		250		275		300		350				400		450		500	
	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W			G	W	G	W	G	W
0,1000	0,90	66	1,09	126	1,21	216	1,45	336	1,61	486	1,78	678	1,94	912	2,31	1704	2,68	2838	3,02	4350	3,33	6276	3,65	8712	3,95	11640	4,25	15126	4,53	19200	5,07	29280	5,59	42120	6,08	57960	6,55	64300	0,1000	1 : 10
0,0666	0,74	54	0,89	108	1,04	174	1,18	270	1,32	396	1,45	552	1,58	744	1,89	1392	2,19	2316	2,46	3552	2,71	5124	2,98	7110	3,23	9504	3,47	12348	3,70	15660	4,14	23880	4,56	34440	4,96	47340	5,35	52500	0,0666	1 : 15
0,0500	0,64	48	0,77	90	0,90	156	1,03	234	1,14	342	1,26	480	1,37	648	1,64	1206	1,89	2004	2,13	3078	2,36	4440	2,58	6162	2,80	8232	3,00	10698	3,20	13560	3,58	20700	3,95	29820	4,30	40980	4,63	45500	0,05000	1 : 20
0,0400	0,57	42	0,69	84	0,81	138	0,92	210	1,02	306	1,13	432	1,22	576	1,46	1080	1,69	1794	1,91	2754	2,11	3972	2,31	5496	2,50	7342	2,69	9564	2,86	12120	3,21	18480	3,54	26640	3,84	36660	4,14	40650	0,0400	1 : 25
0,0333	0,52	40	0,63	72	0,74	126	0,84	192	0,93	282	1,03	390	1,12	528	1,34	984	1,55	1638	1,74	2514	1,92	3624	2,11	5028	2,28	6720	2,45	8730	2,62	11100	2,93	16920	3,23	24360	3,51	33480	3,78	37150	0,0333	1 : 30
0,0285	0,48	36	0,59	66	0,68	114	0,77	180	0,86	258	0,95	366	1,03	486	1,24	912	1,43	1512	1,61	2328	1,78	3354	1,95	4656	2,11	6222	2,27	8082	2,42	10260	2,71	15660	2,99	22500	3,25	31020	3,50	34400	0,0285	1 : 35
0,0250	0,45	33	0,55	60	0,64	108	0,72	168	0,81	246	0,89	342	0,97	466	1,16	852	1,34	1416	1,51	2178	1,67	3138	1,83	4356	1,98	5820	2,12	7560	2,26	9600	2,54	14640	2,80	21060	3,04	28980	3,28	32150	0,0250	1 : 40
0,0222	0,43	30	0,52	57	0,60	102	0,68	156	0,76	228	0,84	318	0,91	432	1,09	804	1,26	1338	1,42	2052	1,57	2958	1,72	4104	1,86	5484	2,00	7128	2,14	9060	2,39	13800	2,64	19860	2,86	27360	3,09	30300	0,0222	1 : 45
0,0200	0,40	28	0,49	54	0,57	96	0,65	150	0,72	216	0,80	300	0,87	408	1,04	742	1,20	1266	1,40	1944	1,49	2808	1,63	3894	1,77	5208	1,90	6762	2,03	8580	2,27	13080	2,50	18840	2,72	25920	2,93	28750	0,0200	1 : 50
0,01667	0,37	26	0,45	53	0,52	90	0,59	138	0,66	198	0,73	276	0,79	372	0,95	696	1,09	1158	1,23	1776	1,36	2562	1,49	3558	1,61	4752	1,73	6174	1,85	7860	2,07	11940	2,28	17220	2,48	23700	2,67	26250	0,01667	1 : 60
0,0143	0,34	24	0,41	51	0,48	84	0,55	126	0,61	186	0,67	258	0,73	348	0,88	642	1,01	1074	1,14	1644	1,26	2370	1,38	3294	1,49	4398	1,60	5718	1,71	7260	1,92	11040	2,11	15960	2,30	21900	2,48	24300	0,0143	1 : 70
0,0125	0,32	23	0,39	48	0,45	78	0,51	120	0,57	174	0,63	240	0,68	324	0,82	600	0,95	1002	1,07	1536	1,18	2220	1,29	3078	1,40	4116	1,50	5346	1,60	6780	1,79	10320	1,98	14880	2,15	20520	2,32	22750	0,0125	1 : 80
0,0111	0,30	22	0,37	42	0,43	72	0,48	114	0,54	162	0,59	228	0,65	306	0,77	570	0,89	948	1,01	1452	1,11	2094	1,22	2904	1,32	3882	1,42	5040	1,51	6420	1,69	9780	1,86	14040	2,03	19320	2,18	21450	0,0111	1 : 90
0,0100	0,29	20	0,35	39	0,40	66	0,46	108	0,51	156	0,56	216	0,61	288	0,73	540	0,85	894	0,95	1374	1,05	1986	1,16	2754	1,25	3678	1,34	4782	1,43	6060	1,60	9240	1,77	13320	1,92	18360	2,07	20350	0,0100	1 : 100
0,0080	0,26	18	0,31	36	0,36	60	0,41	96	0,46	138	0,50	192	0,55	258	0,65	480	0,76	804	0,85	1230	0,94	1776	1,03	2466	1,12	3294	1,20	4278	1,28	5460	1,43	8280	1,58	11940	1,72	16380	1,85	18200	0,0080	1 : 125
0,00667	0,23	17	0,28	33	0,33	54	0,37	84	0,42	126	0,46	174	0,50	234	0,60	438	0,69	732	0,78	1122	0,86	1620	0,94	2250	1,02	3006	1,10	3906	1,17	4980	1,31	7560	1,44	10860	1,57	15000	1,69	16600	0,00667	1 : 150
0,0057	0,21	16	0,26	30	0,31	51	0,34	78	0,39	114	0,43	162	0,46	216	0,55	408	0,64	678	0,72	1038	0,80	1500	0,87	2082	0,95	2784	1,02	3618	1,08	4620	1,21	7020	1,34	10080	1,45	13860	1,57	15350	0,0057	1 : 175
0,0050	0,20	14	0,24	27	0,29	48	0,32	72	0,36	108	0,40	150	0,43	204	0,52	384	0,60	636	0,67	972	0,75	1404	0,82	1950	0,88	2604	0,95	3184	1,01	4320	1,13	6540	1,25	9420	1,36	12960	1,47	14400	0,0050	1 : 200
0,0040	0,18	12	0,22	24	0,26	45	0,29	66	0,32	96	0,35	138	0,39	180	0,46	342	0,54	570	0,60	870	0,67	1254	0,73	1740	0,79	2328	0,85	3024	0,91	3840	1,01	5880	1,12	8460	1,22	11580	1,31	12850	0,00400	1 : 250
0,0033	0,17	11	0,20	22	0,23	42	0,27	60	0,30	90	0,33	126	0,35	168	0,42	312	0,49	516	0,55	792	0,61	1146	0,67	1590	0,72	2124	0,78	2760	0,83	3480	0,93	5340	1,02	7680	1,11	10560	1,20	11750	0,0033	1 : 300
0,00286	0,15	10	0,19	20	0,22	39	0,25	54	0,27	84	0,30	114	0,33	156	0,39	288	0,45	480	0,51	738	0,56	1062	0,62	1470	0,67	1968	0,72	2556	0,77	3240	0,86	4920	0,95	7140	1,03	9780	1,11	10850	0,00286	1 : 350
0,0025	0,14	9	0,17	18	0,20	36	0,23	51	0,26	78	0,28	108	0,31	144	0,37	270	0,42	450	0,48	690	0,53	990	0,58	1380	0,63	1842	0,67	2394	0,72	3060	0,80	4620	0,88	6660	0,96	9180	1,04	10150	0,0025	1 : 400
0,0022	0,13	8	0,16	16	0,19	34	0,22	48	0,24	72	0,27	102	0,29	138	0,35	258	0,40	420	0,45	648	0,50	936	0,54	1296	0,59	1734	0,63	2256	0,68	2880	0,76	4380	0,83	6300	0,91	8640	0,98	9600	0,0022	1 : 450
0,0020	0,13	7	0,15	15	0,18	32	0,21	45	0,23	66	0,25	96	0,27	132	0,33	240	0,38	402	0,43	618	0,47	888	0,52	1230	0,56	1644	0,60	2142	0,64	2700	0,72	4140	0,79	5940	0,86	8220	0,93	9100	0,0020	1 : 500
0,00167	0,12	6	0,14	14	0,17	30	0,19	42	0,21	63	0,23	90	0,25	120	0,30	222	0,35	366	0,39	564	0,43	810	0,47	1122	0,51	1500	0,55	1950	0,59	2460	0,65	3780	0,72	5460	0,78	7500	0,85	8300	0,00167	1 : 600
0,00143	0,11	6	0,13	13	0,15	28	0,17	39	0,19	60	0,21	84	0,23	108	0,28	204	0,32	336	0,36	522	0,40	750	0,44	1044	0,47	1392	0,51	1812	0,54	2280	0,61	3480	0,67	5040	0,73	6960	0,78	7700	0,00143	1 : 700
0,00125			0,12	12	0,14	26	0,16	36	0,18	57	0,20	78	0,22	102	0,26	192	0,30	318	0,34	486	0,37	702	0,41	972	0,44	1302	0,48	1692	0,51	2160	0,57	3300	0,63	4740	0,68	6480	0,73	7200	0,00125	1 : 800
0,00111			0,11	12	0,13	25	0,15	36	0,17	54	0,19	72	0,20	96	0,24	180	0,28	300	0,32	456	0,35	660	0,39	918	0,42	1224	0,45	1596	0,48	2040	0,53	3060	0,59	4440	0,64	6120	0,69	6800	0,00111	1 : 900
0,00100			0,11	12	0,13	24	0,15	36	0,16	48	0,18	66	0,19	90	0,23	168	0,27	282	0,30	432	0,33	624	0,37	870	0,40	1164	0,42	1512	0,45	1920	0,51	2940	0,56	4200	0,61	5820	0,66	6450	0,00100	1 : 1000

Tabelle 1b.

Berechnung des Druckverlustes für einen Rauigkeitsgrad $m = 0,15$.

Druck- verlust für 1,0 m Rohrleitg. in Meter	Lichtweite der Rohrleitungen in Millimeter.																																Druck- verlust für 1,0 m Rohrleitg. in Meter	Verhältnis der Länge zu 1,0 m Druck- verlust		
	12½		15		20		25		30		35		40		45		50		55		60		65		70		75		80		90				100	
	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W	G	W			G	W
1,00	1,373	11,00	1,76	18,6	2,275	42,7	2,686	79,0	3,16	134	3,64	204	3,98	290	4,40	420	4,74	550	5,13	732	5,45	926	5,72	1140	6,4	1482	6,52	1728	6,82	2058	7,45	2846	8,33	3804	1,00	1 : 1
0,816	1,23	10,00	1,59	16,7	2,05	38,4	2,42	71,0	2,85	120	3,28	185	3,59	261	3,97	379	4,27	495	4,63	661	4,92	833	5,16	1029	5,78	1338	5,88	1560	6,16	1858	6,72	2570	7,52	3435	0,816	1 : 1,25
0,661	1,11	9,00	1,43	15,0	1,85	34,5	2,18	64,0	2,57	108	2,96	166	3,23	234	3,57	341	3,85	445	4,17	595	4,43	750	4,65	927	5,20	1204	5,30	1405	5,34	1673	6,05	2314	6,76	3092	0,661	1 : 1,5
0,522	0,99	8,00	1,27	13,3	1,64	30,7	1,94	57,0	2,28	96	2,63	148	2,87	208	3,17	303	3,42	396	3,70	514	3,93	666	4,13	823	4,62	1070	4,70	1247	4,92	1486	5,38	2054	6,01	2746	0,522	1 : 2,00
0,400	0,86	7,00	1,11	11,7	1,44	26,8	1,70	50,0	2,00	84	2,30	129	2,51	182	2,78	265	3,00	346	3,24	462	3,44	583	3,61	720	4,04	936	4,12	1092	4,30	1300	4,71	1798	5,26	2404	0,400	1 : 2,5
0,300	0,75	6,00	0,96	10,0	1,24	23,0	1,46	42,6	1,73	72	2,00	112	2,18	156	2,41	230	2,59	297	2,81	400	2,98	500	3,13	624	3,50	810	3,57	946	3,73	1125	4,07	1556	4,55	2080	0,300	1 : 3,3
0,200	0,61	5,00	0,78	8,4	1,01	19,2	1,12	35,0	1,41	60	1,62	91	1,78	120	1,96	187	2,12	247	2,29	327	2,43	420	2,75	509	2,86	662	2,91	772	3,04	920	3,33	1272	3,72	1700	0,200	1 : 5,0
0,130	0,49	4,00	0,63	6,7	0,82	15,3	0,96	28,4	1,13	48	1,31	73	1,43	104	1,58	151	1,70	198	1,84	263	1,96	333	2,06	410	2,30	533	2,34	621	2,45	740	2,68	1024	3,00	1370	0,1306	1 : 7,5
0,100	0,44	3,50	0,56	5,90	0,72	13,50	0,85	25,30	1,00	42,4	1,15	64	1,26	92,0	1,39	132	1,50	174	1,62	231	1,65	293	1,81	360	1,95	453	2,06	546	2,15	651	2,36	900	2,55	1203	0,1000	1 : 10
0,0666	0,36	2,85	0,46	4,81	0,58	11,01	0,70	20,64	0,82	34,6	0,94	52	1,04	75,6	1,13	108	1,27	149	1,32	188	1,41	236	1,47	294	1,59	364	1,68	445	1,77	530	1,93	734	2,08	982	0,0666	1 : 15
0,0500	0,31	2,47	0,39	4,17	0,49	9,54	0,60	17,88	0,71	30,0	0,81	45	0,90	67,0	0,98	93	1,06	124	1,14	163	1,22	212	1,27	255	1,39	316	1,45	386	1,53	458	1,67	638	1,81	855	0,0500	1 : 20
0,0400	0,28	2,21	0,35	3,72	0,45	8,53	0,55	16,00	0,63	26,79	0,72	40	0,80	59,0	0,88	84	0,95	116	1,02	146	1,10	187	1,14	228	1,24	283	1,30	345	1,36	410	1,50	574	1,61	760	0,0400	1 : 25
0,0333	0,25	2,01	0,32	3,40	0,41	7,78	0,49	14,60	0,58	24,46	0,66	37	0,73	56,0	0,80	76	0,87	99	0,93	133	1,00	171	1,04	207	1,13	259	1,18	314	1,24	378	1,37	518	1,48	697	0,0333	1 : 30
0,0285	0,23	1,87	0,30	3,15	0,38	7,20	0,45	13,51	0,53	22,64	0,61	34	0,67	50,0	0,74	70	0,81	91	0,87	123	0,92	155	0,96	192	1,04	243	1,10	291	1,15	350	1,26	486	1,36	641	0,0285	1 : 35
0,0250	0,22	1,75	0,28	2,95	0,35	6,75	0,42	12,65	0,50	21,20	0,57	32	0,63	46,0	0,69	66	0,76	83	0,81	115	0,87	146	0,90	180	0,97	226	1,03	273	1,08	329	1,18	454	1,28	615	0,0250	1 : 40
0,0222	0,21	1,64	0,26	2,76	0,33	6,33	0,40	11,86	0,47	19,88	0,54	30	0,60	42,0	0,65	62	0,71	78	0,76	108	0,81	138	0,85	169	0,92	210	0,97	257	1,02	305	1,12	423	1,20	570	0,0222	1 : 45
0,0200	0,19	1,56	0,25	2,63	0,32	6,03	0,38	11,30	0,44	18,95	0,51	29	0,56	39	0,62	59	0,67	75	0,72	103	0,77	130	0,81	161	0,88	202	0,92	244	0,96	289	1,06	400	1,14	538	0,0200	1 : 50
0,0166	0,18	1,42	0,23	2,40	0,30	5,50	0,35	10,32	0,41	17,29	0,47	26	0,52	36	0,57	54	0,62	73	0,66	94	0,71	122	0,73	146	0,80	186	0,84	222	0,88	265	0,97	367	1,02	491	0,0166	1 : 60
0,0145	0,17	1,32	0,21	2,23	0,27	5,10	0,32	9,56	0,38	16,02	0,41	24	0,48	33	0,53	50	0,56	70	0,61	87	0,65	114	0,69	136	0,74	170	0,78	206	0,82	249	0,89	343	0,96	459	0,0145	1 : 70
0,0125	0,16	1,23	0,20	2,08	0,25	4,76	0,30	8,93	0,35	14,96	0,40	23	0,45	32	0,49	47	0,54	66	0,57	82	0,61	106	0,64	127	0,69	162	0,73	193	0,76	233	0,84	319	0,90	427	0,0125	1 : 80
0,0111	0,15	1,16	0,19	1,90	0,24	4,49	0,28	8,42	0,33	14,11	0,38	21	0,42	31	0,46	44	0,51	58	0,54	76	0,58	98	0,60	119	0,65	154	0,68	181	0,72	217	0,78	303	0,86	404	0,0111	1 : 90
0,0100	0,14	1,10	0,18	1,80	0,23	4,26	0,26	8,00	0,31	13,39	0,36	20	0,40	28	0,44	42	0,48	53	0,51	73	0,54	90	0,57	114	0,62	146	0,65	172	0,68	209	0,74	287	0,80	380	0,0100	1 : 100
0,0080	0,12	1,00	0,16	1,66	0,21	3,80	0,24	7,13	0,28	11,95	0,33	18	0,36	25	0,39	37	0,43	50	0,46	65	0,49	81	0,51	101	0,55	129	0,58	153	0,61	185	0,67	255	0,73	340	0,0080	1 : 125
0,0066	0,11	0,90	0,14	1,52	0,19	3,48	0,22	6,72	0,25	10,94	0,29	16,6	0,32	24	0,36	34	0,39	45	0,41	59	0,45	73	0,46	92	0,50	113	0,53	140	0,56	168	0,61	231	0,66	309	0,0066	1 : 150
0,0057	0,10	0,83	0,13	1,40	0,17	3,21	0,20	6,04	0,23	10,12	0,27	15,5	0,29	22	0,33	32	0,36	41	0,39	55,7	0,42	69	0,43	86,7	0,46	105	0,49	131	0,52	152	0,57	215	0,61	285	0,0057	1 : 175
0,0050	0,10	0,78	0,12	1,31	0,16	3,01	0,19	5,75	0,22	9,48	0,25	14,4	0,28	20	0,31	29	0,33	37	0,36	50,7	0,39	65	0,40	78,5	0,43	97	0,46	122	0,48	144	0,53	200	0,57	269	0,0050	1 : 200
0,0040	0,09	0,70	0,11	1,19	0,14	2,70	0,17	5,06	0,20	8,48	0,23	12,9	0,25	18	0,28	26,5	0,30	33	0,32	46,2	0,35	61	0,36	72,0	0,39	89	0,41	109	0,43	128	0,47	183	0,51	237	0,0040	1 : 250
0,0033	0,08	0,63	0,10	1,07	0,13	2,45	0,16	4,59	0,18	7,70	0,21	11,7	0,24	16	0,25	24,0	0,27	30	0,29	42,2	0,31	57	0,32	65,4	0,36	81	0,37	99	0,40	120	0,44	167	0,46	222	0,0033	1 : 300
0,0028	0,07	0,58	0,09	0,98	0,12	2,25	0,14	4,23	0,17	7,09	0,19	10,8	0,21	15	0,23	22,2	0,26	27	0,27	38,7	0,30	53	0,30	60,3	0,34	73	0,35	91,4	0,36	112	0,40	151	0,43	206	0,0028	1 : 350
0,0025	0,07	0,55	0,09	0,92	0,11	2,13	0,13	4,00	0,16	6,70	0,18	10,2	0,19	14,0	0,22	21,0	0,23	25	0,25	36,0	0,27	50	0,28	57	0,31	69	0,33	86,4	0,35	104	0,37	143	0,41	190	0,0025	1 : 400
0,0022	0,06	0,52	0,08	0,87	0,11	2,00	0,13	3,75	0,15	6,28	0,17	9,6	0,18	13,0	0,20	19,6	0,22	22	0,245	34,3	0,25	46	0,26	52,4	0,30	65	0,31	81,0	0,32	96	0,36	135	0,38	182	0,0022	1 : 450
0,0020	0,06	0,49	0,08	0,83	0,10	1,90	0,12	3,57	0,14	6,00	0,15	9,1	0,18	12,0	0,19	18,7	0,21	21	0,24	32,7	0,24	43	0,25	50,9	0,28	61	0,29	77,2	0,31	88	0,33	127	0,35	174	0,0020	1 : 500
0,00167	0,06	0,45	0,07	0,76	0,09	1,73	0,11	3,25	0,13	5,46	0,14	8,2	0,17	11,0	0,17	16,8	0,19	19	0,21	29,3	0,23	40	0,23	45,7	0,26	57	0,27	69,2	0,29	84	0,30	119	0,33	158	0,00167	1 : 600
0,00143	0,05	0,42	0,07	0,70	0,09	1,61	0,10	3,02	0,12	5,06	0,13	7,7	0,15	10,0	0,16	15,8	0,18	18	0,19	27,6	0,21	38	0,21	43,0	0,23	52	0,24	65,2	0,25	80	0,28	111	0,30	142	0,00143	1 : 700
0,00125	0,05	0,39	0,06	0,66	0,08	1,50	0,10	2,82	0,11	4,74	0,125	7,0	0,14	10,0	0,15	14,9	0,16	16,5	0,18	25,9	0,19	35	0,20	40,4	0,21	49	0,22	61,3	0,24	76	0,27	103	0,29	134	0,00125	1 : 800
0,00111	0,05	0,37	0,06	0,62	0,08	1,42	0,09	2,66	0,10	4,46	0,12	6,8	0,125	9,0																						

Tabelle II.

Wassermengen W in Minutenliter, welche sich durch Rohrmündungen von verschiedener Lichtweite d in Millimeter und unter verschiedenen Druckhöhen hn vor diesen Ausmündungen ins Freie ergießen.

Tabelle IIa.

[Für d = 1 bis 100 mm und hn = 0,1 bis 10,0 m.]

Druck- höhe hn Meter	Lichtweite des Strahlrohrmündstückes oder Ausflussöffnung: Durchmesser d in Millimeter, Querschnittsfläche im Lichten F in Quadratmillimeter.																																				Druck- höhe hn Meter				
	F =	0,785	3,14	7,07	12,57	19,64	28,27	38,48	50,26	63,62	78,54	95,0	113	132	153	176	201	226	254	283	314	346	380	415	452	590	530	572	615	660	706	1256	1963	2827	3318	3848		4417	5026	7853	— F
	d =	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	40	50	60	65	70		75	80	100	— d
0,1	W =	0,0655	0,262	0,589	1,048	1,637	2,356	3,21	4,192	5,301	6,548	7,93	9,424	10,8	12,84	15,0	16,76	18,95	21,20	23,6	26,4	28,8	31,7	34,6	37,6	41,2	43,2	47,7	51,3	55,0	59,3	105	164	237	278	323	371	422	659	— W	0,1
0,2	W =	0,0927	0,3708	0,834	1,483	2,31	3,336	4,53	5,93	7,50	9,27	11,21	13,34	15,3	18,12	21,0	23,72	26,79	30,00	33,46	37,3	40,7	44,8	48,6	53,3	58,3	61,2	67,5	72,4	77,9	84,0	148	232	335	394	457	525	597	933	— W	0,2
0,3	W =	0,1136	0,454	1,022	1,816	2,84	4,088	5,56	7,26	9,19	11,36	13,74	16,35	18,7	22,24	25,7	29,04	32,82	36,76	41,00	45,7	50,00	54,9	60,00	65,4	71,4	74,8	82,7	88,9	95,5	103	182	285	411	483	560	642	731	1122	— W	0,3
0,4	W =	0,1312	0,524	1,180	2,096	3,28	4,72	6,42	8,38	10,62	13,12	15,87	18,88	21,6	25,68	30,0	33,52	37,9	42,4	47,3	53,0	57,7	63,4	69,4	75,5	83,0	86,4	95,5	102,7	110,0	119	210	330	475	558	647	742	845	1319	— W	0,4
0,5	W =	0,1467	0,586	1,320	2,324	3,66	5,28	7,18	9,37	11,80	14,60	17,74	21,12	24,2	28,7	33,2	37,4	42,3	47,2	52,9	59,0	64,6	70,9	77,6	84,4	92,2	96,8	106,2	114	123	133	235	369	531	624	724	830	944	1475	— W	0,5
0,6	W =	0,1607	0,642	1,446	2,568	4,00	5,78	7,87	10,27	13,01	16,07	19,44	23,12	26,5	31,48	36,3	41,08	47,4	52,0	58,0	64,6	70,8	77,7	85,0	92,4	101	106,0	117	125	135	145	257	403	582	682	792	908	1034	1615	— W	0,6
0,7	W =	0,1735	0,694	1,561	2,77	4,33	6,24	8,50	11,08	14,04	17,35	21,00	24,96	28,6	34,00	39,2	44,3	50,0	56,0	62,6	70,0	76,5	84,0	91,7	99,7	109	114,0	126	136	145	157	277	435	628	737	855	981	1116	1745	— W	0,7
0,8	W =	0,1855	0,742	1,669	2,968	4,63	6,67	9,08	11,87	15,00	18,55	22,4	26,68	30,6	36,32	42,0	47,4	53,6	60,0	66,9	74,6	81,0	89,0	98,0	106	116	122	135	145	156	168	297	466	672	788	914	1050	1194	1866	— W	0,8
0,9	W =	0,1968	0,787	1,771	3,148	4,92	7,08	9,64	12,59	15,93	19,68	23,8	28,32	32,4	38,56	44,5	50,3	56,8	63,7	71,0	79,1	86,7	95,2	104	113	123	129	143	154	165	178	315	494	713	836	970	1113	1266	1978	— W	0,9
1,0	W =	0,20	0,83	1,87	3,29	5,21	7,51	10,22	13,35	16,90	20,87	25,26	30,06	34,22	40,91	46,9	53,4	60,3	67,6	75,36	83,4	92,0	101	110	120	130	141	152	163	175	187	332	520	751	881	1023	1174	1336	2087	— W	1,0
1,2	W =	0,22	0,90	2,04	3,71	5,70	7,73	11,20	14,60	18,51	22,80	27,30	32,06	37,40	44,80	51,3	58,5	66,0	74,5	82,5	91,3	101	110	121	131	142	154	166	179	192	205	363	569	822	964	1120	1285	1462	2285	— W	1,2
1,4	W =	0,23	0,98	2,20	4,00	6,10	8,80	12,00	15,70	20,00	24,60	29,80	35,50	40,40	48,30	55,4	63,0	71,2	79,7	88,9	98,5	108	119	130	141	153	166	179	193	207	221	397	615	888	1042	1210	1388	1580	2468	— W	1,4
1,6	W =	0,25	1,05	2,35	4,30	6,56	9,50	12,90	16,80	21,30	26,30	31,80	37,90	43,10	51,50	59,2	67,8	76,0	85,1	95,0	105	116	127	139	151	164	178	191	206	221	236	419	657	949	1113	1293	1483	1664	2637	— W	1,6
1,8	W =	0,27	1,11	2,50	4,50	7,00	10,00	13,70	17,90	22,60	28,00	33,80	40,30	45,80	54,80	62,9	71,6	80,5	90,5	101	111	123	135	147	161	174	189	203	219	235	251	428	697	1007	1181	1371	1574	1791	2798	— W	1,8
2,0	W =	0,28	1,17	2,63	4,80	7,36	10,60	14,45	18,87	23,89	29,50	35,70	42,50	48,40	57,80	66,4	75,5	85,3	95,6	106	118	130	142	156	169	184	199	215	231	248	265	469	735	1061	1245	1446	1660	1889	2951	— W	2,0
2,5	W =	0,31	1,31	2,95	5,35	8,23	11,80	16,10	21,10	26,70	33,00	40,00	47,40	54,00	64,60	74,2	84,4	95,3	106	118	131	145	159	174	189	206	223	240	258	277	297	524	822	1187	1392	1617	1856	2112	3299	— W	2,5
3,0	W =	0,34	1,43	3,23	5,86	9,00	13,00	17,80	23,10	29,20	36,10	43,70	51,90	59,20	70,80	81,2	92,4	104	117	130	144	159	174	191	208	225	244	263	281	303	325	574	900	1300	1525	1771	2033	2313	3614	— W	3,0
3,5	W =	0,37	1,55	3,50	6,34	9,74	14,00	19,10	25,00	31,60	39,00	47,20	56,10	64,00	76,50	87,8	100,0	112	126	141	156	171	189	206	224	244	264	284	306	328	351	620	972	1404	1647	1913	2195	2498	3902	— W	3,5
4,0	W =	0,40	1,63	3,74	6,78	10,42	15,02	20,44	26,70	33,80	41,70	50,50	60,10	68,40	81,80	93,9	106	120	135	150	166	184	202	220	240	261	282	304	327	351	375	664	1040	1502	1762	2046	2348	2672	4174	— W	4,0
4,5	W =	0,42	1,76	3,96	7,18	11,04	15,92	21,66	28,30	35,80	44,20	53,50	64,90	72,50	86,70	99,5	113	127	143	152	176	195	214	234	254	276	299	322	347	372	398	703	1102	1592	1868	2169	2490	2833	4426	— W	4,5
5,0	W =	0,44	1,85	4,17	7,56	11,61	16,75	22,79	29,77	37,70	46,50	56,30	66,90	76,30	91,20	104	122	134	150	168	186	205	225	246	268	291	315	339	365	391	419	742	1162	1679	1969	2287	2625	2987	4666	— W	5,0
6,0	W =	0,49	2,00	3,58	8,30	12,76	18,39	25,00	32,70	41,40	51,00	61,80	73,50	83,80	100,0	115	130	147	165	184	204	225	246	270	294	319	345	372	400	430	460	813	1273	1836	2157	2505	2868	3271	5111	— W	6,0
7,0	W =	0,53	2,20	5,00	9,00	13,75	20,00	27,00	35,30	44,60	55,00	66,70	79,20	90,30	108,0	124	141	159	179	199	220	246	266	291	317	344	373	401	432	463	496	878	1375	1985	2330	2705	3105	3533	5520	— W	7,0
8,0	W =	0,56	2,34	5,29	9,59	14,74	21,24	28,90	37,70	47,80	59,00	71,40	84,90	96,80	115,7	132	151	170	191	213	236	260	285	312	339	369	399	430	463	496	531	938	1470	2120	2491	2893	3320	3778	5900	— W	8,0
9,0	W =	0,60	2,49	5,61	10,17	15,63	22,53	30,66	40,05	50,70	62,61	75,78	90,18	102,66	122,7	140	160	180	202	226	250	276	303	331	360	391	423	456	490	526	563	996	1560	2250	2643	3069	3522	4008	6261	— W	9,0
10,0	W =	0,63	2,62	5,90	10,70	16,50	23,70	32,30	42,20	53,40	66,00	79,80	94,80	108,1	129,2	148	168	190	214	238	264	291	319	349	380	412	446	481	527	555	593	1049	1644	2370	2785	3234	3712	4224	6600	— W	10,0

Tabelle II b.

[Für $d = 1$ bis 30 mm und $h_n = 11$ bis 75 m.]

Druck- höhe h_n Meter	Lichtweite d der Ausflussmündung in Millimeter.																														Druck- höhe h_n Meter		
	$d =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		30	$= d$
11,0	W =	0,66	2,75	6,20	11,22	17,24	24,90	33,85	44,2	56,0	69,0	83,6	99,3	113	135	155	177	200	224	250	276	305	334	365	398	432	467	503	541	581	622	= W	11,0
12	W =	0,69	2,88	6,47	11,73	18,00	26,00	34,70	46,2	58,5	72,2	87,4	104	118	141	162	185	209	234	261	289	319	350	382	416	451	488	526	566	607	650	= W	12
13	W =	0,72	3,00	6,73	12,20	18,75	27,00	36,80	48,8	60,8	75,1	91,0	108	123	147	169	192	217	243	273	300	331	364	397	432	469	508	548	589	632	676	= W	13
14	W =	0,75	3,10	7,00	12,68	19,43	28,10	38,20	50,0	63,2	78,0	94,5	112	128	153	175	200	226	253	282	312	344	378	413	449	483	528	569	612	656	702	= W	14
15	W =	0,77	3,20	7,24	13,12	20,16	29,00	39,50	51,7	65,4	81,0	97,7	116	132	158	182	207	233	262	292	323	356	391	427	465	505	546	589	633	679	727	= W	15
16	W =	0,80	3,32	7,48	13,56	20,84	30,04	40,88	53,4	67,6	83,6	101	120	137	163	187	214	241	270	301	333	368	404	441	480	521	565	608	654	702	751	= W	16
17	W =	0,82	3,42	7,70	13,96	21,46	31,00	42,10	55,0	69,6	86,0	104	123	141	168	193	220	248	279	310	344	379	416	455	495	537	582	627	674	723	774	= W	17
18	W =	0,85	3,52	7,93	14,40	22,10	31,84	43,33	56,6	71,6	88,5	107	127	145	173	199	227	256	287	320	354	390	428	468	509	553	599	645	694	744	796	= W	18
19	W =	0,87	3,62	8,15	14,78	22,71	32,70	44,50	58,0	73,6	90,8	110	130	149	178	204	232	262	294	328	363	401	440	481	523	568	615	663	713	765	818	= W	19
20	W =	0,89	3,71	8,36	15,15	23,28	33,56	45,67	60,5	75,5	93,2	113	134	153	183	210	239	270	302	337	373	411	451	494	537	583	631	680	731	784	840	= W	20
21	W =	0,91	3,86	8,56	15,50	23,90	34,40	46,80	61,2	77,4	95,6	115	137	157	187	215	245	275	310	344	382	420	462	506	550	597	647	697	749	804	860	= W	21
22	W =	0,93	3,89	8,77	15,90	24,43	35,22	47,93	62,6	79,3	98,0	117	139	160	192	220	251	283	317	353	391	432	474	518	563	612	662	713	767	823	881	= W	22
23	W =	0,96	3,97	8,95	16,25	25,00	36,00	49,00	64,0	81,0	100,0	121	144	164	196	225	256	289	324	361	400	441	484	529	575	623	676	729	784	841	900	= W	23
24	W =	0,98	4,06	9,16	16,61	25,50	36,70	50,00	65,7	82,8	102	123	147	167	200	230	262	295	331	369	408	451	495	540	588	638	691	745	800	860	920	= W	24
25	W =	1,00	4,15	9,35	16,95	26,05	37,55	51,10	66,7	84,5	104	126	150	171	204	235	267	301	338	377	417	460	505	552	600	652	706	760	818	877	939	= W	25
26	W =	1,02	4,20	9,50	17,28	26,57	38,30	52,12	68,00	86,1	106	128	153	174	208	239	271	307	344	384	425	469	515	563	612	665	720	775	834	895	957	= W	26
27	W =	1,04	4,30	9,70	17,60	27,00	39,00	53,00	69,3	87,7	108	131	156	177	212	244	273	313	351	391	433	478	524	573	623	677	733	789	849	911	975	= W	27
28	W =	1,06	4,38	9,90	17,94	27,60	39,73	54,10	70,6	89,4	110	133	159	181	216	248	283	319	358	399	442	487	534	584	635	690	747	805	865	928	994	= W	28
29	W =	1,07	4,46	10,10	18,23	28,00	40,40	55,00	71,9	91,0	112	136	162	184	220	253	288	325	364	406	450	496	544	594	647	702	760	819	880	945	1010	= W	29
30	W =	1,09	4,56	10,25	18,25	28,60	41,10	55,90	73,1	92,5	114	138	164	187	224	259	293	330	370	413	457	505	553	605	658	714	773	833	896	961	1028	= W	30
35	W =	1,18	4,90	11,10	20,10	30,80	44,40	60,4	78,9	100,0	123	149	177	202	242	277	316	357	400	445	494	544	597	653	711	772	835	900	968	1038	1110	= W	35
40	W =	1,26	5,24	11,82	21,42	32,93	47,48	64,6	84,4	106,8	132	160	190	216	259	297	338	381	427	476	527	582	638	698	759	824	892	961	1034	1109	1187	= W	40
45	W =	1,34	5,56	12,50	22,70	34,90	50,30	68,5	89,0	113,3	141	169	201	229	274	315	358	404	453	505	559	617	678	740	805	880	947	1020	1097	1177	1260	= W	45
50	W =	1,41	5,87	13,22	23,97	36,85	53,10	72,3	94,4	120,0	147	178	212	242	289	332	378	426	478	533	590	651	714	781	849	922	998	1075	1157	1241	1328	= W	50
55	W =	1,54	6,18	13,91	25,17	38,66	55,66	75,75	101,7	125,2	154	187	222	253	303	348	396	446	501	558	618	681	748	818	890	966	1046	1127	1212	1300	1392	= W	55
60	W =	1,61	6,46	14,55	26,30	40,39	58,14	79,13	103,4	130,8	161	195	232	265	316	363	413	466	523	583	646	712	781	854	930	1009	1093	1177	1266	1358	1454	= W	60
65	W =	1,68	6,72	15,14	27,97	42,06	60,55	82,40	107,6	136,2	168	203	242	276	329	378	430	486	544	607	672	741	814	889	968	1051	1138	1226	1318	1415	1514	= W	65
70	W =	1,74	6,97	15,70	28,39	43,92	62,80	85,48	110,9	141,3	174	211	251	286	342	392	446	504	561	630	697	769	844	923	1005	1090	1180	1272	1368	1467	1570	= W	70
75	W =	1,81	7,72	16,26	29,41	45,20	65,05	88,55	115,7	146,4	180	218	260	296	354	406	462	522	585	652	722	796	874	956	1041	1129	1223	1317	1417	1520	1626	= W	75

Tabelle III.

Verhältniszahlen zur Umrechnung der Durchflussgeschwindigkeiten G, Wassermengen W und der Druckverluste h für die Rauigkeitsgrade der inneren Rohrwände von $m = 0,15$, $m = 0,20$ und $m = 0,25$ unter Zugrundlegung der Kutter'schen Formel $w = \frac{50 \cdot \sqrt{D}}{m + 0,5 \sqrt{D}}$.

Verhältnisse der Werte G, W und h	D = Lichtweite der Rohrleitungen in Millimeter.																							
	12 ¹ / ₂	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500
1. Verhältniszahlen der Geschwindigkeiten G und Wassermengen W.																								
$\frac{W_{15}}{W_{20}}$ oder $W_{15} = W_{20}$ mal	1,24	1,23	1,22	1,21	1,21	1,20	1,19	1,18	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,14	1,14	1,13	1,13	1,125	1,12	1,11	1,10	1,10	1,10	1,10
$\frac{W_{15}}{W_{25}}$ oder $W_{15} = W_{25}$ mal	1,48	1,47	1,45	1,43	1,42	1,40	1,38	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,25	1,24	1,23	1,21	1,20	1,20	1,20
$\frac{W_{20}}{W_{15}}$ oder $W_{20} = W_{15}$ mal	0,80	0,81	0,82	0,82	0,82	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,902	0,903	0,905	0,907
$\frac{W_{20}}{W_{25}}$ oder $W_{20} = W_{25}$ mal	1,19	1,19	1,18	1,18	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,14	1,14	1,14	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11	1,11	1,10	1,10	1,10	1,09	1,09	1,08
$\frac{W_{25}}{W_{15}}$ oder $W_{25} = W_{15}$ mal	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77	0,78	0,80	0,80	0,80	0,81	0,82	0,824	0,830	0,836
$\frac{W_{25}}{W_{20}}$ oder $W_{25} = W_{20}$ mal	0,84	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,907	0,911	0,913	0,916
2. Verhältniszahlen der Druckverluste h.																								
$\frac{h_{15}}{h_{20}}$ oder $h_{15} = h_{20}$ mal	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,80	0,80	0,814	0,820	0,82	0,825
$\frac{h_{15}}{h_{25}}$ oder $h_{15} = h_{25}$ mal	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,65	0,67	0,68	0,69	0,70
$\frac{h_{20}}{h_{15}}$ oder $h_{20} = h_{15}$ mal	1,55	1,53	1,51	1,49	1,47	1,44	1,42	1,40	1,38	1,37	1,36	1,35	1,33	1,31	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25	1,25	1,22	1,21	1,21	1,21
$\frac{h_{20}}{h_{25}}$ oder $h_{20} = h_{25}$ mal	0,70	0,70	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,81	0,82	0,82	0,824	0,830	0,835	0,840
$\frac{h_{25}}{h_{15}}$ oder $h_{25} = h_{15}$ mal	2,21	2,18	2,12	2,06	2,02	1,95	1,91	1,87	1,83	1,80	1,77	1,74	1,70	1,66	1,63	1,60	1,58	1,56	1,54	1,52	1,48	1,46	1,44	1,44
$\frac{h_{25}}{h_{20}}$ oder $h_{25} = h_{20}$ mal	1,42	1,41	1,40	1,38	1,37	1,35	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18

Tabelle IV.

Senkrechte Steighöhen S in Meter des freien Wasserstrahles, sowie dessen Wassermenge W in Minutenliter für Strahlrohrmundstücke von verschiedener Lichtweite d in Millimeter und für verschiedene Druckhöhen hn in Meter, unter welchen das Wasser vor der Ausmündung anlangt.

Druckhöhen hn in Meter	F= d=	Lichtweite des Strahlrohrmundstückes in Millimeter = d																														=F	Druckhöhen hn in Meter
		Lichte Querschnittsflächen des Strahlrohrmundstückes in Quadratmillimeter = F																															
		0,785	3,141	7,07	12,57	19,64	28,27	38,48	50,26	63,62	78,54	95,0	113	132	153	176	201	226	254	283	314	346	380	415	452	490	530	572	615	660	706		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
5	S	2,2	3,08	3,5	3,8	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	S		
	W	0,44	1,85	4,17	7,56	11,61	16,75	22,79	29,77	37,70	46,50	56,30	66,90	76,3	91,2	104,7	122,8	134,4	150,7	168,0	186,1	205,0	225,0	246,0	268,0	291	315,0	339,0	365,0	391,0	419,0	W	
10	S	2,8	4,4	5,4	6,2	6,7	7,1	7,4	7,7	7,9	8,1	8,3	8,4	8,5	8,7	8,8	8,9	8,9	9,0	9,1	9,1	9,2	9,2	9,3	9,4	9,4	9,4	9,5	9,5	9,5	9,5	S	
	W	0,63	2,62	5,90	10,7	16,5	23,7	32,3	42,2	53,4	66,0	79,8	94,8	108,1	122,2	148,4	168,7	190,5	214,0	238,0	264,0	291	319,0	349,0	380,0	412	446	481	527	555	593	630	W
15	S	3,1	5,2	6,7	7,8	8,6	9,3	9,9	10,4	10,8	11,1	11,4	11,7	12,0	12,2	12,4	12,6	12,8	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,6	13,7	13,7	13,8	13,8	13,9	13,9	14,0	S	
	W	0,77	3,20	7,24	13,12	20,16	29,00	39,50	51,70	65,40	81,00	97,70	116	132,4	158,3	182,0	207	233	262	292	323	356	391	427	465	505	546	589	633	679	727	W	
20	S	3,3	5,7	7,5	8,9	10,1	11,1	11,9	12,6	13,2	13,7	14,2	14,4	15,0	15,4	15,7	16,0	16,2	16,5	16,7	17,0	17,2	17,3	17,5	17,6	17,8	17,9	18,0	18,1	18,2	18,3	S	
	W	0,89	3,71	8,36	15,15	23,28	33,56	45,67	60,56	75,54	93,28	112,9	134,1	153,0	183,0	210,0	239,0	270,0	302	337	373	411	451	494	537	583	631	680	731	784	840	W	
25	S	3,4	6,08	8,1	9,8	11,2	12,5	13,5	14,4	15,2	15,9	16,5	17,1	17,7	18,2	18,6	19,0	19,4	19,8	20,1	20,4	20,7	20,9	21,2	21,4	21,6	21,8	21,9	22,0	22,1	22,2	S	
	W	1,00	4,15	9,35	16,95	26,05	37,55	51,10	66,70	84,50	104,3	126,3	150,0	171,0	204	235	267	301	338	377	417	460	505	552	600	652	706	760	818	877	939	W	
30	S	3,5	6,3	8,6	10,5	12,2	13,6	14,8	15,9	16,9	17,7	18,6	19,3	20,0	20,7	21,3	21,8	22,3	22,8	23,2	23,6	24,0	24,3	24,7	25,0	25,3	25,6	25,8	26,0	26,2	26,4	S	
	W	1,09	4,56	10,25	18,25	28,60	41,1	55,9	73,1	92,5	114,2	138,2	164,3	187,1	224,0	259	293	330	370	413	457	505	553	605	658	714	773	833	896	961	1028	W	
35	S	3,6	6,5	9,0	11,1	12,9	14,5	16,3	17,2	18,4	19,5	20,4	21,3	22,1	23,0	23,7	24,4	25,0	25,6	26,1	26,6	27,1	27,5	28,0	28,4	28,8	29,2	29,5	29,8	30,0	30,2	S	
	W	1,18	4,90	11,10	20,10	30,80	44,40	60,40	78,90	100,0	123,4	149,4	177,4	202	242	277	316	357	400	445	494	544	597	653	711	772	835	900	968	1038	1110	W	
40	S	3,6	6,7	9,3	11,5	13,5	15,3	16,9	18,4	19,7	20,9	22,0	23,0	24,1	25,0	25,9	26,7	27,4	28,1	29,0	29,4	30,0	30,5	31,1	31,6	32,1	32,5	32,8	33,0	33,5	33,9	S	
	W	1,26	5,24	11,82	21,42	32,93	47,48	64,60	84,40	106,8	132,0	160,0	190,0	216	259	297	338	381	427	476	527	582	638	698	759	824	892	961	1034	1109	1151	W	
45	S	3,6	6,8	9,5	11,9	14,1	16,0	17,7	19,4	20,8	22,2	23,4	24,6	25,8	26,9	27,9	28,8	29,7	30,5	31,3	32,2	32,8	33,4	34,1	34,7	35,2	35,7	36,2	36,7	37,1	37,4	S	
	W	1,34	5,56	12,50	22,7	34,9	50,3	68,5	89,0	113,3	141,0	169,0	201	229	274	375	358	404	453	505	559	617	678	740	805	880	947	1020	1097	1177	1260	W	
50	S	3,7	6,9	9,7	12,2	14,5	16,6	18,5	20,2	21,9	23,3	24,8	26,1	27,3	28,6	30,0	30,8	31,8	32,7	33,6	34,4	35,3	36,1	36,9	37,6	38,3	38,9	39,5	40,0	40,4	40,8	S	
	W	1,41	5,87	13,22	23,97	36,85	53,10	72,30	94,40	120,0	147,60	178,6	212	242	289	332	378	426	478	533	590	651	714	781	849	922	998	1075	1157	1241	1328	W	
55	S	3,7	7,0	9,9	12,5	14,9	17,2	19,1	21,0	22,7	24,4	25,9	27,4	28,8	30,2	31,4	32,7	33,8	34,8	35,8	36,7	37,7	38,6	39,5	40,3	41,0	41,7	42,4	43,1	43,6	44,0	S	
	W	1,54	6,18	13,91	25,17	38,66	55,66	75,75	101,7	125,2	154,6	187,2	222,7	253,6	303,0	348,0	396,0	446	501	558	618	681,7	748,4	818,0	890,0	966,0	1046	1127	1212	1300	1392	W	
60	S	3,7	7,1	10,0	12,8	15,3	17,6	19,7	21,7	23,6	25,3	27,0	28,6	30,1	31,6	33,0	34,4	35,6	36,8	37,9	39,0	40,0	41,0	42,0	43,0	43,9	44,7	45,4	46,1	46,7	47,2	S	
	W	1,61	6,46	14,55	26,30	40,39	58,14	79,13	103,4	130,8	161,5	195,5	232	264	316	363	413	466	523	583	646	712	781	854	930	1009	1093	1177	1266	1358	1454	W	
65	S	3,7	7,1	10,2	13,0	15,6	18,0	20,2	22,3	24,3	26,1	28,0	29,7	31,3	33,0	34,5	36,0	37,3	38,1	40,0	41,0	42,2	43,3	44,4	45,4	46,4	47,4	48,7	49,0	49,7	50,3	S	
	W	1,81	6,72	15,14	27,97	42,06	60,55	82,40	107,6	136,2	168,2	203	242	275	329	378	430	486	544	607	672	741	814	889	968	1051	1138	1226	1318	1415	1514	W	
70	S	3,8	7,2	10,3	13,2	15,8	18,4	20,7	22,9	25,0	26,9	28,9	30,7	32,4	34,2	35,8	37,4	38,9	40,3	41,7	43,0	44,2	45,4	46,6	47,8	48,9	50,0	50,9	51,8	52,5	53,2	S	
	W	1,74	6,97	15,70	28,39	43,92	62,80	85,48	110,9	141,3	174,5	211,2	251,3	286,1	342,0	392,7	446,7	504,1	561,4	630,0	697	769	844	923	1005	1090	1180	1272	1368	1467	1570	W	
75	S	3,8	7,2	10,4	13,3	16,1	18,7	21,1	23,4	25,6	27,7	29,7	31,6	33,5	35,4	37,1	39,0	40,4	42,0	43,4	44,7	46,1	47,5	48,8	50,1	51,3	52,5	53,5	54,5	55,3	56,0	S	
	W	1,81	7,22	16,26	29,41	45,20	65,05	88,55	115,7	146,4	180,7	218,8	260,3	296	354	406	462	522	585	652	722	796	874	956	1041	1129	1223	1317	1417	1520	1626	W	

Tabellen Va, b und c.

Die Druckhöhe h_n , mit welcher das Wasser vor der Ausmündung eines Rohres oder Schlauches von der unten angegebenen Lichtweite D in Millimeter und von verschiedenen Längen L in Meter ankommt, wenn der wirksame Druck H_w , unter welchem das Wasser in die Schlauch- oder Rohrleitung eintritt, nämlich $H_w = 10,0$ Meter und der Rauigkeitsgrad $m = 0,15$ ist.

Tabelle Va.

Für $D = 12\frac{1}{2}, 15, 20$ und 25 Millimeter.

Schlauchlänge L in Meter	d = 1 mm				d = 2 mm				d = 3 mm				d = 4 mm				d = 5 mm				d = 6 mm				d = 7 mm				d = 8 mm				d = 9 mm				d = 10 mm				d = 11 mm			d = 12 mm			d = 13 mm			d = 15 mm		d = 17,5 mm		d = 20 mm		d = 22,5 mm		d = 25 mm		Schlauchlänge L in Meter
	Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite			Schlauchweite			Schlauchweite			Schlauchw.		Schlauchw.		Schlauchw.		Schlauchw.		Schlauchw.										
	12½	15	20	25	12½	15	20	25	12½	15	20	25	12½	15	20	25	12½	15	20	25	12½	15	20	25	12½	15	20	25	12½	15	20	25	12½	15	20	25	12½	15	20	25	15	20	25	15	20	25	20	25	20	25	20	25	25	25						
10	9,96	9,98	9,99	9,99	9,46	9,80	9,96	9,98	7,77	9,09	9,81	9,94	5,26	7,61	9,42	9,89	3,12	5,66	8,70	9,59	1,73	3,76	7,55	9,16	1,05	2,53	6,35	8,60	0,64	1,65	5,50	7,83	0,41	1,10	3,89	6,93	0,27	0,75	2,94	5,97	0,52	2,08	5,03	0,38	1,68	4,18	0,27	1,27	3,42	0,76	2,14	0,42	1,36	0,25	0,84	0,54	0,36	10		
15	9,94	9,98	9,99	9,99	9,22	9,71	9,94	9,96	7,00	8,70	9,71	9,91	4,25	6,80	9,17	9,83	2,32	4,64	8,16	9,40	1,22	2,86	6,73	8,80	0,73	1,84	5,37	8,04	0,44	1,17	4,04	7,07	0,28	0,76	3,00	6,05	0,19	0,51	2,17	4,97	0,35	1,49	4,02	0,25	1,20	3,24	0,19	0,89	2,57	0,52	1,53	0,30	0,90	0,17	0,58	0,37	0,24	15		
20	9,93	9,97	9,99	9,99	9,00	9,62	9,92	9,94	6,06	8,34	9,61	9,89	3,57	6,14	8,92	9,78	1,84	3,94	7,70	9,22	0,90	2,31	6,07	8,45	0,55	1,45	4,65	7,55	0,33	0,90	3,88	6,44	0,21	0,58	2,41	5,30	0,14	0,39	1,72	4,21	0,27	1,16	3,35	0,19	0,92	2,64	0,14	0,68	2,06	0,39	1,19	0,21	0,73	0,12	0,44	0,28	0,18	20		
25	9,91	9,96	9,99	9,99	8,77	9,53	9,90	9,92	5,83	8,00	9,51	9,86	3,07	5,60	8,67	9,73	1,53	3,42	7,28	9,04	0,77	1,94	5,52	8,14	0,45	1,19	4,10	7,11	0,27	0,73	2,90	5,85	0,17	0,47	2,03	4,75	0,11	0,31	1,43	3,72	0,21	0,95	3,05	0,15	0,75	2,23	0,11	0,55	1,72	0,31	0,98	0,17	0,60	0,10	0,35	0,22	0,14	25		
30	9,89	9,96	9,99	9,99	8,55	9,44	9,88	9,90	5,38	7,70	9,41	9,83	2,70	5,14	8,45	9,68	1,31	3,03	6,90	8,87	0,65	1,67	5,07	7,85	0,37	1,01	3,67	6,72	0,22	0,62	2,53	5,47	0,14	0,39	1,75	4,30	0,09	0,26	1,22	3,30	0,18	0,80	2,57	0,13	0,63	1,93	0,09	0,46	1,47	0,26	0,83	0,14	0,50	0,08	0,30	0,19	0,12	30		
35	9,87	9,95	9,99	9,99	8,36	9,35	9,87	9,88	5,00	7,41	9,31	9,81	2,41	4,76	8,24	9,63	1,14	2,71	6,56	8,71	0,56	1,46	4,66	7,58	0,32	0,88	3,32	6,38	0,19	0,53	2,25	5,08	0,12	0,34	1,54	3,92	0,08	0,22	1,06	3,00	0,15	0,70	2,24	0,11	0,54	1,70	0,08	0,40	1,29	0,23	0,72	0,12	0,43	0,07	0,25	0,16	0,10	35		
40	9,86	9,95	9,99	9,99	8,16	9,27	9,85	9,86	4,66	7,15	9,21	9,78	2,17	4,43	8,03	9,58	1,01	2,45	6,25	8,55	0,49	1,30	4,35	7,32	0,28	0,78	3,03	6,06	0,17	0,47	2,03	4,75	0,10	0,30	1,37	3,61	0,07	0,20	0,94	2,700	0,13	0,61	2,01	0,09	0,48	1,52	0,07	0,35	1,15	0,20	0,63	0,11	0,38	0,06	0,22	0,14	0,09	40		
45	9,84	9,94	9,98	9,99	7,98	9,19	9,83	9,84	4,37	6,91	9,11	9,76	1,98	4,14	7,84	9,53	0,91	2,24	5,98	8,40	0,44	1,18	4,07	7,06	0,25	0,70	2,79	5,78	0,15	0,42	1,84	4,46	0,09	0,26	1,24	3,34	0,06	0,17	0,85	2,47	0,12	0,55	1,83	0,08	0,43	1,37	0,06	0,31	1,03	0,18	0,57	0,09	0,33	0,05	0,20	0,12	0,08	45		
50	9,82	9,93	9,98	9,99	7,81	9,10	9,81	9,82	4,11	6,67	9,01	9,73	1,81	3,89	7,65	9,48	0,83	2,06	5,72	8,25	0,40	1,07	3,81	6,86	0,23	0,63	2,58	5,52	0,13	0,38	1,69	4,20	0,08	0,24	1,13	3,10	0,05	0,15	0,77	2,28	0,11	0,50	1,68	0,07	0,38	1,25	0,05	0,28	0,94	0,16	0,51	0,08	0,30	0,05	0,18	0,11	0,07	50		
60	9,79	9,92	9,98	9,99	7,48	8,94	9,77	9,80	3,68	6,26	8,88	9,68	1,56	3,46	7,31	9,38	0,70	1,78	5,27	8,00	0,33	0,91	3,39	6,46	0,19	0,53	2,25	5,07	0,11	0,32	1,45	3,76	0,07	0,20	0,96	2,73	0,047	0,13	0,65	1,98	0,09	0,42	1,44	0,06	0,32	1,07	0,04	0,23	0,80	0,13	0,43	0,07	0,25	0,04	0,15	0,09	0,06	60		
70	9,75	9,91	9,98	9,99	7,18	8,79	9,74	9,78	3,33	5,89	8,75	9,63	1,37	3,12	7,00	9,29	0,60	1,57	4,88	7,72	0,29	0,79	3,06	6,10	0,16	0,46	2,06	4,68	0,10	0,27	1,27	3,40	0,06	0,17	0,83	2,44	0,040	0,11	0,56	1,74	0,07	0,36	1,26	0,05	0,28	0,93	0,04	0,20	0,69	0,11	0,37	0,06	0,22	0,03	0,13	0,08	0,05	70		
80	9,72	9,90	9,98	9,99	6,90	8,64	9,70	9,76	3,04	5,57	8,63	9,58	1,22	2,84	6,71	9,20	0,53	1,40	4,53	7,47	0,25	0,70	2,78	5,78	0,14	0,40	1,78	4,36	0,08	0,24	1,13	3,11	0,05	0,15	0,73	2,20	0,035	0,10	0,49	1,56	0,07	0,31	1,12	0,04	0,24	0,82	0,03	0,18	0,61	0,10	0,32	0,05	0,19	0,03	0,11	0,07	0,04	80		
90	9,69	9,89	9,97	9,99	6,64	8,50	9,66	9,74	2,80	5,27	8,50	9,53	1,10	2,61	6,44	9,10	0,48	1,26	4,26	7,24	0,23	0,62	2,55	5,49	0,12	0,36	1,62	4,06	0,07	0,21	1,01	2,87	0,048	0,13	0,66	2,00	0,031	0,09	0,44	1,41	0,06	0,28	1,01	0,04	0,22	0,74	0,03	0,16	0,57	0,09	0,29	0,04	0,17	0,02	0,10	0,06	0,04	90		
100	9,66	9,87	9,97	9,99	6,40	8,35	9,63	9,72	2,59	5,01	8,37	9,48	1,00	2,41	6,20	9,01	0,43	1,15	4,00	7,03	0,20	0,57	2,35	5,23	0,11	0,32	1,48	3,81	0,06	0,19	0,92	2,66	0,043	0,12	0,60	1,84	0,028	0,08	0,40	1,29	0,05	0,25	0,91	0,03	0,19	0,67	0,02	0,14	0,49	0,08	0,26	0,04	0,15	0,02	0,08	0,05	0,03	100		

Tabelle Vb.

Für D = 30, 35, 40 und 45 Millimeter.

Schlauchlänge L in Meter	d = 6 mm				d = 7 mm				d = 8 mm				d = 9 mm				d = 10 mm				d = 11 mm				d = 12 mm				d = 13 mm			
	Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite							
	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45
10	9,68	9,86	9,93	9,96	9,45	9,76	9,89	9,94	9,10	9,60	9,80	9,90	8,63	9,37	9,69	9,84	8,06	9,08	9,40	9,75	7,39	8,71	9,34	9,64	6,67	8,27	9,10	9,51	5,93	7,76	8,81	9,34
15	9,53	9,80	9,90	9,94	9,20	9,64	9,84	9,91	8,71	9,41	9,71	9,85	8,08	9,10	9,55	9,76	7,35	8,69	9,33	9,64	6,54	8,18	9,05	9,48	5,72	7,62	8,71	9,28	4,92	6,98	8,30	9,04
20	9,38	9,73	9,87	9,93	8,96	9,53	9,78	9,88	8,36	9,23	9,62	9,80	7,60	8,82	9,41	9,68	6,74	8,31	9,12	9,52	5,86	7,71	8,77	9,32	5,00	7,06	8,35	9,07	4,21	6,34	7,85	8,76
25	9,24	9,67	9,84	9,91	8,73	9,42	9,73	9,85	8,03	9,06	9,53	9,75	7,16	8,57	9,27	9,61	6,17	7,99	8,93	9,41	5,32	7,30	8,51	9,16	4,44	6,57	8,02	9,87	3,69	5,80	7,46	8,50
30	9,11	9,60	9,80	9,90	8,52	9,32	9,68	9,82	7,72	8,89	9,44	9,70	6,78	8,34	9,14	9,53	5,80	7,67	8,74	9,30	4,86	6,92	8,26	9,01	4,00	6,15	7,71	8,67	3,38	5,36	7,09	8,25
35	8,97	9,54	9,77	9,88	8,24	9,21	9,63	9,79	7,46	8,73	9,35	9,65	6,43	8,12	9,01	9,46	5,42	7,39	8,57	9,20	4,48	6,58	8,03	8,87	3,64	5,78	7,43	8,49	2,94	4,97	6,77	8,09
40	8,85	9,48	9,74	9,86	8,12	9,11	9,58	9,76	7,18	8,57	9,27	9,61	6,12	7,90	8,88	9,39	5,09	7,11	8,39	9,09	4,15	6,28	7,80	8,73	3,33	5,45	7,17	8,30	2,67	4,64	6,47	7,80
45	8,72	9,41	9,71	9,85	8,00	9,01	9,53	9,74	6,94	8,43	9,19	9,56	5,85	7,70	8,76	9,32	4,80	6,87	8,23	8,99	3,87	6,00	7,60	8,59	3,08	5,16	6,93	8,13	2,44	4,35	6,20	7,58
50	8,60	9,35	9,68	9,83	7,75	8,91	9,48	9,71	6,71	8,28	9,10	9,51	5,58	7,50	8,64	9,25	4,53	6,63	8,06	8,89	3,62	5,74	7,40	8,46	2,86	4,90	6,69	7,96	2,25	4,09	5,94	7,39
60	8,36	9,24	9,62	9,80	7,42	8,73	9,38	9,65	6,29	8,01	8,92	9,42	5,14	7,16	8,41	9,11	4,09	6,24	7,77	8,70	3,21	5,29	7,04	8,21	2,50	4,44	6,28	7,65	1,95	3,66	5,50	7,02
70	8,14	9,12	9,56	9,77	7,11	8,54	9,29	9,60	5,93	7,75	8,78	9,34	4,74	6,82	8,21	8,98	3,72	5,85	7,50	8,52	2,88	4,91	6,71	7,97	2,25	4,07	5,91	7,36	1,72	3,31	5,11	6,69
80	8,00	9,01	9,50	9,73	6,83	8,37	9,20	9,54	5,60	7,47	8,64	9,25	4,41	6,54	7,99	8,85	3,41	5,54	7,23	8,34	2,62	4,57	6,41	7,75	2,00	3,75	5,59	7,10	1,54	3,02	4,77	6,39
90	7,73	8,90	9,44	9,70	6,57	8,19	9,10	9,49	5,31	7,20	8,50	9,16	4,12	6,25	7,80	8,72	3,15	5,23	6,99	8,17	2,40	4,28	6,13	7,53	1,82	3,48	5,35	6,85	1,39	2,78	4,49	6,11
100	7,54	8,79	9,39	9,67	6,33	8,04	9,01	9,43	5,08	7,06	8,36	9,08	3,87	6,00	7,61	8,60	2,93	4,96	6,76	8,01	2,21	4,03	5,90	7,33	1,66	3,24	5,03	6,62	1,27	2,57	4,23	5,86

Schlauchlänge L in Meter	d = 15 mm				d = 17,5 mm				d = 20 mm				d = 22,5 mm				d = 25 mm				d = 27,5 mm				d = 30 mm				d = D mm					
	Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite					
	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45	35	40
10	4,50	6,61	8,05	8,88	2,80	5,12	6,90	8,11	2,06	3,81	5,66	7,16	1,39	2,78	4,49	6,10	0,96	2,01	3,48	5,08	0,67	1,47	2,64	4,13	0,48	1,08	2,05	3,32	0,61	0,75	0,86			
15	2,53	5,64	7,33	8,41	2,06	4,12	6,00	7,41	1,53	2,91	4,65	6,39	0,97	1,96	3,87	5,12	0,66	1,44	2,63	4,11	0,46	1,03	1,95	3,20	0,33	0,75	1,46	2,25	0,42	0,51	0,59			
20	2,90	4,93	6,73	7,99	1,62	3,44	5,27	6,82	1,14	2,35	3,95	5,57	0,74	1,61	2,89	4,12	0,50	1,12	2,11	3,40	0,35	0,79	1,54	2,60	0,25	0,57	1,14	1,99	0,31	0,39	0,44			
25	2,47	4,38	6,22	7,61	1,34	2,96	4,71	6,32	0,90	1,98	3,43	5,02	0,60	1,30	2,46	3,86	0,40	0,91	1,76	2,92	0,28	0,62	1,27	2,20	0,20	0,46	0,93	1,66	0,25	0,31	0,36			
30	2,14	3,94	5,79	7,26	1,14	2,60	4,26	5,89	0,79	1,70	3,03	4,56	0,51	1,13	2,13	3,44	0,34	0,77	1,51	2,56	0,23	0,54	1,08	1,90	0,16	0,39	0,79	1,42	0,21	0,26	0,30			
35	1,90	3,57	5,41	6,94	1,00	2,31	3,89	5,51	0,69	1,50	2,71	4,18	0,44	1,00	1,90	3,10	0,29	0,67	1,32	2,27	0,20	0,47	0,94	1,68	0,14	0,34	0,68	1,24	0,18	0,22	0,26			
40	1,70	3,27	5,07	6,65	0,88	2,08	3,57	5,18	0,60	1,33	2,46	3,86	0,38	0,87	1,69	2,82	0,25	0,59	1,17	2,05	0,17	0,41	0,83	1,50	0,12	0,29	0,60	1,10	0,16	0,20	0,23			
45	1,54	3,02	4,78	6,39	0,79	1,89	3,31	4,88	0,54	1,20	2,24	3,59	0,34	0,78	1,53	2,59	0,23	0,53	1,06	1,86	0,15	0,36	0,75	1,35	0,11	0,26	0,54	0,99	0,14	0,17	0,20			
50	1,40	2,80	4,52	6,14	0,72	1,73	3,08	4,62	0,49	1,10	2,07	3,35	0,31	0,71	1,40	2,39	0,20	0,48	0,96	1,71	0,14	0,33	0,68	1,23	0,10	0,24	0,48	0,90	0,13	0,16	0,18			
60	1,20	2,45	4,07	5,70	0,60	1,49	2,70	4,17	0,41	0,93	1,78	2,96	0,26	0,60	1,19	2,07	0,17	0,40	0,81	1,46	0,11	0,28	0,57	1,01	0,08	0,21	0,41	0,76	0,09	0,13	0,15			
70	1,04	2,17	3,70	5,32	0,52	1,30	2,41	3,80	0,35	0,81	1,59	2,64	0,22	0,52	1,04	1,83	0,14	0,34	0,71	1,28	0,10	0,24	0,49	0,88	0,07	0,17	0,35	0,66	0,09	0,11	0,13			
80	0,93	1,96	3,40	4,99	0,46	1,16	2,17	3,50	0,31	0,71	1,40	2,39	0,19	0,45	0,92	1,64	0,13	0,30	0,62	1,14	0,09	0,21	0,43	0,81	0,06	0,15	0,30	0,58	0,08	0,10	0,11			
90	0,83	1,78	3,14	4,70	0,41	1,04	1,98	3,23	0,28	0,64	1,26	2,18	0,17	0,41	0,83	1,48	0,11	0,27	0,56	1,02	0,08	0,18	0,39	0,72	0,05	0,13	0,27	0,52	0,07	0,09	0,10			
100	0,75	1,63	2,92	4,43	0,37	0,95	1,82	3,00	0,25	0,58	1,15	2,01	0,15	0,37	0,75	1,36	0,10	0,24	0,50	0,93	0,07	0,17	0,35	0,65	0,05	0,12	0,25	0,47	0,06	0,08	0,09			

Tabelle Vc.

Für D = 50, 60, 70 und 80 bis 100 Millimeter.

Schlauchlänge L in Meter	d = 10 mm				d = 11 mm				d = 12 mm				d = 13 mm				d = 15 mm				d = 17,5 mm				d = 20 mm				d = 22,5 mm				d = 25 mm				d = 27,5 mm				d = 30 mm				d = D mm oder gleich Schlauchweite oder Rohrweite								Schlauch- oder Rohrlänge in Meter
	Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite				Schlauchweite oder Rohrweite												
	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80	85	90	100		
10	9,86	9,95	9,97	9,99	9,78	9,92	9,96	9,98	9,72	9,89	9,95	9,98	9,62	9,86	9,94	9,97	9,34	9,75	9,89	9,94	8,85	9,55	9,80	9,90	8,19	9,26	9,70	9,84	7,39	8,87	9,48	9,73	6,50	8,37	9,23	9,61	5,59	7,77	8,91	9,45	4,72	7,12	8,52	9,23	1,05	1,34	1,63	1,93	2,13	2,23	2,51	10	
15	9,79	9,92	9,96	9,98	9,68	9,89	9,95	9,97	9,59	9,85	9,93	9,97	9,44	9,79	9,91	9,95	9,05	9,64	9,84	9,92	8,37	9,35	9,71	9,86	7,51	8,94	9,48	9,76	6,53	8,41	9,24	9,61	5,53	7,74	8,89	9,44	4,58	7,01	8,45	9,20	3,73	6,23	7,94	8,91	0,73	0,93	1,15	1,37	1,53	1,60	1,82	15	
20	9,73	9,90	9,95	9,98	9,58	9,85	9,93	9,97	9,46	9,80	9,91	9,96	9,27	9,73	9,88	9,94	8,77	9,53	9,79	9,89	7,94	9,16	9,61	9,81	6,94	8,62	9,26	9,67	5,86	7,96	9,01	9,49	4,81	7,20	8,57	9,26	3,88	6,37	8,04	8,96	3,09	5,53	7,43	8,58	0,55	0,72	0,89	1,07	1,19	1,25	1,43	20	
25	9,66	9,87	9,94	9,97	9,48	9,82	9,92	9,96	9,33	9,75	9,89	9,95	9,11	9,66	9,85	9,92	8,52	9,42	9,74	9,87	7,55	8,96	9,52	9,76	6,44	8,35	9,08	9,61	5,31	7,60	8,90	9,37	4,26	6,72	8,33	9,10	3,36	5,83	7,69	8,73	2,63	4,98	6,99	8,29	0,41	0,58	0,72	0,87	0,98	1,02	1,18	25	
30	9,60	9,85	9,93	9,97	9,38	9,78	9,90	9,95	9,21	9,70	9,87	9,94	8,95	9,60	9,82	9,91	8,26	9,32	9,69	9,84	7,20	8,77	9,43	9,72	6,02	8,08	8,90	9,53	4,85	7,23	8,59	9,26	3,82	6,31	8,00	8,93	2,97	5,38	7,32	8,51	2,30	4,52	6,58	8,01	0,37	0,49	0,61	0,74	0,83	0,87	1,00	30	
35	9,54	9,83	9,92	9,96	9,28	9,75	9,89	9,94	9,10	9,65	9,85	9,93	8,79	9,53	9,79	9,90	8,04	9,21	9,64	9,82	6,88	8,60	9,34	9,67	5,64	7,83	8,75	9,46	4,47	6,92	8,40	9,14	3,46	6,00	7,75	8,78	2,66	5,00	7,00	8,31	2,03	4,14	6,23	7,76	0,32	0,42	0,53	0,64	0,72	0,75	0,87	35	
40	9,47	9,80	9,91	9,96	9,19	9,71	9,87	9,94	8,97	9,60	9,83	9,92	8,64	9,47	9,76	9,88	7,82	9,10	9,59	9,79	6,59	9,43	9,26	9,63	5,31	7,58	8,60	9,39	4,14	6,62	8,21	9,03	3,17	5,62	7,51	8,62	2,46	4,66	6,72	8,11	1,83	3,82	5,91	7,52	0,28	0,37	0,46	0,56	0,63	0,67	0,77	40	
45	9,41	9,78	9,90	9,95	9,09	9,68	9,86	9,93	8,86	9,55	9,80	9,91	8,50	9,40	9,73	9,87	7,61	8,99	9,54	9,77	6,33	8,27	9,17	9,58	5,02	7,36	8,45	9,32	3,86	6,36	8,03	8,92	2,92	5,33	7,30	8,48	2,20	4,37	6,46	7,92	1,66	3,55	5,63	7,20	0,25	0,33	0,41	0,50	0,56	0,60	0,69	45	
50	9,35	9,76	9,89	9,95	9,00	9,64	9,84	9,92	8,75	9,50	9,78	9,90	8,36	9,34	9,70	9,86	7,41	8,88	9,49	9,74	6,07	8,10	9,09	9,54	4,75	7,15	8,30	9,25	3,60	6,10	7,85	8,82	2,71	5,07	7,06	8,34	2,02	4,12	6,21	7,74	1,52	3,31	5,37	7,08	0,23	0,30	0,37	0,46	0,51	0,54	0,63	50	
60	9,23	9,70	9,87	9,94	8,83	9,58	9,81	9,91	8,54	9,41	9,74	9,87	8,10	9,22	9,65	9,83	7,05	8,71	9,39	9,69	5,63	7,83	8,93	9,46	4,30	6,76	8,03	9,11	3,20	5,66	7,53	8,62	2,36	4,61	6,66	8,07	1,74	3,68	5,78	7,41	1,30	2,92	4,91	6,69	0,19	0,25	0,31	0,40	0,43	0,45	0,53	60	
70	9,12	9,66	9,85	9,93	8,67	9,51	9,78	9,89	8,34	9,32	9,70	9,85	7,84	9,10	9,59	9,80	6,72	8,53	9,30	9,65	5,25	7,55	8,77	9,37	5,93	6,42	7,77	8,98	2,88	5,28	7,23	8,35	2,09	4,23	6,32	7,82	1,53	3,33	5,39	7,16	1,13	2,61	4,53	6,34	0,16	0,21	0,27	0,35	0,37	0,39	0,45	70	
80	9,01	9,61	9,83	9,92	8,50	9,45	9,75	9,88	8,14	9,23	9,66	9,83	7,61	8,99	9,53	9,77	6,42	8,35	9,21	9,60	4,91	7,28	8,62	9,29	3,61	6,10	7,53	8,85	2,51	4,90	6,96	8,22	1,88	3,91	6,00	7,58	1,36	3,04	5,06	6,82	1,00	2,36	4,20	6,02	0,14	0,19	0,23	0,30	0,32	0,34	0,40	80	
90	8,90	9,56	9,81	9,91	8,34	9,38	9,73	9,86	7,96	9,14	9,62	9,81	7,40	8,87	9,48	9,74	6,14	8,17	9,11	9,55	4,62	7,05	8,47	9,21	3,35	5,82	7,31	8,72	2,39	4,65	6,70	8,06	1,71	3,63	5,71	7,36	1,23	2,80	4,77	6,56	0,90	2,16	3,92	5,74	0,12	0,17	0,21	0,25	0,29	0,31	0,36	90	
100	8,78	9,52	9,79	9,90	8,18	9,32	9,70	9,85	7,78	9,05	9,58	9,79	7,18	8,75	9,43	9,72	5,89	7,98	9,02	9,51	4,32	6,81	8,33	9,12	3,12	5,56	7,10	8,60	2,20	4,39	6,46	7,88	1,56	3,40	5,45	7,15	1,12	2,59	4,50	6,32	0,82	1,98	3,67	5,48	0,11	0,15	0,19	0,23	0,26	0,28	0,32	100	

2-20

S-96

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295935