

2792 II Nr.

TECHNISCHE SELBST-



UNTERRICHTS-BRIEFE



Städtische Wasserversorgung

von

Dipl.-Ing. Arne Jansen

Herausgegeben vom
Rustischen Lehrinstitut.

Mitarbeiter des Systems Karnack-Hachfeld

Becher, Architekt / Becker, Dr. / Behr, Ing. / Bessert, Obering. / Biegler, Ing. / Bischoff, Dr. / Björneberg, Dipl.-Ing. / Blankenstein, Dr. / Bouché, Dipl.-Ing. / Brusich, Dipl.-Ing. / Bonnß, Dipl.-Ing. / Büsselberg, Dr. / Cremer, Ing. / Daiber, Dr.-Ing. / Erkens, Dipl.-Ing. / Falk, Dipl.-Ing. / Fichtbauer, Dipl.-Ing. / Finger, Dipl.-Ing. / Freund, Regierungsbaumeister / Gebauer, Ing. / Glatzel, Dr. / Göpper, Dipl.-Ing. / Haecker, Geh. Baurat / Hänen, Dipl.-Ing. / Happach, Obering. / Heinrich, Ing. / Hoch, Prof. / Holm, Dr.-Ing. / Jansen, Dipl.-Ing. / Jöllenbeck, Ing. / Karraß, Dr.-Ing. / Kaschny, Ing. / Klatte, Architekt und Studienrat / Knichahn, Dr.-Ing. / Köpke, Gewerbeschuldirektor / Kirchuer, Dr. / Koek, Regierungsbaumeister / Koewer, Prof. / Mangels, Ing. / Mirow, Dipl.-Ing. / Moeller, Dr.-Ing. / Mühlbrett, Dr.-Ing. / Redderßen, Regierungsbaumeister / Ohlhans, Ing. / Over, Bergassessor / Pahl, Dipl.-Ing. / Pfeiffer, Dipl.-Ing. / Pohl, Ing. / Preisch, Dipl.-Ing. / Probst, Ing. / Prölß, Oberlehrer / Rahm, Professor / Ramisch, Prof. / Reinglasz, Ing. / Reinhardt, Dipl.-Ing. / Röder, Ing. / Rohr, Architekt / Noll, Dr.-Ing. / Rothmeister, Dipl.-Ing. / Seibt, Fachlehrer / Schmidt, Ing. / Schmidtke, Ing. / Schönrock, Dipl.-Ing. / Schulz-Schwieder, Dipl.-Handelslehrer / Schuppert, Dipl.-Ing. / Schutte, Regierungsbaumeister / Schwarz, Architekt / Springer, Dipl.-Ing. / Steger, Dipl.-Ing. / Straube, Dr.-Ing. / Warnatsch, Architekt / Warschko, Obering. / Wiedert, Dekorations- und Kunstmaler / Willecke, Ing.

Lieferung 6



Alle Rechte vorbehalten



141 832

DS9W111

System Karnack - Hackfeld
TECHNISCHE SELBSTUNTERRICHTS - BRIEFE
CES. GESCH.

Städtische Wasserversorgung

Brief 6

Siebzehnte Stunde (Fortsetzung)

A. Vortrag

b) Ortliche Lage des Pumpwerkes

203. Die Saughöhe der Pumpen soll möglichst gering, die Saugleitung möglichst kurz sein. Man sucht deshalb immer das Pumpwerk möglichst nahe der Wassergewinnungsstelle anzulegen. Diese Anordnung hat außerdem den Vorteil, daß die Wassergewinnung ohne Mehrkosten für den Betrieb unter ständige Aufsicht des Maschinenpersonals gestellt ist. Ist in unmittelbarer Nähe der Gewinnungsstelle keine geeignete Stelle für die Anlage des Pumpwerkes vorhanden, so kann man, um eine lange Saugleitung zu vermeiden, das Wasser mittels einer Heberleitung einem am Pumpwerk angeordneten Brunnenschacht zuführen. Diese Anordnung findet man aber nur in einzelnen Fällen bei der Entnahme von Fluß- und Seewasser.

204. Wenn das Rohwasser vor seiner Verwendung gereinigt werden muß, so wird eine Teilung der Heberarbeit erforderlich, indem das Rohwasser zunächst auf die Reinigungsanlage gehoben und das gereinigte Wasser dann dem Versorgungsgebiet zugeschrückt wird. Die Pumpen, die das Rohwasser auf die Reinigungsanlage heben, nennt man Rohwasserpumpen, Vorpumpen, Filterpumpen oder auch Zubringerpumpen; die Pumpen, die das Reinwasser dem Versorgungsgebiet zuführen, werden Reinwasserpumpen oder Druckpumpen genannt. Bei kleineren Anlagen werden sowohl Rohwasserpumpen als auch Reinwasserpumpen von demselben Motor betrieben.

c) Betriebsdauer und Anzahl der Pumpen

205. Bei größeren Wasserversorgungsanlagen wird in der Regel ein Tag und Nacht durchgehender Betrieb eingeschürt, bei dem die Pumpen nur zwecks Untersuchung, Reinigung usw. kurze Zeit aus dem Betrieb ausgeschaltet werden. Dieses gilt auch bei kleineren Anlagen, die ohne Hochbehälter arbeiten. Je größer aber der Behälterinhalt ist, um so kürzer kann die Betriebsdauer der Pumpen gewählt werden. Allgemein gilt, daß ein dauernder Betrieb zahlreiches Bedienungspersonal, geringe Anlagekosten, aber hohe Betriebskosten verursacht. Kurze Betriebszeiten dagegen bedingen geringes Bedienungspersonal, hohe Anlagekosten,

geringe Betriebskosten und große Hochbehälter. Die günstigste Betriebszeit, die auch von der Wahl der Antriebskraft abhängig ist, kann im Einzelfall nur durch vergleichende Kostenberechnungen ermittelt werden.

206. Der tägliche Wasserbedarf bleibt im Laufe des Jahres nicht gleich, sondern schwankt je nach der Jahreszeit um einen mittleren Wert, den sog. mittleren Tagesverbrauch. Der größte Tagesverbrauch erreicht etwa das 1,5fache des mittleren Tagesverbrauchs (vgl. Einführung, Abs. 48 bis 51). Außerdem nimmt der Wasserbedarf mit der Bevölkerungszunahme allmählich zu. Zur Ausgleichung dieser Schwankungen gibt es nur zwei Mittel:

1. Die Verlängerung der täglichen Betriebsdauer.
2. Die Vergrößerung der Maschinenanlage.

Das letzte Mittel kann immer angewendet werden, das erste nur dann, wenn von vornherein nicht ein durchgehender Betrieb, sondern zunächst eine kürzere Betriebszeit angenommen wird. Bei Wasserversorgungsanlagen, die eine geringe Steigerung des jährlichen Gesamtverbrauches erwarten lassen, wird man fast immer die zeitlichen Verbrauchsschwankungen und später auch den erhöhten Verbrauch durch Änderung der Betriebszeit ausgleichen.

207. Je nach der Größe der erforderlichen Leistung werden eine oder mehrere Pumpen angeordnet. Jede Pumpe muß von Zeit zu Zeit wegen Reinigung, Schmierung usw. ausgeschaltet werden, ebenso kann jede Pumpe einmal infolge Abnutzung, fehlerhaften Materials usw. versagen. Zur Erzielung einer vollständigen Betriebssicherheit muß deshalb eine gewisse Reserve vorgesehen werden. Bei kleinen Anlagen wird der Betrieb gewöhnlich durch eine Pumpe bewältigt. In diesem Falle ist als Reserve eine zweite Pumpe mit derselben Leistungsfähigkeit, also eine Reserve von 100%, erforderlich. Wird die erforderliche Leistung durch zwei gleich große Pumpen besorgt, so genügt eine dritte als Reserve, die in diesem Falle nur 50% beträgt. Bei größerer Anzahl der Pumpen kann man die Reserve noch weiter herabsetzen, jedoch muß mindestens eine Pumpe als Reserve bereitstehen. Je größer die Anzahl der Pumpen ist, um so sicherer arbeitet die Anlage, um so unwirtschaftlicher ist jedoch der Betrieb. Eine größere Anzahl Pumpen kommt deshalb nur dann in Betracht, wenn der Wasserverbrauch stark schwankt und größere Hochbehälter nicht vorhanden sind. Außer der Reservepumpe müssen zwecks schneller Wiederherstellung einer schadhaften Pumpe wichtige Ersatzteile in greifbarer Nähe bereithalten werden.

B. Zusammenfassung

Um die Saughöhe möglichst gering und die Saugleitung möglichst kurz zu machen, versucht man das Pumpwerk möglichst nahe an die Wasser-gewinnungsstelle anzulegen. Muß das Wasser vor seiner Verwendung gereinigt werden, so wird es zunächst durch Rohwasserpumpen auf die

Reinigungsanlage gehoben, gelangt nach vollendeteter Reinigung in den Reinwasserbehälter und wird von dort durch Reinwasserpumpen dem Versorgungsgebiet zugedrückt. Zur Ausgleichung der Schwankungen des täglichen Wasserverbrauchs und der allmählichen Zunahme des jährlichen Gesamtverbrauchs kann man entweder die tägliche Betriebsdauer verlängern oder die Maschinenanlage vergrößern. Voraussetzung für die Verlängerung der Betriebsdauer ist, daß von vornherein nicht ein durchgehender Betrieb angenommen ist. Zur Erzielung einer vollständigen Betriebs sicherheit ist eine Reserve notwendig, die mindestens so groß sein muß, daß sie für jede der für den gewöhnlichen Betrieb erforderlichen Pumpen einen ausreichenden Ersatz zu bilden vermag.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Warum wird das Pumpwerk immer möglichst nahe an der Wassergewinnungsstelle angelegt? Antwort: Um die Saughöhe der Pumpen möglichst gering und die Saugleitung möglichst kurz zu machen. F.: Wie wird das Wasser gehoben, wenn es vor seiner Verwendung gereinigt werden muß? A.: Das Rohwasser wird zunächst durch Rohwasserpumpen auf die Reinigungsanlage gehoben, gelangt nach vollendeteter Reinigung in den Reinwasserbehälter und wird von dort durch Reinwasserpumpen dem Versorgungsgebiete zugedrückt. F.: Wie groß muß die Reserve der Pumpen sein? A.: Mindestens so groß, daß sie für jede der für den gewöhnlichen Betrieb erforderlichen Pumpen einen ausreichenden Ersatz zu bilden vermag.

D. Zur Wiederholung

124. Wie wird der Versorgungsdruck bei einer Wasserversorgung ohne Hochbehälter geregelt?
125. Wie regelt man den Versorgungsdruck mittels eines Standrohres?
126. Was versteht man unter einem Druckwindkessel?
127. Gibt es außer den aus Pumpen und Motor bestehenden Pumpwerken noch andere Anlagen zum Heben des Wassers?
128. Wo wird das Pumpwerk angelegt?
129. Wie kann man eine lange Saugleitung vermeiden, wenn in unmittelbarer Nähe der Wassergewinnungsstelle keine geeignete Stelle für die Anlage des Pumpwerkes vorhanden ist?
130. Wie kann man den Schwankungen des täglichen Wasserverbrauchs und der allmählichen Zunahme des jährlichen Gesamtverbrauchs begegnen?

E. Aufgaben

36. Wie wird der Versorgungsdruck mittels eines Druckwindkessels geregelt?
37. Worin besteht die Wirkung einer Pumpe?
38. Welchen Vorteil und welchen Nachteil hat eine große Anzahl von Pumpen?

Siebzehnte Stunde

A. Vortrag

d) Die Antriebskräfte der Pumpen

208. Zum Antrieb der Pumpen werden verschiedene Kräfte verwendet.

1. Dampfkraft

209. Die Dampfkraft ist heute noch die am meisten verbreitete Kraftquelle. Fast jede Dampfkraftanlage arbeitet heute mit überhitzenem Dampf. Der Dampf wird in einer Dampf =

Kesselanlage erzeugt und in Dampfmaschinen (Kolbenmaschinen) oder Dampfturbinen ausgenutzt. Durch die Anwendung der Kondensation ist man in der Lage, den Gegendruck der Maschine herabzusehen. Nach der Ausführungsart unterscheidet man Mischkondensatoren, bei denen der zu verdichtende Dampf mit dem Kühlwasser gemischt wird, und Oberflächenkondensatoren, bei denen der Dampf sich an Wandungen verdichtet, die auf der anderen Seite wassergekühlt werden. Der Betrieb von Dampfkesseln bedarf der Genehmigung zuständiger Behörden.

210. Die Dampfmaschinen unterscheidet man nach der Lage der Dampfzylinder in stehende und liegende, nach der Anzahl der Zylinder in Ein- und Mehrzylindermaschinen. Bei kleinen Anlagen verwendet man Einzylindermaschinen. Zweizylindermaschinen nennt man auch Zwillingmaschinen, wenn jeder Zylinder für sich mit Frischdampf betrieben wird. Man kann aber auch die Zylinder hintereinander anordnen. Der Frischdampf tritt in den ersten Zylinder, setzt hier einen Teil seiner Spannung in Arbeit um, tritt dann in den zweiten Zylinder, wo er seine Expansion fortsetzt usw. Solche Maschinen nennt man Compound- oder Verbundmaschinen. Lokomobilenen nennt man Dampfmaschinen, bei denen der Kolbenzylinder unmittelbar auf dem Dampfkessel aufmontiert ist; sie können beweglich oder ortsfest sein. Die Dampfmaschinen haben vor den anderen Motoren (mit Ausnahme der Dieselmotoren) den Vorteil, daß ihre Leistung veränderlich ist, so daß sich entsprechend der veränderten Leistung auch die Betriebskosten ändern. Bei Verwendung von Dampfmaschinen kann man deshalb die Betriebsdauer das ganze Jahr unverändert lassen und die Leistung nach Bedarf ändern. Die Dampfmaschine hat auch noch den Vorteil, daß man mit der Kolbenpumpe den gebräuchlichen Kolbengeschwindigkeiten der Dampfmaschine folgen kann, so daß ein unmittelbarer Antrieb der Pumpe durch die Kolbenstange der Dampfmaschine möglich ist.

211. Bei den Dampfturbinen wird die Energie des Dampfes unmittelbar zur Erzeugung drehender Bewegung ausgenutzt. Die Dampfturbinen eignen sich auf Grund ihrer hohen Umdrehungszahl (1000 bis 9000 Umdrehungen in der Minute) hauptsächlich zum Antrieb von Kreisel pumpen. Größere Dampfturbinen (etwa von 500 PS-Leistung an aufwärts) haben einen geringeren Dampfverbrauch als Kolbenmaschinen.

2. Verbrennungsmotoren

212. Bei den Verbrennungsmotoren wird die im Brennstoff enthaltene Energie in der Maschine selbst in mechanische Arbeit umgesetzt. Die Ausnutzung der Brennstoffe ist deshalb wesentlich

besser als in der Dampfkraftanlage. Nach der Art der Verbrennung unterscheidet man Explosionsmotoren, bei denen die Verbrennung der Kraftstoffe im Motor plötzlich erfolgt und Gleichdruckmotoren, bei denen eine allmähliche Verbrennung erfolgt. Nach der Zahl der Kolbenhubbe (Takte) für einen Arbeitsvorgang unterscheidet man Viertaktmotoren und Zweitaktmotoren. Beim Viertakt wird mit dem ersten Hub das Gasgemisch angesaugt, mit dem zweiten wird es komprimiert und am Hubende durch elektrischen Funken oder Glühkörper zur Entzündung gebracht. Mit dem dritten Hub findet Expansion der Verbrennungsgase und die Arbeitsleistung statt, während der vierte Hub der Ausstreibung der Abgase dient. Beim Zweitakt erfolgt das Ansaugen und Verdichten des Gemisches in besonderen Pumpen. Im Motorzylinder erfolgt beim ersten Hub Verdichten des Gasgemisches bis zum vollen Druck, am Hubende Zündung, während des zweiten Hubes Ausdehnung der Verbrennungsgase und Arbeitsentwicklung, am Hubende Auslaß der Abgase und Ausspülung der Abgasreste durch Frischluft. Die Verbrennung im Zylinderinnern erzeugt eine starke Erwärmung. Zur Vermeidung einer vorzeitigen Entzündung des Brennstoffgemisches ist eine Kühlung des Zylinders notwendig. Alle Verbrennungsmotoren haben gemeinsam den Nachteil, daß sie nicht von allein anlaufen, sondern durch äußeres Zutun in Gang gesetzt werden müssen. Kleine Motoren werden mit Hilfe einer Kurbel von Hand, große mittels Druckluft oder eines Elektromotors angelassen.

213. Als Brennstoffe für die Verbrennungsmotoren dienen Gase und Flüssigkeiten. Für kleinere Anlagen verwendet man häufig Leuchtgas von den örtlichen Gaswerken. Für größere Anlagen wird in einer besonderen Generatoranlage das Kraftgas erzeugt, indem ein Gemisch von Luft und Dampf durch eine glühende Kohleschicht geführt wird. Da die Gasentwicklung im Generator durch die Saugwirkung des Motors stattfindet, so bezeichnet man das Kraftgas auch als Sauggas. Gasmotoren werden für die Anlagen, die für die zentrale Wasserversorgung in Frage kommen, fast immer liegend gebaut. Sie können zum Antrieb sowohl von Kolbenpumpen als auch von Kreiselpumpen dienen. Die Übertragung der Kraft auf die Pumpe erfolgt in der Regel durch Riemen. Eine Veränderung der Leistungsfähigkeit ist nicht zu empfehlen. Man wird deshalb bei Verwendung von Gasmotoren in der Regel für die Tage des größten Wasserverbrauchs die höchste Betriebsdauer festsetzen und diese Betriebsdauer dann entsprechend dem geringeren Verbrauch vermindern.

214. Mit flüssigen Brennstoffen arbeiten die Benzinz-, Benzol-, Petroleum- und Spiritusmotoren.

Bei diesen werden die Betriebsstoffe durch besondere Apparate (Vergaser) in Gasform überführt, bevor sie in den Zylinder gelangen.

Eine besondere Stellung nimmt der Dieselmotor ein. Er wird für Wasserwerke als Viertaktmotor gebaut. Beim ersten Hub wird Luft angesaugt, beim zweiten wird die Luft auf 30 bis 32 Atmospären komprimiert und dadurch glühend heiß (600 bis 700°), beim dritten Hub wird der Brennstoff in ganz fein verteilem Zustande (Nebel) eingeführt und entzündet sich von selbst in der heißen Luft, wodurch die Expansion und damit die Arbeitsleistung erfolgt, beim vierten Hub werden die Verbrennungsprodukte ausgetrieben. Bei den Dieselmotoren fällt der Zündapparat fort, weil die Entzündung durch die komprimierte Luft erfolgt (Selbstzündung). Als Brennstoffe für Dieselmotoren werden in Deutschland hauptsächlich Gasöl, Parafinöl und Steinkohlenöl verwendet. Der Brennstoffverbrauch bzw. die Ausnutzung des Brennstoffes ist bei Dieselmotoren günstiger als bei allen anderen Motoren. Wie die Dampfmaschinen haben die Dieselmotoren den Vorteil vor allen anderen Motoren, daß innerhalb gewisser Grenzen der Brennstoffverbrauch der Kraftleistung proportional ist, so daß eine Veränderung der Arbeitsleistung innerhalb dieser Grenzen ohne wirtschaftlichen Nachteil möglich ist. Die Dieselmotoren werden für kleine Anlagen liegend, für große Anlagen stehend gebaut und eignen sich zum Antrieb sowohl von Kolbenpumpen als auch von Kreiselpumpen.

3. Elektromotoren

215. Der Elektromotor setzt den elektrischen Strom in nutzbare Arbeit um. Er ist wie die Dampfturbine ein Rotationsmotor und eignet sich hauptsächlich zum Antrieb von Kreiselpumpen. Da der elektrische Strom heute fast in jedem Ort von großen Kraftwerken geliefert wird, hat der Elektromotor durch seine niedrigen Anschaffungskosten und seinen geringen Platzbedarf trotz der verhältnismäßig hohen Betriebskosten überall große Verbreitung gefunden.

B. Zusammenfassung

Eine Dampfkraftanlage besteht aus der Dampfkesselanlage und der eigentlichen Maschinenanlage; diese kann als Kolbenmaschine oder Dampfturbine gebaut sein. Dampfmaschinen werden nach der Art der Aufstellung der Zylinder in stehende und liegende, nach der Anzahl der Zylinder in Einzylinder- und Mehrzylindermaschinen eingeteilt. Mit der Kolbenstange der Dampfmaschine kann unter Umständen die Kolbenpumpe unmittelbar angetrieben werden. Bei den Dampfturbinen wird die Energie des Dampfes unmittelbar zur Erzeugung drehender Bewegung ausgenutzt. Dampfturbinen eignen sich deshalb hauptsächlich zum Antrieb von Kreiselpumpen. Bei den Verbrennungsmotoren wird die in den Brennstoffen enthaltene Energie in der Maschine selbst in mechanische Arbeit umgesetzt. Je nachdem hierbei die

Verbrennung eine plötzliche oder allmähliche ist, unterscheidet man Explosionsmotoren und Gleichdruckmotoren. Je nachdem sich der Arbeitsvorgang auf 4 oder 2 Hübe verteilt, unterscheidet man Viertaktmotoren und Zweitaktmotoren. Als Brennstoffe für Verbrennungsmotoren verwendet man verschiedene Gase und Flüssigkeiten. Die flüssigen Brennstoffe müssen durch Vergaser in Gasform übergeführt werden, bevor sie in den Zylinder gelangen. Bei den Dieselmotoren wird durch den Kolben kein Gasgemisch, sondern nur Luft angesaugt und diese auf 30 bis 32 Atmosphären komprimiert. Sie wird dadurch glühend heiß, so daß der am Beginn des Arbeitshubes in feinverteilter Form eingeführte Brennstoff von selbst in der Luft entzündet. Die Verbrennungsmotoren haben gemeinsam den Nachteil, daß sie durch äußere Kraftwirkung in Gang gesetzt werden müssen. Bei Dampfmaschinen und Dieselmotoren kann die Leistung innerhalb gewisser Grenzen ohne wirtschaftlichen Nachteil geändert werden. Elektromotoren werden auf Grund ihrer geringen Anschaffungskosten und Ansprüche an Raum trotz ihrer verhältnismäßig hohen Betriebskosten viel verwendet.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Woraus besteht eine Dampfkraftanlage? Antwort: Aus der Dampfkesselanlage und der eigentlichen Maschinenanlage. F.: Welches ist das Kennzeichen einer Verbundmaschine? A.: Hintereinander geschaltete Dampfzylinder, bei denen der Frischdampf nur in den ersten Zylinder eingebracht wird, wo er einen Teil seiner Spannung in Arbeit umsetzt, dann in den zweiten Zylinder eintritt, wo seine Expansion fortgesetzt wird. F.: Was versteht man unter einer Dampfturbine? A.: Eine Dampfkraftanlage, bei der die Energie des Dampfes unmittelbar zur Erzeugung drehender Bewegung ausgenutzt wird. F.: Was versteht man unter einem Verbrennungsmotor? A.: Einen Motor, bei dem die Energie des Brennstoffes in der Maschine selbst in mechanische Arbeit umgesetzt wird. F.: Welches ist der gemeinsame Nachteil aller Verbrennungsmotoren? A.: Dass sie nicht von allein anlaufen, sondern durch äußeres Zutun in Gang gesetzt werden müssen. F.: Welche Pumpen können durch Verbrennungsmotoren angetrieben werden? A.: So-wohl Kolbenpumpen als auch Kreiselpumpen.

A. Vortrag

e) Berechnung der Antriebskraft

216. In Abb. 77 ist eine einfache Hebung dargestellt, wie sie z. B. vorkommt, wenn das Wasser von einem Sammelbrunnen ohne Reinigung nach dem Hochbehälter gefördert wird. Bezeichnet Q die Tagesförderung in m^3 , n die Anzahl der Betriebsstunden und q die sekundliche Fördermenge in kg, so ist:

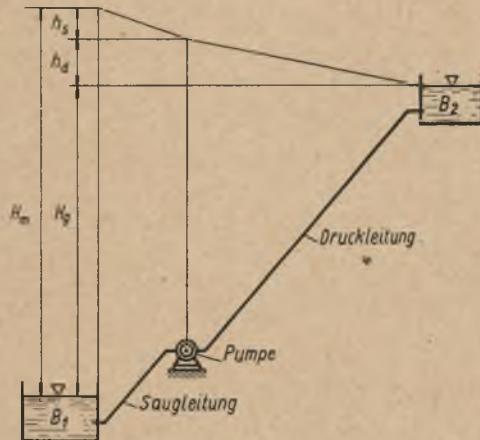


Abb. 77. Förderhöhen zwischen Sammelbrunnen und Hochbehälter

$$q = \frac{Q \cdot 1000}{3600 \cdot n} \quad \dots \quad (37)$$

In der Abbildung bezeichnet H_g die geodätische Förderhöhe, d. h. den absoluten Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel im Behälter B_2 und dem Wasserspiegel im Behälter B_1 . Bezeichnet nun h_s den Reibungsverlust in der vom Behälter B_1 bis zur Pumpe P führenden Saugleitung und h_d den Reibungsverlust in der von der Pumpe nach dem Behälter B_2 führenden Druckleitung, so ist die manometrische Förderhöhe

$$H_m = H_g + h_s + h_d \dots \dots \dots \quad (38)$$

Um die Wassermenge q kg in der Sekunde von dem Behälter B_1 nach dem Behälter B_2 zu fördern, muß die Pumpe eine Arbeit leisten gleich

$$A_1 = q \cdot H_m = \frac{1000 \cdot Q}{3600 \cdot n} (H_g + h_s + h_d) \dots \dots \quad (39)$$

Wenn H_m , H_g , h_s und h_d in m gemessen werden, so beträgt die in der Sekunde geleistete Arbeit in Pferdestärken (1 PS = 75 kgm/sec):

$$A_2 = \frac{q \cdot H_m}{75} = \frac{1000 \cdot Q}{75 \cdot 3600 \cdot n} (H_g + h_s + h_d) \dots \dots \quad (40)$$

Die zum Antrieb der Pumpe erforderliche Arbeit des Motors errechnet sich aus der Gleichung

$$A_3 = \frac{q \cdot H_m}{75 \cdot \eta} = \frac{1000 \cdot Q}{75 \cdot 3600 \cdot n \cdot \eta} (H_g + h_s + h_d) \dots \dots \quad (41)$$

Hierin ist η (eta) der Wirkungsgrad der Pumpe

$$\eta = \frac{A_2}{A_3} \dots \dots \dots \quad (42)$$

d. h. das Verhältnis der durch die Pumpe wirklich geleisteten Arbeit zu der zur Erzielung dieser Arbeit erforderlichen Arbeit des Motors. Der Wirkungsgrad der Pumpe umfaßt sämtliche in der Pumpe (nicht in den Rohrleitungen) auftretende Verluste. Er schwankt bei Kolbenpumpen zwischen 0,80 und 0,90, bei Kreisel-pumpen zwischen 0,40 und 0,80.

217. Bei der Wahl der Pumpenart und des Motors ist in erster Linie die Betriebssicherheit maßgebend. Ergeben im Einzelfall mehrere Pumpen- und Motorarten genügende Betriebs-sicherheit, so entscheiden die Kosten der Anlage und des Betriebes.

B. Zusammenfassung

Die Arbeitsleistung der Pumpe wird gemessen als das Produkt der in der Sekunde geförderten Wassermenge und der manometrischen Förderhöhe, die sich zusammensetzt aus der geodätischen Förderhöhe und den Reibungs-verlusten in Saug- und Druckleitung. Der Wirkungsgrad der Pumpe ist das Verhältnis der durch die Pumpe wirklich geleisteten Arbeit zu der zur Erzielung dieser Arbeit erforderlichen Arbeit des Motors. Er umfaßt sämtliche in der Pumpe auftretende Verluste.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Was versteht man unter der manometrischen Förderhöhe? Antwort: Die Summe der geodätischen Förderhöhe und der Höhen, die den Reibungsverlusten in Saug- und Druckleitung entsprechen. F.: Wie groß ist die von der Pumpe in der Sekunde geleistete Arbeit? A.: Sie ist gleich dem Produkt aus der sekundlich geförderten Wassermenge und der manometrischen Förderhöhe. F.: Was versteht man unter dem Wirkungsgrad der Pumpe? A.: Das Verhältnis der durch die Pumpe wirklich geleisteten Arbeit zu der zur Erzeugung dieser Arbeit erforderlichen Arbeit des Motors. F.: Wie groß ist der Wirkungsgrad von Kolbenpumpen? A.: Er schwankt zwischen 0,80 und 0,90.

D. Zur Wiederholung

131. Welcher Unterschied besteht zwischen Mischkondensatoren und Oberflächenkondensatoren?
132. Welches ist das Kennzeichen der Lokomobilen?
133. Welche Pumpen können durch Dampfturbinen angetrieben werden?
134. Was versteht man unter einem Viertaktmotor?
135. Welcher Motor hat den günstigsten Brennstoffverbrauch?
136. Was versteht man unter der geodätischen Förderhöhe?

E. Aufgaben

39. Wie ist der Arbeitsvorgang bei einem Viertaktgasmotor?
40. Wie viele PS muß der Motor leisten, wenn die durch ihn angetriebene Pumpe eine Wassermenge von 120 l in der Sekunde 57 m hoch (manometrische Förderhöhe) heben soll? Der Wirkungsgrad der Pumpe beträgt 0,65.

A c h z e h n t e S t u n d e

A. Vortrag

VI. Leitung und Verteilung des Wassers

a) Bewegung des Wassers in offenen und geschlossenen Leitungen

218. Bewegt sich eine Wassermenge Q in der Zeiteinheit mit der mittleren Geschwindigkeit v in einem vom Wasser erfüllten Querschnitt F , so gilt die Beziehung

$$Q = F \cdot v \quad (43)$$

Zur Überwindung der Bewegungswiderstände bei der Zurücklegung einer Strecke l ist eine Druckhöhe h erforderlich. Diese entspricht bei der Bewegung in offenen Leitungen (Abb. 78) dem Höhenunterschied der Sohle zwischen dem Anfangs- und Endpunkt der Strecke l . Bei der Bewegung des Wassers in geschlossenen Leitungen (Abb. 79) ist der Druckverlust h der Unterschied zwischen der Druckhöhe im Anfangspunkt und der im

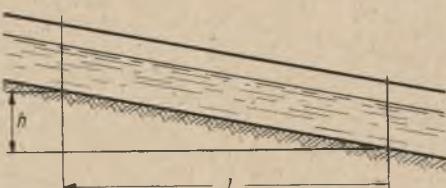


Abb. 78. Druckverlust in offenen Leitungen

Endpunkt der Strecke l. Den Wert $J = \frac{h}{l}$ nennt man den Druckverlust je Längeneinheit oder das spezifische Gefälle der Strecke l. Bezeichnet man mit:

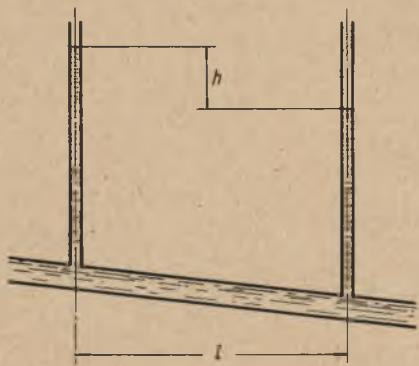


Abb. 79

Druckverlust in geschlossenen Leitungen
nennt die Grundgleichung

$$v = c \sqrt{R \cdot J} \quad \dots \dots \dots \quad (44)$$

219. Zur Berechnung des Beiwertes c und somit der Geschwindigkeit v sind eine große Anzahl von Formeln von namhaften Sachverständigen entwickelt worden.¹⁾ Im nachstehenden sollen nur zwei Formeln gebracht werden, die für die Berechnung von Kanälen und Rohrleitungen allgemeine Anwendung gefunden haben.

Ganguillet und Kutter fanden auf Grund zahlreicher Versuche für Gefälle größer als 0,0005 (1 : 2000) die Formel

$$v = \frac{100 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \sqrt{R \cdot J} \quad \dots \dots \dots \quad (45)$$

m ist ein Beiwert, der nur von der Rauigkeit der Leitung abhängig ist. Die Werte für m sind aus der Tafel 3 zu entnehmen.

Auf Grund der Versuche von Ganguillet und Kutter und zahlreicher eigener Versuche fand Bazin für Profile jeder Art die Formel

$$v = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot J} \quad \dots \dots \dots \quad (46)$$

Für γ gibt Bazin folgende Werte an:

Sehr ebene Wände (Zementglattstrich, gehobeltes Holz, sorgfältige Arbeit und Erhaltung, Holzrohrleitungen) $\gamma = 0,06$

¹⁾ Vgl. Lehrbriefe „Stadtentwässerung“.

U den vom Wasser benetzten Umfang des Leitungsquerschnittes F ,

$R = \frac{F}{U}$ den Profilradius
oder hydraulischen Radius
und mit

c einen von der Rauigkeit
der Leitungswand, dem
Profilradius R und der
Geschwindigkeit v abhängigen Reibungswert
oder Rauigkeits-
beiwert,

so gilt zwischen den genann-

Tafel 3

Querschnitt der Leitung	Art der Leitungswände	m
halbkreisförmig	reiner, fein geglätteter Zementputz reiner, glatter Zementputz oder sehr gut gehobeltes Holz, Holzrohre	0,12 0,15
rechteckig und andere Formen	gewöhnliche, rauhe Bretter, sorgfältig hergestelltes Siegel- und rein bearbeitetes Quadermauerwerk, Zementglattstrich, Wasserleitungsröhre nach längerem Gebrauch ohne besonders starke Inkrustationen Ziegelmauerwerk, Bohlenwände, Quadermauerwerk, Zementrohr oder glatte Ziegelkanäle, Abwasserkanäle aus Steinzeug altes, rauhes Ziegelmauerwerk Rauhmauerwerk mit schlammiger Sohle	0,25 0,35 0,45 0,75
trapezförmig	sehr regelmäßig ausgeführter Erdkanal ohne Wasserpflanzen	1,50

E b e n e W ä n d e (bearbeitetes Mauerwerk, Bohlen, Quader, gut gesugte Ziegel, stählerne Rohrleitungen) $\gamma = 0,16$
 Wenige ebene Wände (gewöhnliches Bruchsteinmauerwerk, roher Beton) $\gamma = 0,46$
 Erdwände und Pflasterungen bei sehr regelmäßigen Querschnitten, Kanäle in Erde mit gepflasterten Böschungen $\gamma = 0,85$

b) Berechnung von Wasserrohrleitungen

220. Zur Fortleitung von Wasser für die städtische Wasserversorgung werden fast ausschließlich Rohrleitungen mit kreisrundem Querschnitt verwendet. Bei der Berechnung stählerner Rohrleitungen ist zu berücksichtigen, daß selbst bei reinem Wasser infolge der stets mitgeführten Lust das Eisen an einigen Stellen allmählich zu rosten beginnt. Enthält das Wasser Kalk-, Magnesia- und Eisenverbindungen, so zeigen sich diese allmählich an den Rohrwandungen ab. Durch diese Ausscheidungen (Inkrustationen) wird der Rohrquerschnitt kleiner und der Reibungsverlust größer. Dieser Übelstand läßt sich durch eine von Zeit zu Zeit vorgenommene Reinigung der Leitung wohl herabmindern, aber nicht ganz beseitigen. Die Zuverlässigkeit der Berechnung ist deshalb wesentlich von der richtigen Wahl des Rauhigkeitsbeiwertes abhängig. Dadurch, daß diese Wahl in der Hand des Ingenieurs liegt, wird aber gleichzeitig diesem Gelegenheit

gegeben, den Verhältnissen des vorliegenden Falles Rechnung zu tragen. In den weitaus meisten Fällen wird die Formel 45 mit $m = 0,25$ Werte geben, die eine gute Übereinstimmung mit Versuchen an gebrauchten eisernen Rohrleitungen zeigen.

Bei der Berechnung der Rohrleitungen ist auch darauf zu achten, daß man bezüglich der Geschwindigkeit des Wassers nicht ganz freie Wahl hat. Als höchste Grenze für die Geschwindigkeit, mit der reines Wasser sich in stählernen Rohrleitungen bewegen kann, ohne den Schutzüberzug der inneren Wandung anzugreifen, kann nach den bisherigen Erfahrungen der Wert von 3 m in der Sekunde angenommen werden. In der Regel wird man aber gut tun, mit der Geschwindigkeit nicht über 2 m zu gehen.

221. Die unmittelbare Berechnung der Rohre nach den Formeln 45 und 46 ist umständlich und zeitraubend. Zur Erleichterung der Berechnung dient die Tafel 4, in der für die gebräuchlichen Rohrdurchmesser von 40 bis 2000 mm und für verschiedene Druckverluste die zugehörige mittlere Geschwindigkeit v in m je Sek. und die zugehörige Durchflußmenge Q in Litern in der Sekunde (l/sec) angegeben sind, wie sie sich nach Formel 45 mit $m = 0,25$ und nach Formel 43 ergeben.

Alle in der Tafel 4 nicht angegebenen Zwischenwerte können durch Interpolation (Ausmittelung) gefunden werden. So berechnet sich z. B. die bei einem bestimmten Durchmesser zu einem bestimmten, in der Tafel nicht angegebenen Wert von J gehörige Wassermenge Q aus der Formel

$$Q_x = Q' - \frac{Q_d}{J_d} (J' - J_x) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (47)$$

Hierin bedeutet:

J_x den gegebenen Wert von J ,

J' den nächsthöheren Wert von J in der Tafel 4,

J_d die Differenz zwischen J' und dem nächstniedrigeren Wert von J in der Tafel 4,

Q' den zu J' gehörigen Wert von Q und

Q_d die Differenz zwischen Q' und dem nächstniedrigeren Wert von Q bei demselben Rohrdurchmesser.

Ist J_x der gesuchte Wert, so bestimmt sich dieser zu:

$$J_x = J' - \frac{J_d}{Q_d} (Q' - Q_x) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (48)$$

Wird die zu Q_x gehörige Wassergeschwindigkeit v_x gesucht, so ist:

$$v_x = v' - \frac{v_d}{Q_d} (Q' - Q_x) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (49)$$

222. Um den Studierenden mit der Benutzung der Tafel 4 vertraut zu machen, wollen wir einige Beispiele durchrechnen:

Beispiel 1: Welcher Rohrdurchmesser ist bei einer Be-

lastung von 120 l/sec zu wählen, wenn der Druckverlust je Längeneinheit 0,00725 m betragen darf?

Lösung: Der Wert von J liegt zwischen 0,00800 und 0,00667. Zwischen diesen Werten geht man in der Tafel 4 so weit nach rechts, bis man unter Q mindestens den Wert von 120 erreicht hat. Um dies zu erreichen, muß man mindestens einen Rohrdurchmesser von 350 mm wählen.

Für diesen Rohrdurchmesser ist bei der obigen Belastung $J' = 0,00667$ und $J = 0,00667 - 0,00571 = 0,00096$

$$Q_d = 126 - 117 = 9 \text{ sek}$$

Nach Formel (48) ist dann

$$J_x = 0,00667 - \frac{0,00096}{9} (126 - 120) = 0,000603$$

Beispiel 2: Wie groß ist der Druckverlust in einer Rohrleitung von 375 mm Weite, bei einer Länge von 650 m und einer Belastung von 160 sek, und wie groß ist die Geschwindigkeit?

Lösung: Bei 375 mm Durchmesser liegt in der Tafel 160 l/sec zwischen den Werten 167 und 152 l/sec, somit ist

$$J_d = 0,00800 - 0,00667 = 0,00133$$

$$Q_d = 167 - 152 = 15 \text{ l/sec}$$

Infolgedessen ist gemäß Formel (48):

$$J_x = 0,00800 - \frac{0,00133}{15} (167 - 160) = 0,00738$$

Demnach der gesamte Druckverlust:

$$h = 650 \cdot 0,00738 = 4,80 \text{ m}$$

Die Wassergeschwindigkeit v bestimmt sich nach Formel (49) zu

$$v_x = 1,51 - \frac{1,51 - 1,38}{15} (167 - 160) = 1,45 \text{ m/sec}$$

Beispiel 3: Welche Wassermenge liefert eine 300 mm Rohrleitung bei einem Druckverlust von 2,8 m auf 600 m Länge? Wie groß ist die Wassergeschwindigkeit?

Lösung: Es ist:

$$J = \frac{2,80}{600} = 0,00467$$

Nach Tafel 4 ist $Q' = 72 \text{ l/sec}$, $Q = 72 - 68 = 4 \text{ l/sec}$

$$J_d = 0,00500 - 0,00444 = 0,00056$$

Somit ist nach Formel (47):

$$Q_x = 72 - \frac{4}{0,00056} (0,00500 - 0,00467) = 69,6 \text{ l/sec}$$

Die Wassergeschwindigkeit ist:

$$v_x = 1,01 - \frac{1,01 - 0,96}{4} (72 - 69,6) = 0,98 \text{ m/sec}$$

Tafel 4

Druckverlust je Längeneinheit	Lichter Durchmesser										
	40 mm		50 mm		60 mm		70 mm		80 mm		
	J	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q
1 : 10	0,10000	0,90		1,09	2,1	1,21	3,6	1,45	5,6	1,61	8,1
1 : 15	0,06667	0,74	0,9	0,89	1,8	1,04	2,9	1,18	4,5	1,32	6,6
1 : 20	0,05000	0,64	0,8	0,77	1,5	0,90	2,6	1,03	3,9	1,14	5,7
1 : 25	0,04000	0,57	0,7	0,69	1,4	0,81	2,3	0,92	3,5	1,02	5,1
1 : 30	0,03333	0,52	0,7	0,63	1,2	0,74	2,1	0,84	3,2	0,93	4,7
1 : 35	0,02857	0,48	0,6	0,59	1,1	0,68	1,9	0,77	3,0	0,86	4,3
1 : 40	0,02500	0,45	0,6	0,55	1,0	0,64	1,8	0,72	2,8	0,81	4,1
1 : 45	0,02222	0,43	0,5	0,52	1,0	0,60	1,7	0,68	2,6	0,76	3,8
1 : 50	0,02000	0,40	0,5	0,49	0,9	0,57	1,6	0,65	2,5	0,72	3,6
1 : 60	0,01667	0,37	0,5	0,45	0,9	0,52	1,5	0,59	2,3	0,66	3,3
1 : 70	0,01429	0,34	0,4	0,41	0,8	0,48	1,4	0,55	2,1	0,61	3,1
1 : 80	0,01250	0,32	0,4	0,39	0,8	0,45	1,3	0,51	2,0	0,56	2,9
1 : 90	0,01111	0,30	0,4	0,37	0,7	0,43	1,2	0,48	1,9	0,57	2,7
1 : 100	0,01000	0,29	0,4	0,35	0,7	0,40	1,1	0,46	1,8	0,54	2,6
1 : 125	0,00800	0,26	0,3	0,31	0,6	0,36	1,0	0,41	1,6	0,41	2,3
1 : 150	0,00667	0,23	0,3	0,28	0,6	0,33	0,9	0,37	1,4	0,42	2,1
1 : 175	0,00571	0,21	0,3	0,26	0,5	0,31	0,9	0,34	1,3	0,39	1,9
1 : 200	0,00500	0,20	0,3	0,24	0,5	0,29	0,8	0,32	1,2	0,36	1,8
1 : 225	0,00444	0,19	0,2	0,23	0,5	0,27	0,8	0,31	1,2	0,34	1,7
1 : 250	0,00400	0,18	0,2	0,22	0,4	0,26	0,7	0,29	1,1	0,32	1,6
1 : 275	0,00364	0,17	0,2	0,21	0,4	0,24	0,7	0,28	1,1	0,31	1,5
1 : 300	0,00333	0,17	0,2	0,20	0,4	0,23	0,7	0,27	1,0	0,30	1,5
1 : 325	0,00308	0,16	0,2	0,19	0,4	0,22	0,6	0,26	1,0	0,28	1,4
1 : 350	0,00286	0,15	0,2	0,19	0,4	0,22	0,6	0,25	0,9	0,27	1,4
1 : 375	0,00267	0,15	0,2	0,18	0,4	0,21	0,6	0,24	0,9	0,26	1,3
1 : 400	0,00250	0,14	0,2	0,17	0,3	0,20	0,6	0,23	0,9	0,26	1,3
1 : 425	0,00235	0,14	0,2	0,17	0,3	0,20	0,6	0,22	0,9	0,25	1,2
1 : 450	0,00222	0,13	0,2	0,16	0,3	0,19	0,5	0,22	0,8	0,24	1,2
1 : 475	0,00210	0,13	0,2	0,16	0,3	0,18	0,5	0,21	0,8	0,23	1,2
1 : 500	0,00200	0,13	0,2	0,15	0,3	0,18	0,5	0,21	0,8	0,23	1,1
1 : 550	0,00182	0,12	0,2	0,15	0,3	0,17	0,5	0,20	0,8	0,22	1,1
1 : 600	0,00167	0,12	0,1	0,14	0,3	0,17	0,5	0,19	0,7	0,21	1,0
1 : 650	0,00154	0,11	0,1	0,14	0,3	0,16	0,4	0,18	0,7	0,20	1,0
1 : 700	0,00143	0,11	0,1	0,13	0,3	0,15	0,4	0,17	0,7	0,19	1,0
1 : 750	0,00133	0,10	0,1	0,13	0,2	0,15	0,4	0,17	0,6	0,19	0,9
1 : 800	0,00125	—	—	0,12	0,2	0,14	0,4	0,16	0,6	0,18	0,9
1 : 850	0,00117	—	—	0,12	0,2	0,14	0,4	0,16	0,6	0,18	0,9
1 : 900	0,00111	—	—	0,11	0,2	0,13	0,4	0,15	0,6	0,17	0,9
1 : 950	0,00105	—	—	0,11	0,2	0,13	0,4	0,15	0,6	0,17	0,8
1 : 1000	0,00100	—	—	0,11	0,2	0,13	0,4	0,15	0,6	0,16	0,8
1 : 1200	0,00083	—	—	—	—	0,12	0,3	0,13	0,5	0,15	0,7
1 : 1500	0,00066	—	—	—	—	0,10	0,3	0,12	0,5	0,13	0,7
1 : 2000	0,00050	—	—	—	—	—	—	0,10	0,4	0,11	0,6
Formel von Ganguillet u. R. $m = 0,35$		$u_1 = 0,78$		$0,78$		$0,79$		$0,79$		$0,80$	
Formel v. Bazin $\gamma = 0,16$		$u_2 = 1,17$		$1,16$		$1,15$		$1,14$		$1,13$	

Tafel 4 (Fortsetzung)

Druckverlust je Längeneinheit	J	Lichter Durchmesser									
		90 mm		100 mm		125 mm		150 mm		175 mm	
		v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q
1 : 10	0,10000	1,78	11,3	1,94	15,2	2,31	28,4	2,68	47,3	3,02	72,5
1 : 15	0,06667	1,45	9,2	1,58	12,4	1,89	23,2	2,19	38,6	2,46	59,2
1 : 20	0,05000	1,26	8,0	1,37	10,8	1,64	20,1	1,89	33,4	2,13	51,3
1 : 25	0,04000	1,13	7,2	1,22	9,6	1,46	18,0	1,69	29,9	1,91	45,9
1 : 30	0,03333	1,03	6,5	1,12	8,8	1,34	16,4	1,55	27,3	1,74	41,9
1 : 35	0,02857	0,95	6,1	1,08	8,1	1,24	15,2	1,43	25,2	1,61	38,8
1 : 40	0,02500	0,89	5,7	0,97	7,6	1,16	14,2	1,34	23,6	1,51	36,3
1 : 45	0,02222	0,84	5,3	0,91	7,2	1,09	13,4	1,26	22,3	1,42	34,2
1 : 50	0,02000	0,80	5,0	0,87	6,8	1,04	12,7	1,20	21,1	1,35	32,4
1 : 60	0,01667	0,73	4,6	0,79	6,2	0,95	11,6	1,09	19,3	1,23	29,6
1 : 70	0,01429	0,67	4,3	0,73	5,8	0,88	10,7	1,01	17,9	1,14	27,4
1 : 80	0,01250	0,63	4,0	0,68	5,4	0,82	10,0	0,95	16,7	1,07	25,6
1 : 90	0,01111	0,59	3,8	0,65	5,1	0,77	9,5	0,89	15,8	1,01	24,2
1 : 100	0,01000	0,56	3,6	0,61	4,8	0,73	9,0	0,85	14,9	0,95	22,9
1 : 125	0,00800	0,50	3,2	0,55	4,3	0,65	8,0	0,76	13,4	0,85	20,5
1 : 150	0,00667	0,46	2,9	0,50	3,9	0,60	7,3	0,69	12,2	0,78	18,7
1 : 175	0,00571	0,43	2,7	0,46	3,6	0,55	6,8	0,64	11,3	0,72	17,3
1 : 200	0,00500	0,40	2,5	0,43	3,4	0,52	6,4	0,60	10,6	0,67	16,2
1 : 225	0,00444	0,37	2,4	0,41	3,2	0,49	6,0	0,56	10,0	0,64	15,3
1 : 250	0,00400	0,35	2,3	0,39	3,0	0,46	5,7	0,54	9,5	0,60	14,5
1 : 275	0,00364	0,34	2,2	0,37	2,9	0,44	5,4	0,51	9,0	0,58	13,8
1 : 300	0,00333	0,33	2,1	0,35	2,8	0,42	5,2	0,49	9,6	0,55	13,2
1 : 325	0,00308	0,31	2,0	0,34	2,7	0,41	5,0	0,47	8,3	0,53	12,7
1 : 350	0,00286	0,30	1,9	0,33	2,6	0,39	4,8	0,45	8,0	0,51	12,3
1 : 375	0,00267	0,29	1,8	0,32	2,5	0,38	4,6	0,44	7,7	0,49	11,8
1 : 400	0,00250	0,28	1,8	0,31	2,4	0,37	4,5	0,42	7,5	0,48	11,5
1 : 425	0,00235	0,27	1,7	0,30	2,3	0,36	4,4	0,41	7,3	0,46	11,1
1 : 450	0,00222	0,27	1,7	0,29	2,3	0,35	4,3	0,40	7,0	0,45	10,8
1 : 475	0,00210	0,26	1,6	0,28	2,2	0,34	4,1	0,39	6,9	0,44	10,5
1 : 500	0,00200	0,25	1,6	0,27	2,2	0,33	4,0	0,38	6,7	0,43	10,3
1 : 550	0,00182	0,24	1,5	0,26	2,1	0,31	3,8	0,36	6,4	0,42	9,8
1 : 600	0,00167	0,23	1,5	0,25	2,0	0,30	3,7	0,35	6,1	0,39	9,4
1 : 650	0,00154	0,22	1,4	0,24	1,9	0,29	3,5	0,34	5,8	0,37	9,0
1 : 700	0,00143	0,21	1,4	0,23	1,8	0,28	3,4	0,32	5,6	0,36	8,7
1 : 750	0,00133	0,21	1,3	0,22	1,8	0,27	3,3	0,31	5,5	0,35	8,4
1 : 800	0,00125	0,20	1,3	0,22	1,7	0,26	3,2	0,30	5,3	0,34	8,1
1 : 850	0,00117	0,19	1,2	0,21	1,7	0,25	3,1	0,29	5,1	0,33	7,9
1 : 900	0,00111	0,19	1,2	0,20	1,6	0,24	3,0	0,28	5,0	0,32	7,6
1 : 950	0,00105	0,18	1,2	0,20	1,6	0,24	2,9	0,27	4,9	0,31	7,4
1 : 1000	0,00100	0,18	1,1	0,19	1,5	0,23	2,8	0,27	4,7	0,30	7,2
1 : 1200	0,00083	0,16	1,0	0,18	1,4	0,21	2,6	0,24	4,3	0,28	6,6
1 : 1500	0,00066	0,15	0,9	0,16	1,2	0,19	2,3	0,22	3,9	0,25	5,9
1 : 2000	0,00050	0,13	0,8	0,14	1,1	0,16	2,0	0,18	3,3	0,21	5,1
Formel von Ganguillet u. R. u ₁ = m = 0,35		0,80		0,80		0,81		0,82		0,82	
Formel v. Bazin u ₂ = γ = 0,16		1,12		1,12		1,10		1,09		1,08	

Tafel 4 (Fortsetzung)

Druckverlust je Längeneinheit	J	Lichter Durchmesser									
		200 mm		225 mm		250 mm		275 mm		300 mm	
		v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q
1 : 20	0,05000	2,36	74,0	2,58	102,7	2,80	137,2	3,00	178,3	3,20	226
1 : 25	0,04000	2,11	66,2	2,31	91,6	2,50	122,7	2,69	159,4	2,86	202
1 : 30	0,03333	1,92	60,4	2,11	83,8	2,28	112,0	2,45	145,5	2,62	185
1 : 35	0,02857	1,78	55,9	1,95	77,6	2,11	103,7	2,27	134,7	2,42	171
1 : 40	0,02500	1,67	52,3	1,83	72,6	1,98	97,0	2,12	126,0	2,26	160
1 : 45	0,02222	1,57	49,3	1,72	68,4	1,86	91,4	2,00	118,8	2,14	151
1 : 50	0,02000	1,49	46,8	1,63	64,9	1,77	86,8	1,90	112,7	2,03	143
1 : 60	0,01667	1,36	42,7	1,49	59,3	1,61	79,2	1,73	102,9	1,85	131
1 : 70	0,01429	1,26	39,5	1,38	54,9	1,49	73,3	1,60	95,3	1,71	121
1 : 80	0,01250	1,18	37,0	1,29	51,3	1,40	68,6	1,50	89,1	1,60	113
1 : 90	0,01111	1,11	34,9	1,22	48,4	1,32	64,7	1,42	84,0	1,51	107
1 : 100	0,01000	1,05	33,1	1,16	45,9	1,25	61,3	1,34	79,9	1,43	101
1 : 125	0,00800	0,94	29,6	1,03	41,1	1,12	54,9	1,20	71,3	1,28	91
1 : 150	0,00667	0,86	27,0	0,94	37,5	1,02	50,1	1,10	65,1	1,17	83
1 : 175	0,00571	0,80	25,0	0,87	34,7	0,95	46,4	1,02	60,3	1,08	77
1 : 200	0,00500	0,75	23,4	0,82	32,5	0,88	43,4	0,95	56,4	1,01	72
1 : 225	0,00444	0,70	22,1	0,77	30,6	0,83	40,9	0,90	53,1	0,96	68
1 : 250	0,00400	0,67	20,9	0,73	29,0	0,79	38,8	0,85	50,4	0,91	64
1 : 275	0,00364	0,64	19,9	0,70	27,7	0,75	37,0	0,81	48,1	0,86	61
1 : 300	0,00333	0,61	19,1	0,67	26,5	0,72	35,4	0,78	46,0	0,83	58
1 : 325	0,00308	0,58	18,3	0,64	25,5	0,69	34,0	0,75	44,2	0,79	56
1 : 350	0,00286	0,56	17,7	0,62	24,5	0,67	32,8	0,72	42,6	0,77	54
1 : 375	0,00267	0,54	17,1	0,60	23,7	0,65	31,7	0,69	41,2	0,74	52
1 : 400	0,00250	0,53	16,5	0,58	23,0	0,63	30,7	0,67	39,9	0,72	51
1 : 425	0,00235	0,51	16,0	0,56	22,3	0,61	29,8	0,65	38,7	0,70	49
1 : 450	0,00222	0,50	15,6	0,54	21,6	0,59	28,9	0,63	37,6	0,68	48
1 : 475	0,00210	0,48	15,2	0,53	21,1	0,57	28,1	0,62	36,6	0,66	46
1 : 500	0,00200	0,47	14,8	0,52	20,5	0,56	27,4	0,60	35,7	0,64	45
1 : 550	0,00182	0,45	14,1	0,49	19,6	0,54	26,2	0,57	34,0	0,61	43
1 : 600	0,00167	0,43	13,5	0,47	18,7	0,51	25,0	0,55	32,5	0,59	41
1 : 650	0,00154	0,41	13,0	0,45	18,0	0,49	24,1	0,53	31,3	0,56	40
1 : 700	0,00143	0,40	12,5	0,44	17,4	0,47	23,2	0,51	30,2	0,54	38
1 : 750	0,00133	0,39	12,1	0,42	16,8	0,46	22,4	0,49	29,1	0,52	37
1 : 800	0,00125	0,37	11,7	0,41	16,2	0,44	21,7	0,48	28,2	0,51	36
1 : 850	0,00117	0,36	11,3	0,40	15,7	0,43	21,0	0,46	27,3	0,49	35
1 : 900	0,00111	0,35	11,0	0,39	15,3	0,42	20,4	0,45	26,6	0,48	34
1 : 950	0,00105	0,34	10,7	0,38	14,9	0,41	19,9	0,44	25,9	0,47	33
1 : 1000	0,00100	0,33	10,4	0,37	14,5	0,40	19,4	0,42	25,2	0,45	32
1 : 1200	0,00083	0,30	9,5	0,33	13,3	0,36	17,7	0,39	23,0	0,41	29
1 : 1400	0,00071	0,28	8,8	0,31	12,3	0,33	16,4	0,36	21,3	0,38	27
1 : 1600	0,00062	0,26	8,3	0,29	11,5	0,31	15,3	0,34	19,9	0,36	25
1 : 1800	0,00056	0,25	7,8	0,27	10,8	0,30	14,5	0,32	18,8	0,34	24
1 : 2000	0,00050	0,24	7,4	0,26	10,3	0,28	13,7	0,30	17,8	0,32	23

Formel von
Ganguillet u. R. | $u_1 =$ 0,83 0,83 0,83 0,84 0,84
m = 0,35

Formel v. Bazin | $u_2 =$ 1,08 1,07 1,06 1,06 1,05
 $\gamma = 0,16$

Tafel 4 (Fortsetzung)

Druckverlust je Längeneinheit	J	Lichter Durchmesser									
		325 mm		350 mm		375 mm		400 mm		425 mm	
		v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q
1 : 30	0,03333	2,77	230	2,98	282	—	—	—	—	—	—
1 : 35	0,02857	2,57	213	2,71	261	2,85	315	2,99	375	—	—
1 : 40	0,02500	2,40	199	2,54	244	2,67	295	2,80	351	2,92	414
1 : 45	0,02222	2,26	188	2,39	230	2,51	278	2,64	331	2,75	390
1 : 50	0,02000	2,15	178	2,27	218	2,39	264	2,50	314	2,61	370
1 : 60	0,01667	1,96	163	2,07	199	2,18	241	2,28	287	2,38	338
1 : 70	0,01429	1,82	151	1,92	184	2,02	223	2,11	266	2,21	313
1 : 80	0,01250	1,70	141	1,79	172	1,89	208	1,98	248	2,06	293
1 : 90	0,01111	1,60	133	1,69	163	1,78	196	1,86	234	1,94	276
1 : 100	0,01000	1,52	126	1,60	154	1,69	186	1,77	222	1,85	262
1 : 125	0,00800	1,36	113	1,43	138	1,51	167	1,58	199	1,65	234
1 : 150	0,00667	1,24	103	1,31	126	1,38	152	1,44	181	1,51	214
1 : 175	0,00571	1,15	95	1,21	117	1,27	141	1,34	168	1,39	198
1 : 200	0,00500	1,07	89	1,13	109	1,19	132	1,25	157	1,30	185
1 : 225	0,00444	1,01	84	1,07	103	1,13	124	1,18	148	1,23	174
1 : 250	0,00400	0,96	80	1,01	98	1,07	118	1,12	141	1,17	166
1 : 275	0,00364	0,92	76	0,97	93	1,02	112	1,07	134	1,11	158
1 : 300	0,00333	0,88	73	0,93	89	0,97	108	1,02	128	1,07	151
1 : 325	0,00308	0,84	70	0,89	86	0,94	103	0,98	123	1,05	145
1 : 350	0,00286	0,81	67	0,86	82	0,90	100	0,95	119	0,99	140
1 : 375	0,00267	0,78	65	0,83	80	0,87	96	0,91	115	0,95	135
1 : 400	0,00250	0,76	63	0,80	77	0,84	93	0,88	111	0,92	131
1 : 425	0,00235	0,74	61	0,78	75	0,82	90	0,86	108	0,90	127
1 : 450	0,00222	0,72	59	0,76	73	0,80	88	0,83	105	0,87	123
1 : 475	0,00210	0,70	58	0,74	71	0,77	86	0,81	102	0,85	120
1 : 500	0,00200	0,68	56	0,72	69	0,75	83	0,79	99	0,83	117
1 : 550	0,00182	0,65	54	0,68	66	0,72	79	0,75	95	0,79	112
1 : 600	0,00167	0,62	51	0,65	63	0,69	76	0,72	91	0,75	107
1 : 650	0,00154	0,60	49	0,63	61	0,66	73	0,69	87	0,72	103
1 : 700	0,00143	0,57	48	0,61	58	0,64	70	0,67	84	0,70	99
1 : 750	0,00133	0,55	46	0,59	56	0,62	68	0,65	81	0,67	96
1 : 800	0,00125	0,54	45	0,57	55	0,60	66	0,63	79	0,65	93
1 : 850	0,00117	0,52	43	0,55	53	0,58	64	0,61	76	0,63	90
1 : 900	0,00111	0,51	42	0,53	51	0,56	62	0,59	74	0,62	87
1 : 950	0,00105	0,49	41	0,52	50	0,55	60	0,57	72	0,60	85
1 : 1000	0,00100	0,48	40	0,51	49	0,53	59	0,56	70	0,58	83
1 : 1100	0,00091	0,46	38	0,48	47	0,51	56	0,53	67	0,56	79
1 : 1200	0,00083	0,44	36	0,46	45	0,49	54	0,51	64	0,53	76
1 : 1300	0,00077	0,42	35	0,45	43	0,47	52	0,49	62	0,51	73
1 : 1400	0,00071	0,41	34	0,43	41	0,45	50	0,47	58	0,49	70
1 : 1600	0,00062	0,38	32	0,40	39	0,42	47	0,44	56	0,46	66
1 : 1800	0,00056	0,36	30	0,38	36	0,40	44	0,42	52	0,44	62
1 : 2000	0,00050	0,34	28	0,36	35	0,38	42	0,40	50	0,41	59

Formel von Ganguillet u. R. $m = 0,35$	$u_1 = 0,84$	$0,85$	$0,85$	$0,85$	$0,85$
Formel von Bazin $\gamma = 16$	$u_2 = 1,05$	$1,04$	$1,04$	$1,03$	$1,03$

Tafel 4 (Fortsetzung)

Druckverlust je Längeneinheit	J	Lichter Durchmesser									
		450 mm		475 mm		500 mm		550 mm		600 mm	
	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v
1: 45	0,02221	2,86	456	2,98	528	—	—	—	—	—	—
1: 50	0,02000	2,72	432	2,83	501	2,93	575	—	—	—	—
1: 60	0,01667	2,48	395	2,58	457	2,67	525	2,86	679	—	—
1: 70	0,01429	2,30	365	2,39	423	2,48	486	2,65	629	2,81	796
1: 80	0,01250	2,15	342	2,23	396	2,32	455	2,48	588	2,63	744
1: 90	0,01111	2,03	322	2,11	373	2,18	429	2,33	554	2,48	702
1: 100	0,01000	1,92	306	2,00	354	2,07	407	2,21	526	2,35	666
1: 125	0,00800	1,72	273	1,79	317	1,85	364	1,98	470	2,11	595
1: 150	0,00667	1,57	250	1,63	289	1,69	332	1,81	429	1,92	544
1: 175	0,00571	1,45	231	1,51	268	1,57	307	1,67	398	1,78	503
1: 200	0,00500	1,36	216	1,41	250	1,47	288	1,57	372	1,67	471
1: 225	0,00444	1,28	204	1,33	236	1,38	271	1,48	351	1,57	444
1: 250	0,00400	1,22	193	1,26	224	1,31	257	1,40	333	1,49	421
1: 275	0,00364	1,16	184	1,21	214	1,25	245	1,34	317	1,42	401
1: 300	0,00333	1,11	176	1,15	204	1,20	235	1,28	304	1,36	384
1: 325	0,00308	1,07	170	1,11	196	1,15	226	1,23	292	1,31	369
1: 350	0,00286	1,03	163	1,07	189	1,11	217	1,18	281	1,26	356
1: 375	0,00267	0,99	158	1,03	183	1,07	210	1,14	272	1,22	344
1: 400	0,00250	0,96	153	1,00	177	1,04	203	1,11	263	1,18	333
1: 425	0,00235	0,93	148	0,97	172	1,01	197	1,07	255	1,14	323
1: 450	0,00222	0,91	144	0,94	167	0,98	192	1,04	248	1,11	314
1: 475	0,00210	0,88	140	0,92	163	0,95	187	1,02	241	1,08	305
1: 500	0,00200	0,86	137	0,89	158	0,93	182	0,99	235	1,05	298
1: 550	0,00182	0,82	130	0,85	151	0,88	173	0,94	224	1,00	284
1: 600	0,00167	0,78	125	0,82	145	0,85	166	0,90	215	0,96	272
1: 650	0,00154	0,75	120	0,78	139	0,81	160	0,87	206	0,92	251
1: 700	0,00143	0,73	116	0,76	145	0,78	154	0,84	199	0,89	252
1: 750	0,00133	0,70	112	0,73	129	0,76	149	0,81	192	0,86	243
1: 800	0,00125	0,68	108	0,71	125	0,73	144	0,78	186	0,83	235
1: 850	0,00117	0,66	105	0,69	121	0,71	140	0,76	180	0,81	228
1: 900	0,00111	0,64	102	0,67	118	0,69	136	0,74	175	0,79	222
1: 950	0,00105	0,62	99	0,65	115	0,67	132	0,72	171	0,76	216
1: 1000	0,00100	0,61	97	0,63	112	0,66	129	0,70	166	0,75	211
1: 1100	0,00091	0,58	92	0,60	107	0,63	123	0,67	158	0,71	201
1: 1200	0,00083	0,56	88	0,58	102	0,60	117	0,64	152	0,68	192
1: 1300	0,00077	0,53	85	0,55	98	0,57	113	0,61	146	0,65	185
1: 1400	0,00071	0,51	82	0,53	95	0,55	109	0,59	141	0,63	178
1: 1500	0,00066	0,50	79	0,52	91	0,54	105	0,57	136	0,61	172
1: 1600	0,00062	0,48	76	0,50	89	0,52	102	0,55	132	0,59	166
1: 1700	0,00059	0,47	74	0,49	86	0,50	99	0,54	128	0,57	161
1: 1800	0,00056	0,45	72	0,47	84	0,49	96	0,52	124	0,56	157
1: 1900	0,00053	0,44	70	0,46	81	0,48	93	0,51	121	0,54	153
1: 2000	0,00050	0,43	68	0,45	79	0,46	91	0,50	118	0,53	149

Formel von Ganguillet u. R. $m = 0,35$	$u_1 =$	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86
--	---------	------	------	------	------	------

$$\text{Formel v. Bazin } \left\{ \begin{array}{l} u_2 = \\ \gamma = 0,16 \end{array} \right. \quad \begin{array}{c} 1,03 \\ | \\ 1,03 \\ | \\ 1,02 \\ | \\ 1,02 \\ | \\ 1,02 \end{array}$$

Tafel 4 (Fortsetzung)

Druckverlust je Längeneinheit	J	Lichter Durchmesser									
		650 mm		700 mm		750 mm		800 mm		900 mm	
		v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q
1:70	0,01429	2,97	986	—	—	—	—	—	—	—	—
1:80	0,01250	2,78	923	2,93	1127	—	—	—	—	—	—
1:90	0,01111	2,62	870	2,76	1062	2,89	1278	—	—	—	—
1:100	0,01000	2,49	825	2,62	1008	2,75	1213	2,87	1441	—	—
1:125	0,01800	2,22	738	2,34	901	2,46	1085	2,56	1289	2,78	1768
1:150	0,00667	2,03	674	2,14	823	2,24	990	2,34	1176	2,54	1614
1:175	0,00571	1,88	624	1,98	762	2,08	917	2,17	1089	2,35	1494
1:200	0,00500	1,76	584	1,85	713	1,94	857	2,03	1019	2,20	1397
1:225	0,00444	1,66	550	1,75	672	1,83	808	1,91	960	2,07	1317
1:250	0,00400	1,57	522	1,66	637	1,74	767	1,81	911	1,97	1250
1:275	0,00364	1,50	498	1,58	608	1,66	731	1,73	869	1,87	1192
1:300	0,00333	1,44	476	1,51	582	1,59	700	1,66	832	1,79	1141
1:325	0,00308	1,38	458	1,45	559	1,52	673	1,59	799	1,72	1096
1:350	0,00286	1,33	441	1,40	539	1,47	648	1,53	770	1,66	1056
1:375	0,00267	1,28	426	1,35	520	1,42	626	1,48	744	1,60	1021
1:400	0,00250	1,24	413	1,31	504	1,37	606	1,43	720	1,55	988
1:425	0,00235	1,21	400	1,27	489	1,33	588	1,39	699	1,51	959
1:450	0,00222	1,17	389	1,23	475	1,29	572	1,35	679	1,46	932
1:475	0,00210	1,14	379	1,20	462	1,26	556	1,32	661	1,43	907
1:500	0,00200	1,11	369	1,17	451	1,23	542	1,28	644	1,36	884
1:550	0,00182	1,06	352	1,12	430	1,17	517	1,22	614	1,33	843
1:600	0,00167	1,02	337	1,07	411	1,12	495	1,17	588	1,27	807
1:650	0,00154	0,98	324	1,03	395	1,08	476	1,12	565	1,22	775
1:700	0,00143	0,94	312	0,99	381	1,04	458	1,08	545	1,17	747
1:750	0,00133	0,91	301	0,96	368	1,00	443	1,05	526	1,13	722
1:800	0,00125	0,88	292	0,93	356	0,97	429	1,01	509	1,10	699
1:850	0,00117	0,85	283	0,90	346	0,94	416	0,98	494	1,07	678
1:900	0,00111	0,83	275	0,87	336	0,92	404	0,96	480	1,04	659
1:950	0,00105	0,81	268	0,85	327	0,89	393	0,93	467	1,01	641
1:1000	0,00100	0,79	261	0,83	319	0,87	384	0,91	456	0,98	625
1:1100	0,00091	0,75	249	0,79	304	0,83	366	0,86	434	0,94	596
1:1200	0,00083	0,72	238	0,76	291	0,79	350	0,83	416	0,90	571
1:1300	0,00077	0,69	229	0,73	280	0,76	336	0,80	400	0,86	548
1:1400	0,00071	0,67	221	0,70	269	0,73	324	0,77	385	0,83	528
1:1500	0,00066	0,64	213	0,68	260	0,71	313	0,74	372	0,80	510
1:1600	0,00062	0,62	206	0,66	252	0,69	308	0,72	360	0,78	494
1:1700	0,00059	0,60	200	0,64	244	0,67	294	0,70	349	0,75	479
1:1800	0,00056	0,59	195	0,62	238	0,65	286	0,68	340	0,73	466
1:1900	0,00053	0,57	189	0,60	231	0,63	278	0,66	331	0,71	453
1:2000	0,00050	0,56	185	0,59	225	0,61	271	0,64	322	0,70	442
1:2250	0,00044	0,52	172	0,55	212	0,58	254	0,60	302	0,65	414
1:2500	0,00040	0,50	166	0,52	201	0,55	242	0,57	288	0,62	394
1:3000	0,00033	0,45	149	0,48	183	0,50	220	0,52	261	0,59	377

Formel von Ganguillet u. R. $m = 0,35$	$u_1 =$	0,87	0,87	0,87	0,87	0,88
Formel v. Bagin $\gamma = 0,16$	$u_2 =$	1,01	1,01	1,00	1,00	0,99

Tafel 4 (Fortsetzung)

Druckverlust je Längeneinheit	J	Lichter Durchmesser									
		1000 mm		1100 mm		1200 mm		1500 mm		2000 mm	
		v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q
1 : 125	0,00800	2,98	2342	—	—	—	—	—	—	—	—
1 : 150	0,00667	2,72	2138	2,90	2754	—	—	—	—	—	—
1 : 175	0,00561	2,52	1980	2,68	2550	2,85	3214	—	—	—	—
1 : 200	0,00500	2,36	1852	2,51	2385	2,66	3013	—	—	—	—
1 : 225	0,00444	2,22	1746	2,37	2249	2,51	2841	2,90	5118	—	—
1 : 250	0,00400	2,11	1656	2,25	2133	2,38	2695	2,75	4858	—	—
1 : 275	0,00364	2,01	1579	2,14	2034	2,27	2570	2,62	4634	—	—
1 : 300	0,00333	1,93	1512	2,05	1948	2,18	2460	2,51	4432	—	—
1 : 325	0,00308	1,85	1453	1,97	1871	2,09	2364	2,41	4262	2,90	9108
1 : 350	0,00286	1,78	1400	1,90	1803	2,01	2278	2,33	4107	2,79	8777
1 : 375	0,00267	1,72	1352	1,83	1742	1,95	2200	2,25	3969	2,70	8480
1 : 400	0,00250	1,67	1309	1,78	1687	1,88	2131	2,17	3840	2,61	8206
1 : 425	0,00235	1,62	1270	1,72	1636	1,83	2067	2,11	3723	2,53	7956
1 : 450	0,00222	1,57	1235	1,67	1590	1,78	2009	2,05	3619	2,46	7733
1 : 475	0,00210	1,53	1202	1,63	1548	1,73	1955	1,99	3520	2,39	7521
1 : 500	0,00200	1,49	1171	1,59	1509	1,69	1906	1,95	3435	2,34	7339
1 : 550	0,00182	1,42	1117	1,51	1438	1,61	1817	1,86	3277	2,23	7002
1 : 600	0,00167	1,36	1069	1,45	1377	1,54	1740	1,78	3139	2,14	6707
1 : 650	0,00154	1,31	1027	1,39	1323	1,48	1671	1,71	3014	2,05	6440
1 : 700	0,00143	1,26	990	1,34	1275	1,42	1611	1,64	2904	1,98	6206
1 : 750	0,00133	1,22	956	1,30	1232	1,38	1556	1,59	2801	1,91	5985
1 : 800	0,00125	1,18	926	1,26	1193	1,33	1507	1,54	2715	1,85	5802
1 : 850	0,00117	1,14	898	1,22	1157	1,29	1462	1,49	2627	1,79	5612
1 : 900	0,00111	1,11	873	1,18	1124	1,26	1420	1,45	2559	1,74	5468
1 : 950	0,00105	1,08	850	1,15	1094	1,22	1383	1,41	2489	1,69	5318
1 : 1000	0,00100	1,06	828	1,20	1067	1,19	1348	1,38	2429	1,65	5190
1 : 1100	0,00091	1,01	790	1,07	1017	1,14	1285	1,31	2319	1,58	4951
1 : 1200	0,00083	1,96	756	1,08	974	1,09	1230	1,25	2213	1,51	4728
1 : 1300	0,00077	0,92	726	0,98	936	1,05	1182	1,21	2131	1,45	4554
1 : 1400	0,00071	0,89	700	0,95	902	1,01	1139	1,16	2047	1,39	4374
1 : 1500	0,00066	0,86	676	0,92	871	0,97	1100	1,12	1973	1,84	4216
1 : 1600	0,00062	0,83	655	0,89	843	0,94	1067	1,08	1912	1,30	4087
1 : 1700	0,00059	0,81	635	0,86	818	0,91	1033	1,06	1866	1,27	3986
1 : 1800	0,00056	0,79	617	0,84	795	0,89	1004	1,03	1818	1,24	3884
1 : 1900	0,00053	0,77	601	0,81	774	0,86	978	1,00	1768	1,20	3778
1 : 2000	0,00050	0,75	586	0,79	754	0,84	953	0,97	1717	1,17	3670
1 : 2250	0,00044	0,70	549	0,74	708	0,79	892	0,91	1611	1,10	3443
1 : 2500	0,00040	0,67	524	0,71	675	0,75	451	0,87	1586	1,05	3282
1 : 2750	0,00036	0,63	497	0,67	640	0,71	807	0,83	1457	0,99	3114
1 : 3000	0,00033	0,60	475	0,64	613	0,68	773	0,79	1395	0,95	2981
Formel von Ganguillet u. R. $m = 0,35$		$u_1 =$	0,88		0,89		0,89		0,90		0,91
Formel v. Bazin $\eta = 0,16$		$u_2 =$	0,99		0,99		0,98		0,97		0,96

223. Diese Beispiele dürften genügen, um zu zeigen, wie die Rohrberechnung mit Hilfe der Tafel 4 durchzuführen ist. In den meisten Fällen wird man mit dieser Art der Berechnung auskommen. Ist aber z. B. im voraus damit zu rechnen, daß das Wasser in der Rohrleitung starke Inkrustationen bildet, so wird man unter Umständen besser die Formel 45 mit $m = 0,35$ der Rohrberechnung zugrunde legen. Wenn anderseits die Zusammensetzung des Wassers keine oder nur geringe Inkrustationen erwarten läßt, rechnet man unter Umständen zweckmäßig nach Formel 46 von Bazin mit $\gamma = 0,16$. In solchen Fällen kann man mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren ebenfalls die Tafel 4 benutzen. Bezeichnen wir Druckverlust, Geschwindigkeit und Durchflußmenge

bei Benutzung der Formel 45 mit $m = 0,25$ mit J , v und Q ,

" " " 45 " $m = 0,35$ " J_1 , v_1 und Q_1 ,

" " " 46 " $\gamma = 0,16$ " J_2 , v_2 und Q_2 ,

so gelten bei irgendeinem Durchmesser und gleichem J die Beziehungen

$$v_1 = u_1 \cdot v \text{ und } v_2 = u_2 \cdot v \quad \dots \quad (50)$$

$$\text{ebenso} \quad Q_1 = u_1 \cdot Q \text{ und } Q_2 = u_2 \cdot Q \quad \dots \quad (51)$$

Für gleiche v und damit auch gleiche Q gelten die Beziehungen

$$J_1 = \frac{J}{u_1^2} \text{ und } J_2 = \frac{J}{u_2^2} \quad \dots \quad (52)$$

Die Umrechnungsfaktoren u_1 und u_2 haben für einen und denselben Rohrdurchmesser den gleichen Wert. In der Tafel 4 unten sind für die verschiedenen Rohrdurchmesser die berechneten Werte von u_1 und u_2 angegeben.

Das Beispiel 3 würde somit bei Benutzung der Formel 45 mit $m = 0,35$ folgende Werte ergeben:

$$Q_x = 0,84 \cdot 69,6 = 58,5 \text{ l/sec}$$

$$v_x = 0,84 \cdot 0,98 = 0,823 \text{ m/sec}$$

In dem Beispiel 2 bekommt man bei Benutzung der Formel 46 mit $\gamma = 0,16$:

$$h = \frac{1}{1,04^2} \cdot 650 \cdot 0,00738 = 4,43 \text{ m}$$

In dem Beispiel 1 findet man bei Benutzung der Formel 45 mit $m = 0,35$ und einem Rohrdurchmesser von 375 mm sowie einem Druckverlust von 0,00571 die gesuchte Wassermenge von $0,85 \cdot 141 = 120 \text{ l/sec}$.

B. Zusammenfassung

Die Berechnung der Wasserrohrleitungen kann nach verschiedenen Formeln durchgeführt werden. Die Berechnung nach der Formel von Ganguillet mit $m = 0,25$ gibt Werte, die eine gute Übereinstimmung mit Versuchen an gebrauchten Rohrleitungen zeigen. Zur Erleichterung der Berechnung werden Tafeln benutzt. Die Geschwindigkeit des Wassers in den Rohrleitungen darf 3 m/sec nicht überschreiten.

C. Besprechung des Lehrstoffs

Frage: Was versteht man unter Profilradius? Antwort: Der Profilradius ist das Verhältnis des vom Wasser erfüllten Querschnittes zu dem vom Wasser benetzten Umfang. F.: Wie lautet die Formel von Ganguillet und

Kutter? A.: $v = \frac{100 \cdot \sqrt{R}}{m + \sqrt{R} \cdot J}$. F.: Wie groß darf die Geschwindigkeit im Rohrleitungen sein? A.: Höchstens 3 m/sec

D. Zur Wiederholung

137. Was bedeutet c in der Formel (44)? 138. Nach welcher Formel werden die Rohrleitungen im allgemeinen berechnet?

E. Aufgaben

41. Wie groß ist der Druckverlust je Längeneinheit bei einer 500 mm Rohrleitung und bei einer Belastung von 250 l/sec? Es ist die Formel von Bazin zu benutzen.
42. Wie groß ist der Durchmesser zu wählen bei einer Wasserrohrleitung von 560 m Länge und bei einer Belastung von 190 l/sec, wenn der Druckverlust 3,20 m betragen darf, und wie groß ist die Wassergeschwindigkeit? Es ist die Formel von Ganguillet und Kutter mit $m = 0,25$ zu benutzen.
43. Wieviel Wasser fließt durch eine Rohrleitung von 750 mm Weite, wenn der Druckverlust je Längeneinheit 0,00350 betragen darf? Es ist die Formel von Ganguillet und Kutter mit $m = 0,35$ zu benutzen.

F. Gesamt wiederholung aus dem sechsten Brief

Bei einer Wasserversorgung ohne Hochbehälter muß zur Regelung des Versorgungsdruckes entweder ein Standrohr oder ein Druckwindkessel in die Zuleitung eingebaut werden. Ein Pumpwerk besteht in der Regel aus Pumpe und Motor. Für die städtische Wasserversorgung werden Kolbenpumpen und Kreiselpumpen verwendet. Als Antrieb dienen Dampfmaschinen, Dampfturbinen, Verbrennungsmotoren oder Elektromotoren. Um die Saugleitung möglichst kurz und die Saughöhe möglichst gering zu machen, versucht man das Pumpwerk möglichst nahe an die Wasser gewinnungsstelle heranzulegen. Wird das Wasser vor seiner Verwendung gereinigt, so ist eine Teilung der Heberarbeit erforderlich. Zur Ausgleichung der Schwankungen des täglichen Wasserverbrauchs und der allmählichen Zunahme des jährlichen Gesamtverbrauchs kann man entweder die tägliche Betriebsdauer verlängern oder die Pumpenanlage vergroßern. Bei der Wahl der Pumpenart und des Motors ist in erster Linie die Betriebssicherheit maßgebend. Die Berechnung der Wasserrohrleitungen erfolgt im allgemeinen nach der Formel von Ganguillet und Kutter mit $m = 0,25$.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
b) örtliche Lage des Pumpwerkes	127
c) Betriebsdauer und Anzahl der Pumpen	127
d) Die Antriebskräfte der Pumpen	129
1. Dampfkraft	129
2. Verbrennungsmotoren	130
3. Elektromotoren	132
e) Berechnung der Antriebskraft	133
VI. Leitung und Verteilung des Wassers	135
a) Bewegung des Wassers in offenen und geschlossenen Leitungen	135
b) Berechnung von Wasserrohrleitungen	137

G. Antworten auf Wiederholungen (D)

124. Durch ein Standrohr oder durch einen Druckwindkessel, die in die Zuleitung eingebaut werden.
125. Indem man den Pumpenbetrieb so regelt, daß das Wasser im Standrohr möglichst in der Höhe des dem Versorgungsdruck entsprechenden Überlaufs gehalten wird.
126. Einen in der Zuleitung eingebauten, geschlossenen Behälter mit belastetem Wasserspiegel.
127. Ja, es gibt eine Reihe von Anlagen, bei denen die Betriebskraft unmittelbar, ohne Vermittlung eines Motors, die Hebung des Wassers bewirkt (vgl. „Einf. i. d. Pumpenbau“, S. 8 u. 9).
128. Möglichst nahe an die Wassergewinnungsstelle.
129. Dadurch, daß man das Wasser mittels einer Heberleitung einem am Pumpwerk angeordneten Brunnen schacht zuführt, aus dem die Pumpen das Wasser saugen.
130. Durch Verlängerung der täglichen Betriebsdauer oder durch Vergrößerung der Maschinenanlage.
131. Bei den Mischkondensatoren wird der zu verdichtende Dampf mit dem Kühlwasser gemischt, bei den Oberflächenkondensatoren wird der Dampf an Wandungen verdichtet, die auf der anderen Seite wassergekühlt werden.
132. Der Kolbenzylinder ist unmittelbar auf dem Dampfkessel montiert.
133. Hauptsächlich Kreiselpumpen.
134. Einen Verbrennungsmotor, der für einen Arbeitsvorgang vier Kolbenhub benötigt.
135. Der Dieselmotor.
136. Den absoluten Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasserspiegel.
137. e ist ein Beiwert, der von der Rauhigkeit der Leitungswand, dem Profilradius und der Geschwindigkeit abhängig ist.
138. Nach der Formel von Ganguillet und Kutter

$$v = \frac{m + \sqrt{R}}{100\sqrt{R}} : \sqrt{R \cdot J} \text{ mit } m = 0,25.$$

H. Lösungen der Aufgaben (E)

36. Indem man den Pumpenbetrieb so regelt, daß die Luft im Druckwindkessel eine dem Versorgungsdruck entsprechende Pressung erhält.
37. Mittels der Pumpe wird das Wasser durch die Saugleitung von der Gewinnungsstelle entnommen und durch die Druckleitung dem Versorgungsgebiet zugeführt.
38. Je größer die Anzahl der Pumpen ist, um so sicherer ist der Betrieb, um so unwirtschaftlicher aber die Anlage.
39. Beim Bierktakt wird mit dem ersten Hub das Gasgemisch angesaugt, mit dem zweiten wird es komprimiert und am Hubende zur Entzündung gebracht. Mit dem dritten Hub findet Expansion der Gase und Arbeitsleistung statt, während der vierte Hub der Austreibung der Abgase dient.
40. Nach der Formel (41) ist:

$$A_2 = \frac{q \cdot H_m}{75 \cdot \eta} = \frac{120 \cdot 57}{74 \cdot 0,65} = 140 \text{ PS}$$

41. In der Tafel 4 liegt bei 500 mm Durchmesser 250 l/sec zwischen 257 und 245 l/sec. Der Umrechnungsfaktor beträgt $n_2 = 1,02$. Mit Benutzung der Interpolationsformel (48) ist dann

$$J_x = \frac{1}{1,02^2} \left[0,00400 - \frac{0,00400 - 0,00364}{257 - 245} (257 - 250) \right] = \frac{0,00357}{1,02^2} = 0,00364$$

— XII —

42. Nach den gegebenen Größen ist

$$J = \frac{3,20}{560} = 0,00571$$

Für diesen Wert ist bei 425 mm Rohrdurchmesser $Q = 198 \text{ l/sec}$, also ein etwas höherer Wert als in der Aufgabe. Somit ist dieser Rohrdurchmesser zu wählen. Nach Formel (48) ist

$$J_x = 0,00571 - \frac{0,00571 - 0,00500}{198 - 185} (198 - 190) = 0,00527$$

Der gesamte Druckverlust ist daher

$$h = 560 \cdot 0,00527 = 2,95 \text{ m}$$

Die Wassergeschwindigkeit bestimmt sich nach Formel (49) zu

$$v_x = 1,39 - \frac{1,39 - 1,30}{198 - 185} (198 - 190) = 1,335 \text{ m/sec}$$

43. In der Tafel 4 findet man bei 750 mm Rohrdurchmesser und einem Druckverlust von 0,00364 eine Wassermenge von 731 l/sec; der Umrechnungsfaktor beträgt $n_1 = 0,87$. Mit Benutzung der Formel (47) ist dann

$$Q_x = 0,87 \left[731 - \frac{731 - 700}{0,00364 - 0,00333} (0,0364 - 0,00350) \right] \\ = 0,87 \cdot 717 = 623 \text{ l/sec}$$



Om technischen Beruf

werden tüchtige Fachleute mit den neuesten technischen Fachkenntnissen gebraucht. Ihnen bietet sich eine bessere Existenzmöglichkeit durch Ausbildung nach den technischen Lehrbriefen des Systems Karnack-Hachfeld. Die Unterrichtsbriebe erzeugen dem im praktischen Beruf Tätigen den Besuch von Fachschulen und vermitteln ihm das notwendige Wissen neben dem Beruf.

Elektrotechnik	Elektromonteur / Elektroinstallateur / Elektromeister / Elektrotechniker / Elektroingenieur / Technisch gebildete Kaufmann der Elektrizitätsbranche / Radioinstallateur / Radioingenieur
Maschinenbau	Maschinenenschlosser / Maschinenmeister / Meister im Werkzeugmaschinenbau / Maschinenzeichner / Maschinentechniker / Maschineningenieur / Betriebsingenieur / Technisch gebildete Kaufmann der Maschinenbaubranche / Kaufmännisch gebildete Ingenieur im Maschinenbau / Ingenieur für Verbrennungsmotorenbau
Hoch- und Tiefbau	Maurer in der Praxis / Polier / Maurermeister / Zimmermeister / Bautechniker / Eisenkonstrukteur / Innenarchitekt / Architekt / Schachtmeister / Tiefbautechniker / Bauingenieur / Straßenbautechniker / Straßenbauingenieur / Kultur- und Wiesenbautechniker / Vermessungstechniker / Technisch gebildete Kaufmann der Baubranche
Installation	Heizungsmeister / Installationstechniker / Installationsingenieur / Installateur im Fernmeldewesen
Kunstgewerbe und Handwerk	Bautischler bezw. Schreiner / Kunst- und Möbeltischler / Tischlermeister bezw. Schreinermeister / Holzbildhauer / Schule des Malers / Steinmechaniker / Schlossermeister
Kraftfahrwesen	Kraftwagenführer / Monteur in der Automobilindustrie / Meister in der Automobilindustrie / Automobiltechniker / Automobilingenieur / Technisch gebildete Kaufmann im Automobilwesen
Textilwesen	Webereitechniker
Chemieschule	Laborant / Chemotechniker / Ingenieur in der chemischen Industrie
	Spezial-Prospekte und Zeitschrift „Rustin-Nachrichten“ kostenlos