



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Städtereinigung

Büsing, F. W.

Stuttgart, 1897

2. Kap. Luftbewegung

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83772](#)

enthält, bei dem Temperaturintervall 0° bis 10° besitzt. Darnach erlangen die Mehrgewichte erst bei höheren Anteilen von Kohlensäure einige Bedeutung; der Einfluß der Temperatur tritt für das berücksichtigte Intervall von 1 bis 10° aber nur wenig hervor.

1 cbm gesättigte Luft wird durch den CO_2 -Gehalt um Gramm schwerer bei den Temperaturen:

| CO_2 in 1 cbm | 0° | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | 7° | 8° | 9° | 10° |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 1 1 | 0,71 | 0,72 | 0,72 | 0,73 | 0,73 | 0,74 | 0,74 | 0,75 | 0,75 | 0,76 | 0,76 |
| 2 „ | 1,42 | 1,43 | 1,44 | 1,45 | 1,46 | 1,47 | 1,48 | 1,49 | 1,50 | 1,51 | 1,52 |
| 3 „ | 2,13 | 2,15 | 2,16 | 2,18 | 2,19 | 2,21 | 2,22 | 2,24 | 2,25 | 2,27 | 2,28 |
| 4 „ | 2,84 | 2,86 | 2,88 | 2,90 | 2,92 | 2,94 | 2,96 | 2,98 | 3,00 | 3,02 | 3,04 |
| 5 „ | 3,56 | 3,58 | 3,61 | 3,63 | 3,65 | 3,68 | 3,70 | 3,73 | 3,75 | 3,78 | 3,80 |
| 6 „ | 4,27 | 4,30 | 4,33 | 4,36 | 4,38 | 4,41 | 4,44 | 4,46 | 4,50 | 4,53 | 4,55 |
| 7 „ | 4,98 | 5,01 | 5,05 | 5,08 | 5,11 | 5,15 | 5,18 | 5,22 | 5,25 | 5,29 | 5,31 |
| 8 „ | 5,69 | 5,73 | 5,77 | 5,81 | 5,84 | 5,88 | 5,92 | 5,96 | 6,00 | 6,04 | 6,07 |
| 9 „ | 6,39 | 6,44 | 6,49 | 6,53 | 6,57 | 6,62 | 6,66 | 6,71 | 6,75 | 6,80 | 6,83 |
| 10 „ | 7,11 | 7,16 | 7,21 | 7,26 | 7,31 | 7,35 | 7,40 | 7,45 | 7,50 | 7,55 | 7,59 |

2. Kapitel.

Luftbewegung.

§ 76. Die sekundliche Geschwindigkeit v , mit welcher sich Luft in kommunizierenden Röhren, Fig. 1, bewegt, in deren beiden Schenkeln die ungleichen Luft-

Fig. 1.

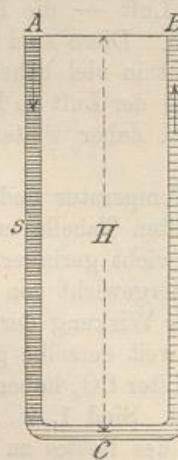
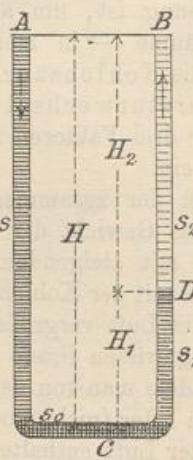


Fig. 2.



Fig. 3.



dichten s und s_1 bestehen, denen die ungleichen Gewichte pro Kubikeinheit g und g_1 äquivalent sind, ist durch die allgemeine Gleichung gegeben:

$$v = \varphi \sqrt{2gH\left(1 - \frac{s}{s_1}\right)} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 1)$$

Die anderweite allgemeine Gleichung:

$$v = \varphi \sqrt{2gH \frac{T-t}{273+T}},$$

welche die Temperaturverschiedenheiten benutzt, ist für den vorliegenden Zweck nicht anwendbar, weil sie die Gewichtsveränderungen der Luft durch Feuchtigkeit und Kohlensäure unberücksichtigt lässt.

Der Beiwert φ in den Formeln entspricht dem durch Reibung, Richtungs- und Querschnittsänderungen entstehenden Verlust. Dieser Verlust kann so groß sein, daß anstatt der theoretischen Geschwindigkeit nur $\frac{2}{3}$ bis $\frac{1}{3}$ derselben erreicht werden, also der Wert $\varphi \geq \frac{1}{3}$ aber $\leq \frac{2}{3}$ anzunehmen ist. Genaueres darüber ist für den hier vorliegenden Fall, wo es sich um die Bewegung von Luft in Schmutzwasserkanälen handelt, nicht bekannt. Vergleiche übrigens ein weiterhin durchgerechnetes Beispiel, in welchem der Reibungswiderstand unter Einführung eines bestimmten Zahlenwertes berücksichtigt ist.

Der regelmäßig vorkommende Fall dieser Art wird der in Fig. 2 versinnlichte sein: die Stelle des einen Schenkels der kommunizierenden Röhre, bezw. eines Stücks der Länge derselben (in Fig. 2 die Länge H_1) wird dann durch die freie Atmosphäre vertreten. Die Geltung der allgemeinen Gleichung 1) wird durch diese Aenderung nicht berührt.

Aenderungen des Zustandes sind in Fig. 3 versinnlicht, welche andeutet, daß in dem Verbindungsstück der beiden Röhren abweichende Dichte s_0 und in dem einen Schenkel auf verschiedenen Längenteilen H_1 und H_2 ungleiche Dichten s_1 und s_2 bestehen. Dieser Fall liegt z. B. vor, wenn im Punkte D eine sogen. Lockfeuerung unterhalten wird, welche in dem Rohrteile oberhalb D eine Luftverdünnung bewirkt.

Was zunächst letztere Aenderung betrifft, so ist dafür die allgemeine Gleichung 1) leicht einzurichten, indem man dieselbe schreibt:

$$v = \varphi \sqrt{2g\left(H - H \frac{s}{s_1}\right)}$$

Dem durch Fig. 3 dargestellten Fall entsprechend nimmt dieselbe hiernach die Form an:

$$v = \varphi \sqrt{2g \left[H - \left(H_1 \frac{s_1}{s} + H_2 \frac{s_2}{s} \right) \right]} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 2)$$

Je nachdem die Dichte s_0 der in dem Verbindungsrohre befindlichen Luft größer oder geringer als s ist, wird diese Abweichung die Geschwindigkeit v vermindern, bezw. vermehren, und zwar in dem Verhältnis als $s_0 \gtrless s$ ist. Man kann die Geschwindigkeitsänderung daher bestimmen, indem man die dem Mehr- oder Minderwert der in dem Verbindungsstück enthaltenen Luft entsprechende Kraft K ermittelt und den (in Kilogramm ausgedrückten) Wert K in eine Luftsäulenhöhe H_0 umrechnet. Es ist $K = \frac{Q}{2g} v^2$, wenn Q das Mehr- bzw. Minderwert bezeichnet.

Die Geschwindigkeits-Berechnung wird in vorläufiger Weise, d. h. ohne Rücksicht auf das im Verbindungsrohr C bestehende abweichende Luftgewicht nach der allgemeinen Gleichung 1) ausgeführt.

Der Kraft von 1 Kilogramm entspricht eine Wassersäulenhöhe = 1 Meter und letzterer ist eine Luftsäulenhöhe $\frac{W}{L}$. 1 gleichwertig, wenn W und L das Gewicht von 1 Kubikmeter Wasser bzw. Luft bezeichnen.

Um nun Vergleiche und Folgerungen zu ziehen, sind unter durchgängiger Zugrundelegung von $H = 16$ Meter und der Annahme von Lufttemperaturen, die der Verschiedenheit der Jahreszeiten entsprechen, desgleichen unter Annahme von Kohlensäureanteilen der Luft, welche als hoch gegriffene Durchschnittswerte gelten können, nachstehend eine Anzahl von Werten für v berechnet und in Tabellen zusammengestellt worden. Denselben sind die für einige gängige Rohrkaliber entsprechenden stündlichen Luftmengen (M) hinzugefügt und endlich ist berechnet worden, ein wie vielmaliger Luftwechsel pro Stunde für einen Kanalinhalt = 10 Kubikmeter sich beim Ab- bzw. Zufluß der berechneten Luftmengen M ergiebt. Die wegen des Beiwerths φ erforderliche Korrektur ist nicht bei den Geschwindigkeiten v , sondern, was auf das Gleiche hinauskommt, bei den Luftmengen M ausgeführt; es ist dabei durchgehends $\varphi = \frac{1}{3}$ gesetzt worden.

Zum leichteren Verständnisse der in den Tabellen mitgeteilten Zahlen möge zunächst der Rechnungsgang an einem Beispiele vorgeführt werden:

Es seien die Gewichte von 1 cbm Luft unter Zurechnung des Mehrgewichts für bestimmte Anteile von CO_2 (Tab. S. 120 u. 122):

| | |
|--|-----------|
| im Freien | 1,3409 kg |
| in der Anschlußleitung an den Straßenkanal | 1,2684 , |
| in dem häuslichen Fallrohr | 1,2209 , |

Dann ist:

$$\frac{s}{s_1} = \frac{1,2209}{1,3409} = 0,9105$$

und danach:

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 16,0 (1,0000 - 0,9105)} = 5,301 \text{ m.}$$

Das Mehrgewicht der Luft in der Anschlußleitung ist:

$$1,2684 - 1,2209 = 0,0475 \text{ kg.}$$

Danach ist der Mehrbedarf an bewegender Kraft:

$$K = \frac{0,0475}{2 \cdot 9,81} (5,301)^2 = 0,068 \text{ kg oder } 0,068 \text{ mm Wassersäule.}$$

Wasser ist schwerer als Luft:

$$\frac{1000}{1,3409} = 746,$$

mithin die der Wassersäule von 0,068 mm gleichwertige Luftsäule:

$$0,068 \cdot 746 = 50,73 \text{ oder } 51 \text{ mm.}$$

So viel beträgt also die dem Mehrgewicht der Luft in der Anschlußleitung entsprechende Verminderung der Höhe der treibenden Luftsäule, welche sich daher auf:

$$16,000 - 0,051 = 15,949 \text{ m}$$

ermäßigt.

Hierfür ergiebt sich der berichtigte Wert von v (Gl. 2)

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 (15,949 - 16 \cdot 0,9105)} = 5,205 \text{ m.}$$

Dies ist weniger als der vorläufig ermittelte Wert:

$$5,301 - 5,205 = 0,096 \text{ m oder } 1,81 \text{ %.}$$

Es fließen bei der berichtigten Geschwindigkeit durch Rohre von:

$$\begin{aligned} 0,100 - 0,125 - 0,150 \text{ m Durchmesser} \\ 150 - 234 - 337 \text{ cbm Luft} \end{aligned}$$

stündlich ab.

bei Annahme des Beiwertes $S = \frac{1}{3}$ aber nur:

$$50 - 78 - 112 \text{ cbm.}$$

Für 10 cbm Kanalinhalt ergibt dies pro Stunde einen

$$5,0 - 7,8 - 11,2 \text{ maligen Wechsel der Luft desselben.}$$

§ 77. Den Zahlen beider Tabellen (S. 126, 127) liegen jeweils immer zwei verschiedene Zustände zu Grunde. In der Tabelle 1 beschränkt sich der Unterschied aber auf den Wechsel im CO₂-Gehalt der Luft, während in der Tabelle 2 auch Wechsel bei Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt der Luft vorausgesetzt worden sind.

Ein Vergleich der in den Spalten 4, 5, 6 beider Tabellen lehrt zunächst, daß der Einfluß, den das Mehrgewicht der Kohlensäure auf die Luftbewegung übt, nur sehr gering ist, da selbst für so hohe Anteile wie 10 Raumteile auf Tausend die Geschwindigkeitsverminderung innerhalb der Grenze von etwa 5 % bleibt. Da solch hohe Anteile nur in sehr mangelhaft gelüfteten Gruben — doch niemals in Kanälen — vorkommen können, selbst wenn diese mangelhafte Lüftungseinrichtungen besitzen, so folgt, daß man bei Rechnungen über den Luftwechsel, der in Kanälen stattfindet, auf den CO₂-Gehalt der Kanalluft keine Rücksicht zu nehmen braucht; der betreffende Fehler erscheint im Vergleich zu der Unsicherheit, die über die Größe des Geschwindigkeitskoeffizienten stattfindet, als minimal. Entsprechend sind für die Zahlen in Spalte 7 der Tabellen diejenigen Geschwindigkeiten zu Grunde gelegt, welche sich ohne Berücksichtigung des CO₂-Gehalts ergeben (Spalte 4 der Tabellen).

Vergleicht man die in Tabelle 1 verzeichneten Luftgeschwindigkeiten mit denjenigen, welche Tabelle 2 enthält, so wird der große Einfluß anschaulich, den die Lage der Fallrohre im Innern der Gebäude auf den Luftwechsel in den Kanälen ausübt. Liegen die Fallrohre außen am Gebäude, so bleiben die Geschwindigkeiten im allgemeinen erheblich hinter denjenigen zurück, welche bei der Lage derselben im Innern stattfinden. Indessen kommt es dabei doch auf die Temperatur-Unterschiede der beiden Luftsäulen sehr an. Die Tabelle 2 ergibt, daß wenn die Temperatur im Fallrohr von derjenigen des Freien sich wesentlich unterscheidet — was freilich nur in kalter Jahreszeit bei geschützter Lage der Fallrohre möglich ist —, dann noch recht erhebliche Luftgeschwindigkeiten eintreten, daß aber bei der Abstumpfung, welche die Temperaturunterschiede zu anderen Jahreszeiten erfahren, die Geschwindigkeiten sich bedeutend ermäßigen. Am größten ist die Herabminderung in den Sommermonaten. Um diese Jahreszeit wird aber nach Tabelle 1 die Luftgeschwindigkeit auch dann gering, wenn die Fallrohre im Innern des Gebäudes liegen. Im Frühling und Herbst finden Mittelwerte der Geschwindigkeiten statt.

Aber selbst bei der mittleren und kleinen Geschwindigkeit findet nach den in Spalte 8 der Tabelle verzeichneten Zahlen, die ein sehr ungünstiges Verhältnis zwischen Rohr- und Kanalquerschnitt voraussetzen, nämlich je ein enges Fallrohr auf 10 Quadratmeter Kanalinhalt, noch eine sehr gute Lufterneuerung statt; die Erfahrung bestätigt dies. Auf die besondere Bedeutung, welche dieser Thatsache mit Bezug auf die sogen. Kanalgasttheorie beiwohnt, wird weiterhin speziell einzugehen sein.

Während im Winter und gewöhnlich auch im Herbst und Frühling die Luftbewegung die Richtung vom Freien durch die Fallrohre hat, findet im Sommer Umkehrung der Richtung statt. Bei besonderer Lage der Fallrohre (kalter, vom Wind bestrichener) kann aber auch im Winter die Luft den Weg durch die Fallrohre zum Kanal nehmen. Jedenfalls muß bei der leichten Beweglichkeit

| 1 Jahreszeit sowie Ort der Luft | 2 Luftzustand | | 3 Gewicht von 1 cbm Luft | | 4 Luftgeschwin- digkeit v | | 5 Geschwin- digkeitsverminde- rung infolge des CO_2 - Gehalts | | 6 Stündliche Luftmengen bei den Geschwindigkeiten nach Spalte 4 von | | 7 | | | 8 | | |
|--|--------------------------|----------------------|--|--|---------------------------------------|---|--|----------------------------|--|-----------------|---------------------------|--|--|---|--|--|
| | Temperatur in Grad C. | Feuchtigkeit in % | CO_2 -Gehalt 1 per Tausend | ohne CO_2 -Anteil in kg | mit CO_2 -Anteil in kg | ohne | mit | M bei Rohrweiten von cm | $\frac{1}{3} M$ 10 12,5 15 | 10 78 112 | 5,0 5,0 7,8 11,2 | | | | | |
| | | | | | | Berücksichti- gung des CO_2 -Anteils | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Geschwin- digkeitsverminde- rung infolge des CO_2 - Gehalts | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Meter-Sekunden | % | | | | | | | | | |

Tabelle 1. Fallrohre im Innern des Gebäudes liegend gedacht ($H = 16$ m).

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|-----|------|--------|--------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|----|----|-----|------|
| a) Winter: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Freien . . . | -10 | 70 | 0,35 | 1,3405 | 1,3409 | | | | | | | | | | | |
| In der Anschluß- leitung | + 5 | 100 | 5 | 1,2647 | 1,2684 | 5,301 | 5,205 | 0,096 | 1,81 | | | | | | | |
| Im häuslichen Fallrohr | 15 | 100 | 5 | 1,2170 | 1,2209 | 5,301 | 5,199 | 0,102 | 1,92 | 150 | 234 | 337 | 50 | 78 | 112 | 5,0 |
| | | | | | | | | 0,006 | | | | | | | | 7,8 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 11,2 |
| b) Frühling und Herbst: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Freien . . . | 5 | 70 | 0,35 | 1,2663 | 1,2667 | | | | | | | | | | | |
| In der Anschluß- leitung | 8 | 100 | 5 | 1,2504 | 1,2542 | 3,981 | 3,828 | 0,153 | 3,82 | 113 | 175 | 253 | 38 | 58 | 84 | 3,8 |
| Im häuslichen Fallrohr | 18 | 100 | 5 | 1,2024 | 1,2064 | 3,981 | 3,805 | 0,176 | 4,42 | | | | | | | 5,8 |
| | | | | | | | 0,023 | | | | | | | | | 8,4 |
| c) Sommer: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Freien . . . | 20 | 60 | 0,35 | 1,1980 | 1,1983 | | | | | | | | | | | |
| In der Anschluß- leitung | 8 | 100 | 5 | 1,2504 | 1,2542 | 1,585 | 1,553 | 0,032 | 2,02 | 45 | 70 | 101 | 15 | 23 | 34 | 1,5 |
| Im häuslichen Fallrohr | 18 | 70 | 2,5 | 1,2056 | 1,2076 | 1,585 | 1,503 | 0,082 | 5,17 | | | | | | | 2,8 |
| | | | | | | | 0,050 | | | | | | | | | 3,4 |

Tabelle 2. Fallrohre außen am Gebäude liegend gedacht.

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|-----|------|--------|--------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|----|----|----|-----|
| a) Winter: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Freien . . . | -10 | 70 | 0,35 | 1,3405 | 1,3409 | | | | | | | | | | | |
| In der Anschluß- leitung | 5 | 100 | 5 | 1,2647 | 1,2684 | 2,313 | 2,352 | + | + | 66 | 102 | 147 | 22 | 34 | 49 | 2,2 |
| Im häuslichen Fallrohr | 5 | 100 | 5 | 1,2647 | 1,2684 | 4,097 | 4,081 | 0,002 | 0,05 | 115 | 180 | 260 | 38 | 60 | 87 | 3,8 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 6,0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 8,7 |
| b) Frühling und Herbst: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Freien . . . | 5 | 70 | 0,35 | 1,2663 | 1,2667 | | | | | | | | | | | |
| In der Anschluß- leitung | 8 | 100 | 5 | 1,2504 | 1,2542 | 1,252 | 1,255 | + | + | 35 | 55 | 80 | 12 | 18 | 27 | 1,2 |
| Im häuslichen Fallrohr | 8 | 100 | 5 | 1,2504 | 1,2542 | 2,241 | 2,235 | 0,006 | 0,27 | 63 | 99 | 143 | 21 | 33 | 48 | 2,1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 3,8 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 4,8 |
| c) Sommer: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Freien . . . | 20 | 60 | 0,35 | 1,1980 | 1,1983 | | | | | | | | | | | |
| In der Anschluß- leitung | 8 | 100 | 5 | 1,2504 | 1,2542 | 1,585 | 1,571 | 0,014 | 0,89 | 45 | 70 | 101 | 15 | 23 | 34 | 1,5 |
| Im häuslichen Fallrohr | 8 | 100 | 5 | 1,2504 | 1,2542 | 0,560 | 0,542 | 0,018 | 3,21 | 16 | 25 | 36 | 5 | 8 | 12 | 0,5 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 0,8 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 1,2 |

| Jahreszeit sowie Ort der Luft | Luftzustand | | Gewicht von 1 cbm Luft | Luft- ge- schwin- digkeit m o | Stündliche Luftpengen | | | | | | Häufigkeit des Luftwechsels in 1 Stunde für 10 cbm Kanalraum bei Rohrweiten von cm | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------------|--|-----------------------|------|----|-----------------|------|----|--|------|----|--|--|--|--|--|
| | Temperatur in Grad C. | Feuchtigkeit in % | | | M | | | $\frac{1}{3} M$ | | | | | | | | | | |
| | | | | | bei Rohrweiten von cm | | | | | | | | | | | | | |
| | | | kg | m | 10 | 12,5 | 15 | 10 | 12,5 | 15 | 10 | 12,5 | 15 | | | | | |

Tabelle 3. Fallrohre im Innern des Gebäudes liegend gedacht mit Lockfeuerung am unteren Ende.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|----|--------|--|-------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|------|------|
| a) Winter: | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Freien | { -10 | 70 | 1,3405 | | 6,138 | 174 | 271 | 391 | 58 | 90 | 130 | 5,8 | 9,0 | 13,0 |
| | { -10 | 70 | 1,3405 | | | | | | | | | | | |
| Im häuslichen Fallrohr . | { +25 | 20 | 1,1800 | | 7,621 | 215 | 337 | 485 | 72 | 112 | 162 | 7,2 | 11,2 | 16,2 |
| | { 50 | 15 | 1,0920 | | | | | | | | | | | |
| b) Herbst und Frühling: | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Freien | { 5 | 70 | 1,2663 | | 4,840 | 123 | 192 | 276 | 41 | 64 | 92 | 4,1 | 6,4 | 9,2 |
| | { 5 | 70 | 1,2663 | | | | | | | | | | | |
| Im häuslichen Fallrohr . | { 25 | 20 | 1,1800 | | 6,330 | 179 | 279 | 403 | 60 | 93 | 134 | 6,0 | 9,3 | 13,4 |
| | { 50 | 15 | 1,0920 | | | | | | | | | | | |
| c) Sommer: | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Freien | { 20 | 60 | 1,1980 | | 2,170 | 61 | 96 | 138 | 20 | 32 | 46 | 2,0 | 3,2 | 4,6 |
| | { 20 | 60 | 1,1980 | | | | | | | | | | | |
| Im häuslichen Fallrohr . | { 25 | 20 | 1,1800 | | 5,285 | 149 | 230 | 336 | 50 | 77 | 112 | 5,0 | 7,7 | 11,2 |
| | { 50 | 15 | 1,0920 | | | | | | | | | | | |

Tabelle 4. Fallrohre im Innern des Gebäudes liegend gedacht. Die Luft derselben wird durch Flammen, welche 5 m hoch in den Straßen angebracht sind, angesaugt.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|-----|--------|--|-------|----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|
| a) Winter: | | | | | | | | | | | | | | |
| Im häuslichen Fallrohr . | 15 | 100 | 1,2170 | | | | | | | | | | | |
| Bei der Lockflamme . | 40 | 35 | 1,1264 | | 3,495 | 96 | 153 | 222 | 32 | 51 | 74 | 3,2 | 5,1 | 7,4 |
| Im Rohr, auf welchem die Lockflamme angebracht ist | 5 | 100 | 1,2647 | | | | | | | | | | | |
| b) Herbst, Frühling (auch Sommer): | | | | | | | | | | | | | | |
| Im häuslichen Fallrohr . | 18 | 70 | 1,2056 | | | | | | | | | | | |
| Bei der Lockflamme . | 40 | 35 | 1,1264 | | 3,245 | 92 | 143 | 206 | 31 | 48 | 69 | 3,1 | 4,8 | 6,9 |
| Im Rohr, auf welchem die Lockflamme angebracht ist | 8 | 100 | 1,2504 | | | | | | | | | | | |

der Luft und den häufigen großen Tagesschwankungen, welche die Außentemperatur erfährt, auf vielfache Wechsel auch in der Bewegungs-Richtung der Luft gerechnet werden, desgleichen darauf, daß die Luftbewegung vorübergehend ganz aufhört. Letzteres findet sowohl statt bei Temperaturunterschieden gleich Null, als auch bei so kleinen Unterschieden, daß die Unterschiede in den Luftdichten zu gering sind, um Reibungs- und sonstige Widerstände, die sich der Luftbewegung entgegensem zu können.

§ 78. Um die Betrachtung zu vervollständigen, ist noch weiter untersucht, wie sich die Luftbewegung gestaltet, wenn künstliche Mittel — Aspiration durch sogen. Lockfeuer und Lockflammen — zu Hilfe genommen werden. Auf die Berücksichtigung des CO_2 -Gehalts der Kanalluft wurde dabei aus oben angegebenem Grunde

verzichtet. Die Tabelle 3 setzt zwei Fälle voraus, und zwar a) Erwärmung der Luft im Fallrohr auf die mäßige Temperatur von 25° , wie sie schon durch eine größere Lockflamme erzielbar ist und b) Erwärmung auf 50° , wozu eine eigentliche Lockfeuerung notwendig sein wird. Die Tabelle 4 nimmt den Fall an, daß zur Aspiration eine im Freien 5 Meter über Kanalhöhe stehende größere Flamme benutzt wird, die an der oberen Öffnung des Standrohrs eine Lufttemperatur von 35° schafft.

Während für den Zustand ad a) die Rechnung für alle drei Zeittypen durchgeführt wurde, brauchten in Tabelle 4 nur zwei Jahreszeiten berücksichtigt zu werden, weil in den Resultaten — wie zum voraus zu erwarten war — so nahe Uebereinstimmung stattfindet, daß eine weitere Ausdehnung der Rechnungen überflüssig erschien.

§ 79. Eine Lockfeuerung oder eine Lockflamme ist nicht nur in Bezug auf das Maß des Luftwechsels, den sie hervorbringt, sondern auch mit Bezug auf die räumliche Ausdehnung ihres Einflusses auf die Luftbewegung in Kanälen von einer genau begrenzten Wirksamkeit, letzteres weil das in der Wärme der Lockfeuerung entgegenstellenden Widerstände aufgezehrt wird. Abgesehen von der bei Querschnittsänderungen der Leitung und bei der Temperaturerhöhung der angesaugten Luft zu leistenden sogen. inneren Arbeit treten als äußere Widerstände die Reibung an den Kanalwänden und bei Richtungsänderungen der Leitung der Widerstand gegen Ablenkung des Luftstromes auf. Von letzterem soll in der folgenden Untersuchung, welche die Bestimmung der räumlichen Ausdehnung der Wirksamkeit einer Lockfeuerung zum Zweck hat, abgesehen werden, teils weil der Widerstand bei Richtungsänderungen verhältnismäßig gering ist, teils um den ohnehin großen Umfang der Betrachtung nicht unnötigerweise zu vermehren.

Die Reibungsgröße von Gasen und tropfbaren Flüssigkeiten folgt dem allgemeinen Gesetz:

$$R = \mu l \frac{u}{f} \gamma p \quad \dots \dots \dots \dots \quad 1)$$

worin l die Länge, u den berührten Umfang, f den Querschnitt der Leitung bezeichnen. γ ist das Einheitsgewicht, p die Pressung der Flüssigkeit und μ ein aus der Erfahrung zu entnehmender Beiwert.

Reibung findet nicht nur an der Kanalwand, sondern auch an der Wand des Schlotes, an dessen unterem Ende die Lockfeuerung gedacht wird, statt. Da aber die Gewichte und folglich auch die Pressungen der Luft im Kanal und im Schlothe ungleich sind, sind die Reibungswiderstände in beiden von ungleicher Größe. Dieselben sind ferner ungleich aus dem Grunde, daß es sich in dem einen Falle im Schlot um Reibung an einem trockenen, im Kanal um Reibung an einer nassen Wand- bzw. an einer Wasserfläche handelt. Die Verschiedenheit zu 1 wird durch die beiden Faktoren γ und p in der obigen Gleichung zum Ausdruck gebracht; die Verschiedenheit zu 2 wird durch Einführung von zwei ungleichen Beiwerten, bzw. μ und μ_1 zu berücksichtigen sein.

Werden alle Größen, die sich auf den Schlot der Höhe h beziehen, ohne Index geschrieben, und diejenigen, welche sich auf den Kanal beziehen, mit dem Index 1 versehen, so sind die Reibungswiderstände:

$$\text{für den Schlot:} \quad R = \mu h \frac{u}{f} \gamma p \quad \dots \dots \dots \dots \quad 2)$$

$$\text{für den Kanal:} \quad R_1 = \mu_1 l \frac{u_1}{f_1} \gamma_1 p_1 \quad \dots \dots \dots \dots \quad 3)$$

Hieraus können zunächst die Größen p und p_1 entfernt werden, da nach dem Mariotteschen Gesetz:

$$p_1 = \frac{p}{\gamma} \gamma_1 \quad \text{ist.}$$

Wird hierin $\frac{p}{\gamma} = 1$, mithin $p = \gamma$ und $p_1 = \gamma_1$ gesetzt, so verändern sich durch Einsetzung die Gleichungen 2) und 3) wie folgt:

$$\text{für den Schlot: } R = \mu h \frac{u}{f} \gamma^2 \quad \quad 4)$$

Diese Widerstände werden durch die der warmen Luft im Schlot innewohnende Kraft überwunden. Die Kraft, welche der Warmluftsäule im Schlot eine Geschwindigkeit v verleiht, ist:

Es muß aber, da die bewegende Kraft sowohl als die widerstehenden Kräfte Arbeit verrichten, Gleichheit der Arbeit der Warmluft mit der Arbeit der Reibungswiderstände stattfinden. Die sekundliche Arbeit der bewegenden und bezw. der widerstehenden Kraft im Schlot ist aber:

$$Rv = fh\gamma \frac{v^2}{2g} v \dots \dots \dots \dots \dots \quad 7)$$

Indem bei vorausgesetzter Verschiedenheit der Querschnitte f und f_1 die Geschwindigkeit der Luft im Kanal eine andere sein wird als im Schlot, ist für diese v_1 statt v zu setzen und wird dann:

Da das sekundlich aus dem Schlot am oberen Ende austretende Luftgewicht demjenigen gleich ist, welches am unteren Schlotende vom Kanal her eintritt, lässt sich v , durch v ausdrücken, nach der Gleichung:

$$v, \gamma, f_1 = v\gamma f,$$

nach welcher:

$$v_1 = v \frac{\gamma}{\gamma_1} \frac{f}{f_1}$$

Wird dieser Wert in Gleichung 9) eingesetzt, so hat man:

$$R_1 v_1 = \mu_1 l \frac{u_1}{f} \gamma_1^2 \frac{\gamma}{\gamma_1} \frac{f}{f_1} v = \mu_1 l \frac{u_1}{f_1^2} \gamma \gamma_1 f v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Indem man der disponiblen ArbeitsgröÙe nach Gleichung 7) die widerstehenden ArbeitsgröÙen nach den Gleichungen 8) und 10) gleich setzt, erhält man:

$$f h \gamma \frac{v^2}{2\alpha} v = \mathfrak{p} h \frac{u}{f} \gamma^2 v + \mathfrak{p}_1 l \frac{u_1}{f^{\frac{1}{2}}} \gamma \gamma_1 f v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

aus welcher durch Umstellung und Weglassung der allen Gliedern gemeinsamen Faktoren zunächst folgt:

$$\mu_1 \frac{u_1 \gamma_1}{f_1^2} \cdot l = h \frac{v^2}{2g} - \mu h \frac{u \gamma}{f^2}$$

woraus endlich:

$$l = \frac{h f_1^2}{\mu_1 u_1 \gamma_1} \left(\frac{v^2}{2g} - \frac{\mu u \gamma}{f^2} \right) \dots \dots \dots \quad (12)$$

In diesen Gleichungen sind bei gegebenen h , f , f_1 , γ , γ_1 und v nur die Beiwerte μ , μ_1 unbekannt. Für Heizröhren mit gemauerten glatten Wandungen hat μ den Wert 0,0065; für μ_1 ist ein Wert bisher nicht ermittelt worden. Wenn es daher auch wahrscheinlich ist, daß μ_1 einen von μ verschiedenen Wert hat, so bleibt doch nichts anderes übrig, als $\mu_1 = \mu = 0,0065$ zu setzen. Unter dieser Annahme möge die Gleichung 12) auf ein Beispiel angewendet werden. Es sei:

die Schlotheite $h = 20$ m;

der Schlotquerschnitt ein Quadrat der Seitenlänge 0,5 m, also $f = 0,25$ qm und $u = 2,00$ m;

der Kanalquerschnitt ein Kreis vom Durchmesser 1 m, daher $f_1 = 0,7854$ qm und $u_1 = 3,1416$ m.

Die Luftsäule im Schlot habe die Temperatur 50° und den Feuchtigkeitsgehalt 15% der Sättigung. Dann ist nach der Tabelle S. 120 bei -10° Außentemperatur das Gewicht von 1 cbm: $\gamma = 1,092$ kg und die Luftgeschwindigkeit im Schlot: $v = 7,621$ m.

Beim Durchgang der Außenluft durch den Kanal wird, da es sich um eine größere Länge l handelt, die Temperatur der Außenluft sich erhöhen. Es werde angenommen, daß dies bis auf 5° und Sättigung mit Feuchtigkeit bis zu 35% stattfindet. Alsdann ist nach der Tabelle S. 120 das Gewicht von 1 cbm Luft: $\gamma_1 = 1,2681$ kg.

Werden die vorstehenden Werte in die Gleichung 12) eingesetzt, so erhält man als für die Winterszeit gültige Länge l , auf welche der Schlot seine Einwirkung erstreckt:

$$l_a = 20 \frac{0,7854^2}{0,0065 \cdot 3,1416 \cdot 1,2681} \left(\frac{7,621^2}{2 \cdot 9,81} - \frac{0,0065 \cdot 2,0 \cdot 1,0920}{0,5^2} \right) = \\ = 476,4 (2,96 - 0,0568) = 1383 \text{ m.}$$

Um den Einfluß zu veranschaulichen, den die Temperaturwechsel der Außenluft auf die Länge l ausüben, sei das Beispiel auch für die Frühjahrs- und Herbstperiode, bezw. die Sommerzeit durchgeführt. Es bleiben dabei außer γ_1 und v alle obigen Zahlen unverändert. Nach den Tabellen S. 120 und 127 ist bei 8° Temperatur der Kanalluft und 35% der Sättigung:

Frühling und Herbst Sommer

$$\gamma_1 = 1,2543 \text{ kg}, \quad \gamma_1 = 1,2543 \text{ kg}, \\ v = 6,330 \text{ m.} \quad v = 5,285 \text{ m.}$$

$$l_b = 20 \frac{0,7854^2}{0,0065 \cdot 3,1416 \cdot 1,2543} \left(\frac{6,33^2}{2 \cdot 9,81} - 0,0568 \right) = 481,8 (2,0424 - 0,0568) = 957 \text{ m,} \\ l_c = 481,8 (1,4236 - 0,0568) = 659 \text{ m.}$$

Die ermittelten Zahlen erweisen, daß der Einfluß eines Schlotes von nur mäßiger Höhe ein ziemlich weit reichender ist. Doch ist als sicher anzunehmen, daß diese Zahlen die Wirkung des Schlotes in einem bei weitem günstigeren Lichte erscheinen lassen, als die Wirklichkeit es bietet. Denn die Zahlen sind auf der Grundlage ermittelt, daß keinerlei Strömungen im Kanal stattfinden, welche die Luftströmungen zum Schlot beeinträchtigen. Solche schädlichen Strömungen sind aber nach den Ermittlungen S. 133 ff. immer vorhanden und — vermöge der Wasserströmung im Kanal — selbst in dem Falle, daß der Kanal auf so große Längen, wie die obige Rechnung sie ergeben hat, von der Außenluft völlig abgeschlossen ist; letzteres ist aber niemals der Fall. Da ferner noch der Einfluß von Richtungs- sowie Querschnittsänderungen des Kanals in der Rechnung unberücksichtigt geblieben ist, ergiebt sich mit Notwendigkeit die Schlussfolgerung, daß die Ein-

flußsphäre eines Schlotes allgemein eine erheblich geringere sein wird, als die obigen Rechnungen nachweisen, daß letztere also die denkbar günstigste Wirkung, eine Wirkung, die nur unter außergewöhnlichen Verhältnissen erreichbar ist, darstellen.

Die Gleichung 12) für l zeigt, daß in dem Falle wo stattfindet:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{\mu u \gamma}{f^2},$$

$l = 0$ wird. Hier handelt es sich allerdings um eine bloß theoretische Festlegung, da, wie klein v auch sei, dem Kanal immer eine gewisse Luftmenge entzogen wird. Deshalb besagt das obige Resultat nur, daß beim Absinken von v auf eine gewisse Größe herab die Einwirkung des Schlotes sich nicht weiter als auf die unmittelbare Nähe seines unteren Endes erstrecken, oder auch, daß anstatt Bewegung hier eine bloße Luftverdünnung eintreten wird.

Bei den, dem obigen Beispiel zu Grunde liegenden Werten $f = 0,5$ qm und $\gamma = 1,092$ tritt der Fall $l = 0$ für $v = 1,057$ m ein, für unverändertes Gewicht, aber verdoppeltes bzw. halbiertes f bei $v = 0,629$ m und bzw. $1,772$ m. Bei einer in der Nähe von 1 m liegenden Luftgeschwindigkeit hört danach praktisch die Einwirkung des Schlotes auf die Kanalluft auf. —

Das zweite Glied in der Gleichung für l ist nur von sehr geringem Einfluß. Vernachlässigt man dasselbe, so treten bei unveränderter Größe f nur Vermehrungen von l ein, um bzw.:

$$2,0\%, 2,8\% \text{ und } 4,1\%.$$

Die Veränderung, welche l erfährt, hält sich auch in ähnlich engen Grenzen, wenn selbst große Änderungen am Querschnitt f des Schlotes stattfinden und man das entsprechend veränderte zweite Glied der Gleichung für l vernachlässigt. Eine Verdoppelung von f (und die entsprechende Veränderung von u) bringt nur folgende Vermehrungen von l hervor:

$$1,2\%, 1,7\% \text{ und } 2,6\%,$$

während mit einer Verminderung von f auf $\frac{f}{2}$ folgende Verminderungen von l verbunden sind:

$$3,6\%, 4,3\% \text{ und } 9,1\%.$$

Indem die üblichen Querschnitte von besonderen Aspirationsschlotten im allgemeinen nicht viel von den Querschnitten, welche diesen Zahlen zu Grunde liegen ($0,5$ qm bzw. $1,0$ qm und $0,25$ qm), abweichen werden, erweisen die ermittelten Abweichungen, daß der Einfluß des zweiten Gliedes in der allgemeinen Gleichung für l so klein ist, daß man dieses Glied, ohne ein wesentlich unrichtiges Resultat zu erhalten, fortlassen kann. Geschieht dies, so bleibt als abgekürzte Gleichung:

$$l = h \frac{f_1^2}{\mu_1 u_1 \gamma_1} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots \dots \quad (13)$$

Nach dieser Gleichung nimmt die Länge l in gleichem Verhältnis ab und zu als die Schlöhöhe ab- und zunimmt, ändert sich aber im quadratischen Verhältnis mit der Geschwindigkeit v , d. h. mit der stärkeren Heizung des Schlotes. Eine Verdoppelung der Temperatur im Schlothe vermehrt daher die beeinflußte Kanallänge l auf das Vierfache, wogegen eine Verminderung auf die Hälfte die Länge l auf den vierten Teil herabsetzt.

Danach muß eine gewollte starke Wirkung des Schlotes in erster Linie in verstärkter Heizung, in zweiter in Vermehrung der Schlöhöhe und (nach dem, was

oben über den Einfluß von f nachgewiesen ist) erst in dritter Linie in einer Vergrößerung des Schlotquerschnittes erstrebt werden. Uebrigens wird auf diese und andere Seiten, welche die zweckmäßigste Anlage eines Aspirationsschlotes bietet, erst weiterhin, bei Vorführung der technischen Einrichtung einer Kanalisationssanlage, einzugehen sein. Hervorzuheben ist an dieser Stelle aber noch folgendes:

Nach der abgekürzten Gleichung für l übt auf diese Länge auch der Kanalquerschnitt einen besonderen Einfluß. Mit der Erweiterung des Querschnittes wächst die Länge l bedeutend, zahlenmäßig im Verhältnis von 2,828 : 1, wenn der Querschnitt f_1 auf $2f_1$ vergrößert wird. Dagegen hat die Verminderung des Querschnittes f_1 auf $\frac{f_1}{2}$ eine Verminderung der beeinflußten Kanallänge $\frac{1}{2,828} = 0,354$ zur Folge, d. h. auf etwa ein Drittel. Zur Lüftung enger Rohrkanäle erweisen sich daher Aspirationsschlote als relativ unvorteilhaft. —

Das oben berechnete Zahlenbeispiel ergibt es — und die Beobachtungen von im Betriebe befindlichen Aspirationsschlotten bestätigen den rechnerisch geführten Nachweis —, daß die Kanallängen, auf welche der Schlot seine Wirkung ausübt, außerordentlich wechseln. Unter Voraussetzung gleich starker Heizung ist die Wirkung des Schlotes in der kalten Jahreszeit am weitreichendsten. Mit höher werdenden Außentemperaturen nimmt die beeinflußte Kanallänge stark ab, um zur warmen Sommerszeit den Kleinstwert zu erreichen. Hier liegt eine offbare Schattenseite der Anlage, indem der Lüftungszweck das Umgekehrte verlangt.

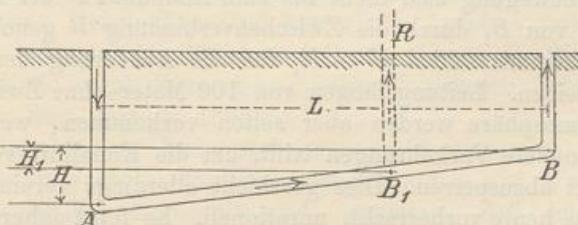
Ein anschauliches Maß für die Wechsel, denen die Schlotwirkung nach der Jahreszeit unterliegt, können die im obigen Beispiel ermittelten Zahlen gewähren. Wenn man die für kalte Winterszeit gefundene beeinflußte Kanallänge l von 1383 m = 1 setzt, so beträgt die für Mitteltemperaturen im Herbst und Frühling gefundene Länge von 957 m nur 0,69 und die für die warme Sommerszeit berechnete Länge von 659 m nur 0,48. In runden Zahlen handelt es sich also um Herabsetzung der beeinflußten Kanallängen auf zwei Drittel und bezw. die Hälfte.

Freilich lassen sich grobe Schwankungen wie diese, die in langen Zwischenräumen vor sich gehen, durch Anpassung der Heizstärke an die Außentemperatur wesentlich einengen, sogar durch Anwendung besonderer Sorgfalt im Heizbetriebe ganz beseitigen, da es nur der entsprechenden Vermehrung der Luftgeschwindigkeit im Schlothe bedarf. Neben den Schwankungen, die sich zwischen längeren Zeitabständen ergeben, laufen aber solche zwischen kürzeren Zeitabschnitten (Wochen, Tagen, Stunden) her und diese Schwankungen können bei den oft weit auseinander liegenden Temperaturen jener Zeitabschnitte von derselben Größe und selbst größer sein, als die Schwankungen während längerer Perioden. Denn, was dieselben verursacht: die Raschheit, mit der sich Temperaturwechsel der Außenluft vollziehen, läßt sich der Heizbetrieb des Schlotes nur sehr unvollkommen anpassen. Man kann daher kaum anders, als den immerwährenden großen Wechsel in der Wirksamkeit eines Aspirationsschlotes — die durch Rechnung und unmittelbare Beobachtung nachweisbar sind — als unvermeidliches Uebel hinzunehmen. —

Die Anwendung der allgemeinen Gleichung für l auf den Fall, daß die Kanalluft durch eine in einer gewissen Höhe über Straßenfläche stehende Lockflamme angesaugt wird (s. Tabelle 4, S. 127), hat kaum Zweck. Denn bei den geringen Längen l , welche die Rechnung hier, vermöge der Kleinheit der Geschwindigkeit v , liefert, fallen die Abweichungen, die die Rechnung ergibt, notwendig so groß aus, daß von dem Rechnungsergebnis auch nicht einmal ein annähernder Schluß auf die Wirklichkeit als erlaubt erscheinen kann.

§ 80. Die bisherigen Ermittlungen über die Luftbewegung in Röhren setzten stillschweigend wagrechte, oder doch eine von der wagrechten wenig abweichende Lage der Verbindung der beiden Schenkel der kommunizierenden Röhren voraus. Dies ist gleichbedeutend mit der Annahme, daß an den unteren Enden der beiden Schenkel Gleichheit der Barometerdrücke stattfindet. Wo dies nicht der Fall, wo das Verbindungsrohr der beiden Schenkel ansteigt, wie in Fig. 4 dargestellt ist,

Fig. 4.



kommt ein der Höhe H entsprechendes Mehr an Barometerdruck in Betracht, welches eine Luftbewegung in dem System hervorruft. Die Größe derselben ist leicht zu ermitteln.

Indem je etwa 10 Meter Höhenunterschied ein Mehr oder Minder von 1 Millimeter Höhe der Quecksilbersäule entspricht, beträgt für die Höhe H das Mehr oder Minder der Quecksilbersäulenheight $0,1 H$ (Millimeter), daher die wirkliche Höhe der letzteren:

$$760 \pm 0,1 H.$$

Es entspricht dem die Änderung des spezifischen Gewichts der Luft:

$$\frac{760 \pm 0,1 H}{760}.$$

Wird $H = 1$ Meter, so vermehrt oder vermindert sich das spezifische Gewicht hier-nach um:

$$0,0001361.$$

Die spezifischen Gewichte der Luft an den beiden Enden A und B des Röhrensystems verhalten sich demnach wie

$$1 \pm \frac{1,0000000}{1,0001361} = \begin{cases} 0,999868 \\ 0,000136 \end{cases}$$

Die durch diesen Unterschied hervorgerufene Luftgeschwindigkeit ist abgesehen von den Bewegungswiderständen:

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 (1 - 0,999868)} = 0,161 \text{ Meter},$$

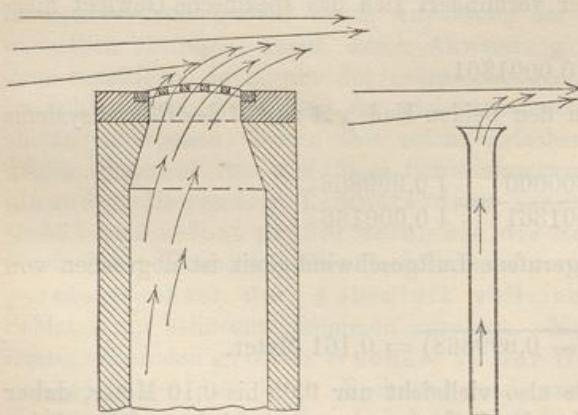
mit Berücksichtigung der Widerstände also vielleicht nur 0,05 bis 0,10 Meter, daher so gering, daß sie im Vergleich mit den durch Temperaturunterschiede und Feuchtigkeitsgehalt der Luft verursachten Geschwindigkeiten kaum in Betracht kommt, so lange es sich um den geringen Höhenunterschied von 1 Meter oder selbst 2 und 3 Meter handelt.

Wird nun das geringe Gefälle beachtet, welches sowohl bei häuslichen Anschlußleitungen als den Straßenkanälen einzuhalten ist, und die geringe Länge hinzugenommen, welche die häuslichen Anschlußleitungen in der Regel nur erreichen, so zeigt sich, daß der Höhenunterschied von nur 1 Meter, welcher der obigen Rechnung zu Grunde liegt, nur selten vorkommen wird, bei häuslichen Anschluß-

leitungen vielleicht vereinzelt, bei Straßenleitungen aber nur als Ausnahmefall. Denn wenn selbst bei letzteren unter besonderen Umständen streckenweise das Gefälle von $\frac{1}{100}$ stattfinden sollte, so würde der Höhenunterschied von 1 Meter schon eine Kanallänge von 100 Meter voraussetzen, auf welcher anderweite Verbindungen mit der freien Atmosphäre als an den beiden Enden nicht vorkommen dürften. Denn beständen solche — wie etwa die Zwischenverbindung R in Fig. 4 — so würde die Luftbewegung sich nicht bis zum Endpunkt B der Leitung fortsetzen, sondern der Weg von B_1 durch die Zwischenverbindung R genommen werden und dabei nur der Höhenunterschied $H - H_1$ für die Änderung des Barometerdrucks in Wirksamkeit bleiben. Leitungslängen von 100 Meter ohne Zwischenverbindungen mit der freien Atmosphäre werden aber selten vorkommen, wenigstens da nicht, wo man nicht besondere Vorkehrungen trifft, um die Kanalluft von der Verbindung mit der freien Luft abzusperren. Dies geschieht allerdings vereinzelt, ist aber nach der Ansicht, welche heute vorherrscht, unrationell. Es folgt daher, daß bei der Luftbewegung in Kanälen, die zum Luftwechsel eingerichtet sind, den Barometerdruckunterschieden ein nennenswerter Einfluß nicht zukommt; doch ist bei den häufigen Schwankungen jenes Drucks ein Einfluß auf Geschwindigkeit und Richtung der Luftbewegung in Kanälen vorhanden. Auch bei plötzlichen „Stürzen“ des Barometerdrucks, die nicht gerade selten sind, kann an einen größeren Einfluß sowohl auf die Richtung als auf die Größe der Luftbewegung gedacht werden. Hierbei handelt es sich aber um Ausnahmefälle, welche keiner Regel unterworfen sind.

§ 81. Außer durch Gewichtsunterschiede werden in Hohlräumen Bewegungen durch Luftströmungen (Wind) der freien Atmosphäre hervorgerufen, wenn dieselben entweder Zutritt zu den Hohlräumen erhalten oder über offene Endigungen derselben fortgehen. Die Fig. 5 und 6 veranschaulichen den Vorgang. Hat der Wind wagrechte oder aufsteigende Richtung (wie in den Figuren angenommen ist), so wird über den Endigungen eine Luifauflockerung erzeugt, welche die in den Hohlräumen befindliche Luft zum Aufsteigen veranlaßt; auch findet vermöge der Reibung Mitreißen der Luft statt, wenngleich letztere Wirkung wohl nur sehr gering anzuschlagen ist. Findet sich, wie in Fig. 5, unter der Endigung eine Erweiterung des Hohlräumes, so bildet diese gewissermaßen ein Luftservoir, welches insofern förderlich für den Austritt der Luft ist, als es für denselben einen gewissen Grad von

Fig. 5 u. 6.



Gleichmäßigheit und Nachhaltigkeit schafft. Diese Begünstigung kommt bei Röhren nach Fig. 5 in Fortfall; eine Erweiterung der obigen Endigung, wie in der Figur angegeben, wird immer zweckmäßig sein.

Hat der Wind absteigende Richtung — wie es im Freien in der Regel stattfindet — so hindert derselbe den Austritt der Luft, treibt vielmehr Luft in die Hohlräume ein. Auch diese Wirkung des Windes kommt dem Luftwechsel in den Hohlräumen (Kanälen) zu statthen.

Indem sonach jede mögliche Windrichtung den Luftwechsel begünstigt, ist es etwas zwecklos, die Endigungen von Röhren, wie sie hier in Rede stehen, mit besonderen Einrichtungen (Aufsätzen) zu versehen, welche den Zweck haben, schädliche Windströmungen abzuhalten. Nur Aufsätze von solcher Einrichtung, daß die Windwirkung verstärkt wird, können nützlich sein, und daneben, in dem Falle, daß es Absicht ist, die Luft immer nur in derselben Richtung durch die Rohre gehen zu lassen, auch solche, die für diesen Zweck schädlich wirkende Windströmungen abhalten, oder auch die Richtungen derselben so abändern, daß günstige Wirkungen entstehen. Desgleichen sind bewegliche Aufsätze verwendbar, die sich selbstthätig „gegen oder in den Wind anstellen“. Ueber die Wirkung letzterer in einem besonderen Falle vergl. Strachan, Sewer Ventilation, Exc. Min. of Proceed. of the Inst. of Civ. Eng. London 1886.

Die Größe der hier in Rede stehenden Luftbewegungen entzieht sich der rechnerischen Verfolgung ganz; tägliche Beobachtungen und Untersuchungen, die in Kanälen selbst darüber angestellt sind, erweisen, daß jene bedeutend sein können.

§ 82. Endlich wird Bewegung der Luft in Kanälen und Röhren durch die Strömung des Wassers bewirkt, das in denselben fließt. Es handelt sich hierbei um ein durch die Reibung an der Berührungsfläche beider Flüssigkeiten bewirktes „Mitreissen“ der Luft. In erster Linie wird diese Luftbewegung daher von der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers, in zweiter von der Größe (Breite) der Berührungsfläche abhängen. Als dritter Faktor kommt noch das Verhältnis des „Luftquerschnitts“ zum „Wasserquerschnitt“ in Betracht, da die Reibungsgröße zwischen Wasser und Luft eine andere ist als die zwischen Luft und Luft. Indem letztere die geringere ist, wird mit der Höhe über Wasserspiegel die Geschwindigkeit der Luft — die man sich in dünnen Schichten übereinander gelagert denken kann — abnehmen, d. h. also die durchschnittliche Luftgeschwindigkeit um so kleiner sein, je größer das Verhältnis des Luftquerschnittes zum Wasserquerschnitt ist.

Bei heftiger Wasserströmung im Kanal geschieht das „Ansaugen“ der Luft aus dem Freien mit großer Energie; es kann dabei Luft 3 bis 5 Meter tief und noch mehr aus dem Freien in den Kanal hinabgezogen werden. Jeder größere Regenfall bietet Gelegenheit, diese Thatsache an den Einsteigeschächten und sonstigen mehr oder weniger offenen Zugängen einer Entwässerungsleitung zu beobachten.

Die Erscheinung entzieht sich einer theoretischen Untersuchung; nur das direkte Experiment kann hier ein Resultat geben, für welches indessen bei der großen Verschiedenheit der bestimmenden Verhältnisse eine Verallgemeinerung wohl nicht gestattet ist.

Soyka hat einige Versuche*) in der Weise ausgeführt, daß er ein 34 mm weites, 1,4 m langes Rohr mit einer solchen Neigung auf Schraubenspitzen lagerte, daß das von oben stetig nachfließende Wasser an allen Stellen der Rohrlänge denselben, gleich großen Teil des Rohrquerschnitts füllte. Gleichzeitig wurde am oberen Rohrende Rauch erzeugt, von dem ein Teil durch das Wasser angesaugt und mitgeführt wurde. Die Zeit vom Eintritt des Rauchs am oberen bis zum Austritt am unteren Ende ergab die Geschwindigkeit desselben. Letztere wechselte zwischen 39 und 45 % der Wassergeschwindigkeit, die ihrerseits zwischen Grenzwerten von 0,063 und 0,3289 m lag. Die Wasserfüllung des Rohrs betrug zwischen 6,6 und 24,2 % des Rohrquerschnitts.

Soyka begründet aus den gewonnenen Versuchsergebnissen die Vermutung, daß die durch die Wasserströmung im Kanal verursachte Luftgeschwindigkeit wohl

*) Soyka, Hygienische Tagesfragen I; Kritik der gegen die Schwemmkanalisation erhobenen Einwürfe. München 1889.

niemals über 50 % der Wassergeschwindigkeit hinausgehe, wahrscheinlich ziemlich weit unter derselben bleibe. Allerdings wurde nicht unterlassen, die Verschiedenheiten hervorzuheben, welche bei andern Profilformen als den bei den Versuchen benützten, bestehen müssen.

Verfasser teilt die von Soyka gezogene Vermutung nicht, weil es sich bei dessen Versuchen um Laboratoriums-Experimente handelt, deren Einrichtung sich viel zu weit von denjenigen Verhältnissen entfernt, welche bei unterirdischen Kanälen und Röhren mit ihren 50 bis 2000mal größeren Querschnitten bestehen. Hier spricht das Beharrungsvermögen — die lebendige Kraft — der bewegten Luft so bedeutend mit, daß bei nur einigermaßen lebhafter Wasserströmung im Kanal viel größere als die von Soyka gefundenen Luftgeschwindigkeiten entstehen. Ebenfalls will der unverhältnismäßig große Einfluß der Reibung am Rohrumsfange beachtet sein, der bei einem so engen Versuchsrohr, als Soyka es benutzte, stattfindet. Auch mit der täglichen Erfahrung und mit den Leistungen der sogen. Strahlapparate, sowohl derjenigen, welche geschlossene (gepresste), als (drucklose) freie Wasserstrahlen zur Luftbewegung benutzen, lassen sich die von Soyka gefundenen Ergebnisse nicht wohl vereinigen.

§ 83. In unregelmäßiger Weise wird Luft in die Kanäle durch Regenrohre und oben offene häusliche Fallrohre eingeführt, wenn durch diese Regenwasser bzw. Schmutzwasser herabstürzt, desgleichen durch die Anschlußleitungen der Gullins, wenn diese ohne Wasserschlüsse sind. Dieser Vorgang hat Ähnlichkeit mit dem im voranstehenden Paragraphen besprochenen und ist ebenso wenig wie jener einer theoretischen Untersuchung zugänglich. Beobachtungen an Strahlapparaten sowie auch über das sogen. Leerziehen der Wasserschlüsse — auf welche Erscheinung erst später einzugehen ist — lehren aber, daß es sich auch hierbei um nicht unbedeutende Luftbewegungen handelt. Bei der Unregelmäßigkeit, mit welcher der Vorgang sich vollzieht, ist der Wert desselben für den Lüftungszweck der Kanäle allerdings nur ein beschränkter.

§ 84. Die Vielheit der Ursachen, welche Luftbewegungen hervorrufen, sowie die raschen Wechsel, welche in Bezug auf Richtung und Geschwindigkeit der Luftbewegung in Röhren und Kanälen stattfinden, endlich die — an mehreren Stellen hervorgehobene — Unmöglichkeit einer Einbeziehung dieser oder jener Ursache in die rechnerische Behandlung des Problems der Luftbewegung verhindern es, den Vorgang, wie er sich in Wirklichkeit vollzieht, auf rechnerischem Wege genauer zu verfolgen; es sind bloße, das Bild in seinen Hauptzügen gebende Annäherungen, welche der letztere Weg liefert. Ein einigermaßen genaues Ergebnis kann im Einzelfalle immer nur mittels direkter Beobachtung (anemometrische Messung) gewonnen werden. Aber bei der Mannigfaltigkeit der Verhältnisse sind auch die durch direkte Versuche gefundenen Resultate nur dazu geeignet, mit Vorsicht auf ähnliche Verhältnisse übertragen, nicht aber dazu, als allgemein gültige Unterlagen angesehen zu werden.

Von diesem Standpunkte der Betrachtung aus erscheint es als kein großer Mangel, daß die Anzahl der bekannt gegebenen bezüglichen Versuchsresultate bisher nur gering ist. Einiges, was der Öffentlichkeit vorliegt, soll hier kurz mitgeteilt werden.

Lissauer fand, daß in dem Kanalnetz von Danzig im allgemeinen eine „absteigende“ — mit dem Wasserstrom gehende — Luftströmung stattfindet.

v. Roszahegyi kam durch Versuche, die in der Sommerzeit in einigen Münchener besteigbaren Kanälen ausgeführt wurden, zu folgenden Ergebnissen:

1. Die Luftbewegung in den Kanälen ist viel öfter „absteigend“ als aufsteigend. Auf-

steigende — gegen den Wasserstrom gehende — Luftströmungen kommen selten vor und sind auf kurze Strecken beschränkt.

2. In tief liegenden Kanälen ist die Luftgeschwindigkeit größer als in flach liegenden.

3. Durch Anschlüsse von — offenen — Gully- und Hausleitungen findet öfter eine aus als eine eingehende Luftbewegung statt. Liegen zwei solche Anschlüsse nahe bei einander, so kann zwischen beiden ein Austausch der Luft stattfinden.

4. Die vorwaltende absteigende Bewegung der Kanalluft scheint lediglich durch die Wasserströmung im Kanal bewirkt zu werden. Die an der Erdoberfläche herrschende Windrichtung übt keinen merklichen Einfluß auf Richtung und Geschwindigkeit der Luftbewegung im darunter liegenden Kanal aus.

Soyka hat die Versuche Roszahegyis zur Winterszeit wiederholt und auch für diese Jahreszeit die Ergebnisse, zu welchen letzterer gelangte, im wesentlichen bestätigt gefunden. Es zeigte sich aber, daß in einem und demselben Profil die Luftgeschwindigkeiten an verschiedenen Stellen große Ungleichheiten aufweisen, daß sogar Umkehrungen der Bewegungsrichtungen unmittelbar nebeneinander stattfinden, daß auch in zwei nahe bei einander liegenden Profilen große Unterschiede herrschen können und Wechsel sich sowohl oft als rasch vollziehen.

Alle diese, durch Beobachtung gefundenen Ergebnisse haben nichts Befremdliches an sich, konnten vielmehr, nach den Darlegungen über die Luftbewegung, welche vorangestellt sind, zum voraus vermutet werden.

Im übrigen geben die Versuche Roszahegyis und Soykas aus zwei Gründen kein klares Bild der Vorgänge, weil bei den Anemometermessungen in den großen Profilen der untersuchten besteigbaren Kanäle immer nur ein einziges (anstatt gleichzeitig mehrerer) Anemometer benutzt ward und die Experimentatoren sich während der Beobachtungen in den Kanälen selbst aufhielten. Die hierbei stattfindenden Wärmeabstrahlungen und Profilverengungen mußten das Bild der Vorgänge notwendig bedeutend ändern. Anders auch als in besteigbaren Kanälen wird sich der Vorgang in engen Röhrenkanälen abspielen. Soyka hat den Versuch unternommen, die Beobachtungsergebnisse rechnerisch — sogar unter Berücksichtigung der Reibungswiderstände — zu kontrollieren. Es ist klar, daß dabei so bedeutende Inkonsistenzen zu Tage treten müssen, daß eine solche Kontrolle als bedeutungslos erscheint. Das Genaue über die Soykaschen Arbeiten ist in Soyka, Hygienische Tagesfragen I; Kritik der gegen die Schwemmkanalisation erhobenen Einwände, München 1889, nachzulesen.

Mehr einwandfrei als die bisher erwähnten Versuche sind solche, die von Crimp zu Wimbledon*) angestellt wurden; freilich bezogen sich dieselben nur auf eine einzige Leitung. Doch war das eine 570 Meter lange und 30 Centimeter weite

*) Crimp, Experiments on the movement of sewer air at Wimbledon. Transact. of the Inst. of Civ. Engineers. London 1889.

Fig. 7.

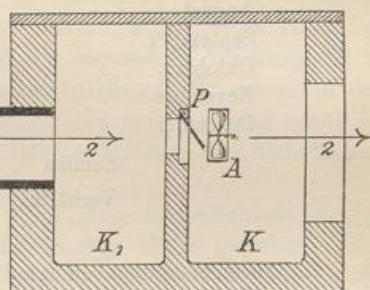
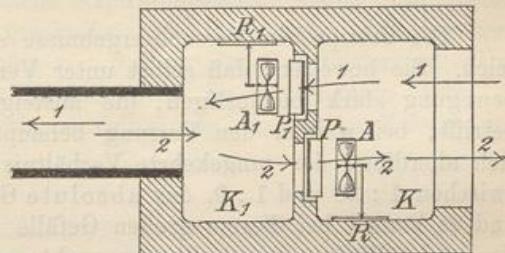


Fig. 8.



Röhrenleitung mit dem außergewöhnlichen, zwischen 1 : 28 und 1 : 9 wechselnden Gefälle.

Am untern Ende der Röhrenleitung wurde eine Doppelkammer (K und K_1), Fig. 7 u. 8, eingebaut, in deren Trennungswand Crimp zwei Klappenventile (A und A_1) aus Marienglas anordnete; eines der Ventile öffnete gegen die Leitung, das zweite nach der Auslaßseite. Vor den Klappen waren Anemometer (P und P_1) angebracht, deren Bewegung auf Papierstreifen (K und K_1) selbsttätig registriert ward. Jedes Ventil mit Anemometer war daher einer der beiden Bewegungsrichtungen (1 absteigender, 2 aufsteigender) dienstbar. Die Einrichtung blieb ein volles Jahr hindurch in Thätigkeit und lieferte die in nachstehender Tabelle verzeichneten Ergebnisse:

| Monat | Richtung | | In beiden Richtungen Tage |
|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|
| | aufsteigend Tage | absteigend Tage | |
| Januar | 13 | 12 | 8 |
| Februar | 19 | 29 | 19 |
| März | 13 | 27 | 11 |
| April | 19 | 30 | 19 |
| Mai | 11 | 26 | 11 |
| Juni | 3 | 27 | 3 |
| Juli | 2 | 28 | 2 |
| August | 4 | 27 | 4 |
| September | 5 | 20 | 5 |
| Oktober | 3 | 12 | 1 |
| November | 5 | 26 | 5 |
| Dezember | — | 9 | — |
| Summa . . . | 97 | 273 | 88 |
| Verhältnis . . | 1,10 | 3,10 | 1,00 |

Die Anemometerangaben lieferten auch die Unterlagen für eine ungefähre Berechnung der in den beiden Richtungen fortbewegten Luftmengen. Sie verteilten sich zu etwa 40 % auf die aufsteigende und zu etwa 60 % auf die absteigende Richtung.

Die Crimpschen Versuchsergebnisse sind nach mehreren Richtungen hin lehrreich. Sie beweisen, daß selbst unter Verhältnissen, welche die aufsteigende Luftbewegung stark begünstigen, die absteigende Bewegung, was ihre Häufigkeit betrifft, bei weitem den Vorrang behauptet, wogegen in Bezug auf die Mengen sich allerdings das umgekehrte Verhältnis ergab. Das Gefälle der Leitung betrug zwischen 1 : 28 und 1 : 9, das absolute Gefälle daher jedenfalls mehr als 20 Meter, und es konnte bei diesem großen Gefälle die dauernde Wasserführung des Kanals, das ist der Wasserquerschnitt, nur recht gering sein. — Die aufsteigende Richtung ist nur in der kalten Jahreszeit von einiger Bedeutung, während sie in den wärmeren und warmen Monaten ganz zurücktritt. Aber auch in der kalten Jahreszeit findet nach den Zahlen in Spalte 4 der Tabelle noch häufig absteigende Luftbewegung statt. In der wärmeren und warmen Jahreszeit herrscht die absteigende Bewegung vor, neben welcher sich nur eine geringe Zahl von Fällen aufsteigender Bewegung einstellt. Aus diesen Verhältnissen muß geschlossen werden, daß die von Barometerdruckverschiedenheiten — die an den beiden Enden der Leitung bestehen — herrührenden Wirkungen ganz untergeordnete sind, ein Ergebnis, welches S. 133 bereits rechnerisch begründet ward, und daß als bewegende Ursachen fast nur die Gewichtsunterschiede der Luft, die Wasserströmungen der Leitung und Windströmungen an der Oberfläche übrig bleiben.

In Uebereinstimmung mit allem, was oben dargelegt worden ist, darf man diese Schlussfolgerung wohl als eine in häufigen Fällen zutreffende ansehen.

§ 85. Unter den drei Faktoren kommt der Wasserströmung im Kanal die meiste Beständigkeit zu; ihr Einfluß ist der immer thätige, wenn auch unter Schwankungen in Bezug auf ein Mehr oder Weniger der Thätigkeit; die Wasserströmung wirkt immer nur im Sinne einer absteigenden Luftbewegung. Als zweiter Faktor, der im allgemeinen nur in längeren Perioden größere Schwankungen erleidet, folgt das Gewicht der Luft, das beides, sowohl eine ab- als aufsteigende Luftbewegung in den Kanälen hervorrufen kann. Welche davon eintritt, hängt von der Jahreszeit und von der Lage der Verbindungen des Kanalinnern mit der freien Atmosphäre ab (vergl. Tab. S. 126). Der dritte, vollständig regellos wirkende Faktor ist die Windströmung an der Oberfläche; ihrer Wirkung insbesondere ist die Häufigkeit der Wechsel, die sowohl in der Stärke als in den Richtungen der Luftbewegung in Kanälen stattfindet, zuzuschreiben.

Es ist demnach, wenigstens in freien Lagen, ausgeschlossen, daß die Luftbewegung in Straßenkanälen selbst nur einen mäßigen Grad von Regelmäßigkeit aufweisen werde. Richtung und Stärke derselben werden beständigen Wechseln unterliegen und es wäre fruchtloses Bemühen, sich zum voraus ein etwas genaueres Bild davon verschaffen zu wollen. Indessen tritt die Bedeutung dieser Aufgabe vollständig zurück gegen die andre, Sicherheit dafür zu schaffen, daß überhaupt Luftwechsel in den Kanälen stattfindet. Dazu wirken alle drei in Rede befindlichen Faktoren, jeder an seinem Teile, mit, und die vereinigte Wirkung ist so groß, daß unter günstigen Verhältnissen ein sehr bedeutender Luftwechsel in den Kanälen stattfindet, und unter ungünstigen noch immer ein solcher, der nicht als gering bezeichnet werden darf; die Zahlen in den letzten Spalten der Tabelle auf S. 126 geben hierüber genauere Auskunft.

Wenn die Technik keine völlige Herrschaft über den Luftwechsel in den Kanälen besitzt, so ist doch ein gewisser Grad davon in ihre Hand gegeben. Zunächst kann sie auf die Wasserströmung im Kanal regelnd wirken, weiter jedoch und in viel höherem Grade, durch zweckmäßige Lage und Ausgestaltung der häuslichen Fallrohre und endlich durch künstliche Aspirationseinrichtungen, die sowohl im Innern der Gebäude als im Freien geschaffen werden können. Die Art und Weise der technischen Vorkehrungen gehört erst dem 2. Teil des Buches an. Die Aufgabe dieses 1. Teils glaubt Verfasser in dem, was im vorstehenden über die Luftbewegung in Kanälen beigebracht wurde, so vollständig, als es dem Zwecke des Buches entspricht, behandelt zu haben.

3. Kapitel.

Gesundheitliche Wirkungen der Luft abnormaler Beschaffenheit.

§ 86. Allgemeine gesundheitliche Wirkungen. Sowohl die Luftbeschaffenheit im Freien als die der geschlossenen Räume ist in hohem Grade von dem Reinlichkeitszustande in der Umgebung der Wohnstätten und im Innern derselben abhängig. Gewöhnlich wird als Ursache von Luftverunreinigungen im Freien der Rauch aus häuslichen Feuerungen und Fabrikschornsteinen angesehen, nicht ganz mit Recht, weil neben den Luftverunreinigungen, die durch Rauch entstehen,