

kühlung statt, dafs auch weniger empfindliche Körpertheile erkranken können. Die Empfindlichkeit der Hautoberfläche ist eine sehr verschiedene bei einer und derselben Person, mehr noch bei verschiedenen Personen; es ist daher nicht allgemein die Grenze festzustellen, bis zu welcher die besprochene einseitige Kühlung stattfinden darf, ohne Krankheitserrscheinungen wach zu rufen, noch viel weniger aber diejenige Grenze, an welcher die in Rede stehende Wärmeentziehung unangenehm wird. Die Frage des »Zuges« ist sonach eine der dunkelsten auf dem Gebiete der Lüftung. Sie wird erst geklärt werden können, wenn geeignete Versuchsobjecte in verschiedenartigster Weise dem »Zuge« ausgesetzt worden sind und die Ergebnisse der hierbei gemachten Beobachtungen in Zahlen vorliegen.

Man vermag jedoch auf Grund der bisher vorliegenden Kenntnifs der der Zugwirkung zu Grunde liegenden Vorgänge einige allgemeine Gesichtspunkte aufzustellen.

Zunächst kann die Frage in so fern vereinfacht werden, als benetzte Hautoberflächen und nasse Kleider nicht beachtet zu werden brauchen, indem dieselben innerhalb geschlossener Räume feltener vorkommen und daher, wenn sie vorkommen, besonderer Schutz angewendet werden kann.

Dann ist zu beachten, dafs von unbedeckten Körperoberflächen nur der Kopf und Hals, allenfalls auch die Schultern zu berücksichtigen sind, weil die Hände im Allgemeinen genügend an Temperaturwechsel gewöhnt sind. Besonders ist daher Sorge zu tragen, dafs das oberste Fünftel des menschlichen Körpers der Einwirkung stark bewegter, kalter und trockener Luft nicht ausgesetzt werde.

Die bekleideten Körpertheile lassen den Zug empfinden, wenn die Geschwindigkeit der Luft grofs genug ist, um gröfsere Luftmengen durch die Poren der Kleider zu treiben. Die Temperatur der Luft macht sich hierbei geltend, sobald sie eine entsprechend niedrige ist; der Feuchtigkeitsgrad ist von geringem Einflufs. Je dichter die Kleidungsstücke sind, um so weniger vermag man den Zug zu merken, wengleich die betreffende Empfindung selbst bei ledernen Kleidungsstücken sich geltend macht, so fern Luftgeschwindigkeit und Temperatur entsprechende sind.

Der Zug ist auch in Räumen zu empfinden, welche ohne Lüftungseinrichtungen sind.

Man öffne (im Winter) die Thür zwischen einem gut geheizten und einem kalten Zimmer und stelle oder setze sich einige Zeit vor die Thüröffnung, so wird man sehr bald, je nach der Empfindlichkeit mehr oder weniger, von dem Luftstrom berührt werden, welcher von dem ungeheizten Zimmer nach dem geheizten gerichtet ist. Man begeben sich (namentlich bei grofser Kälte) in eine geheizte Kirche, und zwar in unmittelbare Nähe der Fenster, so wird man sich von einem kalten Luftstrom übergossen fühlen. Auch die Wände hoher Räume, welche nur selten geheizt werden, so dafs sie durch das Heizen nicht nennenswerth erwärmt werden, bringen einen solchen kalten Luftstrom hervor.

Solche Luftströmungen veranlassen die Anbringung besonderer Vorrichtungen, welche die Geschwindigkeit der Luft zu brechen bestimmt sind. Auch im Interesse dieser würde eine genauere Kenntnifs der Grenzen der zulässigen Luftbewegung erwünscht sein.

Bis zur Erlangung dieser Kenntnifs wird man sich begnügen müssen mit der allgemeinen Regel: Je weiter die Temperatur der bewegten Luft unter derjenigen des Blutes ist, um so geringer mufs die Luftgeschwindigkeit sein. An mir selbst gemachten Beobachtungen zufolge ist eine Luftgeschwindigkeit von $0,4^m$ zulässig, so lange die Temperatur der bewegten Luft von derjenigen des Zimmers nur sehr wenig abweicht; ich bemerke jedoch hierzu sofort, dafs ich selbst unter Männern empfindlichere Naturen gefunden habe.

1) Zufällige Lüftung.

Dieselbe wird auch spontane Lüftung geheissen, bisweilen auch mit dem wenig zutreffenden und auch noch für andere Lüftungsverfahren gebräuchlichen Namen »natürliche« Lüftung bezeichnet.

Die Stoffe³⁷⁾, aus denen unsere Gebäude hergestellt werden, sind meistens mit kleinen Hohlräumen durchzogen, welche theilweise so im Zusammenhange stehen, das sie fortlaufende, an den Aussenflächen mündende, allerdings unregelmässig gestaltete enge Canäle bilden. Diese Canäle vermögen, so weit sie quer durch die Wände hindurchgehen, einen Luftaustausch zu vermitteln, indem die Luft durch sie hindurchfließt, so fern eine bewegende Kraft vorhanden ist. Eben so sind die Undichtheiten der Fenster, Thüren etc. zur Beförderung des Luftwechsels geeignet.

Die immer erforderliche Kraft kann bestehen in dem Bestreben, die Spannung auszugleichen, sobald das Mischungsverhältniß der Luft an der einen Seite der Wand ein anderes ist, als an der entgegengesetzten Seite. Bevor jedoch eine Verschiedenheit der Luft im Inneren eines Zimmers gegenüber der freien Luft so erheblich wird, das durch dieselbe eine nennenswerthe Wirkung hervorgebracht zu werden vermag, ist dieselbe als unathembar zu bezeichnen.

Besser wirkt die bewegende Kraft, welche von dem Temperaturunterschied der freien und der eingeschlossenen Luft herrührt. Die wärmere, leichtere Zimmerluft wird durch die kältere, schwerere Aussenluft aufwärts getrieben. Der untere Theil der Wand läßt die kalte, frische Luft eintreten, während die Poren des Wandobertheils der wärmeren Luft des Zimmers den Austritt gewähren. Größere Temperaturunterschiede können in dieser Weise recht günstig wirken; mit der Abnahme des Temperaturunterschiedes schwindet jedoch auch die bewegende Kraft, also auch der Luftwechsel.

Am entschiedensten wirkt der Wind. Bei starkem Wind kann der durch denselben hervorgebrachte Druck 50 kg und mehr auf 1 qm Wandfläche betragen, so das in den erwähnten Canälchen eine lebhafte Strömung entsteht, trotz der vielen Bewegungshindernisse, welche die Wandungen der Canälchen bieten. Das Einströmen der entsprechenden Luftmenge bringt einen Ueberdruck im Zimmer gegenüber einem angrenzenden von der Windrichtung abliegenden Raume hervor, so das die Canälchen der Scheidewand ebenfalls benutzt werden, und zwar zum Abströmen eines Theiles der im ersten Zimmer befindlichen Luft. Dadurch wird zwar der Ueberdruck in zwei Theile zerlegt; trotzdem ist der entstehende Luftwechsel, so lange die Windgeschwindigkeit eine große ist, beträchtlich, wenn sonst die Umstände günstig sind.

Zu der Wirksamkeit dieses Luftwechsels ist nun zunächst erforderlich, das überhaupt ein entsprechend lebhafter Wind weht, ferner, das die Aussenwand des zu lüftenden Zimmers von dem Winde getroffen wird, endlich, das die Canälchen in der erforderlichen Zahl und Größe vorhanden sind.

Zunächst darf ich hier einschalten, das in seltenen Fällen diese drei Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind, so das die Lüftung nur hin und wieder stattfindet; ferner, das jedes Mittel fehlt, die Lüftungsmenge zu regeln, welche sonach, unbekümmert um den Bedarf, sich lediglich nach der veränderlichen Stärke und

³⁷⁾ Vergl. Theil I, Bd. 1: Die Technik der wichtigeren Baustoffe (Art. 28, S. 88—90) dieses »Handbuches«.

Richtung des Windes richtet. Die durch Wind hervorgebrachte Lüftung hat somit einen geringen Werth; sie kann fogar eine sonst vorhandene künstliche Lüftung in erheblichem Mafse beeinträchtigen und macht — wenn man ihr nicht entsprechend Rechnung getragen hat — oft fogar die Beheizung von Räumen unmöglich.

Aus letzterem Grunde mufs ich hier noch einige Worte über die Luftdurchlässigkeit der Wände anfügen. Ueber die Durchlässigkeit einer Zahl von Baustoffen liegen Versuchsergebnisse vor³⁸⁾, welche indessen nicht derartig sind, dafs Rechnungen auf sie gestützt werden könnten, indem die Durchlässigkeit der einzelnen Stoffe zu verschiedenartig ist.

Jedoch läfst sich aus derselben ersehen, dafs die Durchlässigkeit im geraden Verhältnifs zur Wanddicke abnimmt, und dafs die Durchlässigkeit der einzelnen Stoffe etwa folgende Reihe³⁹⁾ bildet, wobei die durchlässigsten zuerst aufgeführt sind:

Kalktuffstein, künstlicher Stein aus zerkleinerten Schlacken und Mörtel, Fichtenholz in der Längsrichtung, Kalkmörtel, Beton, Backstein, Portland-Cement, unglafirter Klinker, Grünandstein, gegoffener Gyps, Eichenholz; glafirter Klinker ist undurchlässig.

Von den gebräuchlichen Bekleidungsmitteln hindert Kalkanstrich den Luftdurchgang am wenigsten; Oelfarbeanstrich sperrt die Luftwege zunächst nahezu ganz ab, wird aber mit zunehmendem Alter etwas porös; Wasserglasanstrich soll bei einigem Alter undurchlässig sein. Tapeten hindern das Durchströmen wesentlich durch den Kleister, welcher sie festhält. Sog. Isolirungen (Asphaltanstriche, Asphaltpapier, Metallblätter etc.) hindern natürlich die Luft erheblich an ihrem Austritt, bezw. verchliessen ihr jeden Weg. Durchnässte Stoffe sind gleichfalls mehr oder weniger undurchlässig.

Wenn hierdurch noch mehr Gründe geschaffen sind gegen ein Vertrauen auf zufällige Lüftung, so giebt die Zusammenstellung vor allen Dingen Winke betreff der Mittel, welche die störenden Einwirkungen der zufälligen Lüftung unschädlich machen.

Die zufällige Lüftung ist sonach ausnahmslos unzuverlässig.

2) Künstliche Lüftung.

Unter diesem Namen fasse ich alle diejenigen Lüftungsverfahren zusammen, bei welchen wenigstens eine gewisse, von Zufälligkeiten unabhängige Regelbarkeit möglich ist. Man nennt dieselben auch wohl absichtliche Lüftungen; ich vermag mich jedoch dieser Benennungsweise nicht anzuschliessen, da eine gewisse Absichtlichkeit auch der zufälligen Lüftung unterzuliegen pflegt.

Die einfachste Art des künstlichen Lüftens besteht in der Freilegung von Oeffnungen, durch welche Luft des Freien in den zu lüftenden Raum ein-, bezw. von diesem in das Freie auszufließen vermag. Als die Luftbewegung veranlassende Kräfte sind wieder der Wind und der durch Temperaturunterschied veranlasste Auftrieb zu nennen. Fehlt fowohl das eine, als auch das andere, so hört die Wirksamkeit der Lüftung auf; ist die eine oder die andere der Kräfte vorhanden, oder

107.
Zufällige
Lüftung.

108.
Künstliche
Lüftung.

109.
Freilegung
von
Luftöffnungen.

³⁸⁾ Die Porosität der Mauern und ihre Bedeutung für die Ventilation. *Baugwks.-Ztg.* 1870, S. 254.

MÄRCKER. Untersuchungen über natürliche und künstliche Ventilation, vorzüglich in Stallgebäuden, sowie über die Porosität einiger Baumaterialien. Göttingen 1871.

SCHÜRMAN. Jahresbericht der chemischen Centralstelle für öffentliche Gesundheitspflege. 1874.

LANG, C. Ueber die Porosität einiger Baumaterialien. *Zeitschr. f. Biologie* 1875, S. 313.

HAUSSOULLIER, CH. *De la perméabilité des sols et des murs considérée au point de vue de l'hygiène et de la ventilation. Gaz. des arch. et du bât.* 1875, S. 92, 100.

SCHULZE u. MÄRCKER. Ueber den Kohlenfäuregehalt der Stall-Luft und der Luftwechsel in Stallungen. *Landwirthschaftl. Jahrbücher* 1876.

LANG, C. Ueber natürliche Ventilation und Porosität von Baumaterialien. Stuttgart 1877.

BALTES und FINKLER. Ueber die Behinderung der Mauerventilation durch Oelanstrich des Hauses. *Deutsche milit.-ärztl. Zeitschr.* 1877, S. 51.

OERTMANN. Ueber die Gröfse der Mauerventilation bei Oelanstrich des Hauses. *Deutsche milit.-ärztl. Zeitschr.* 1877, S. 557.

WEISS. Ueber natürliche Ventilation und die Porosität von Baumaterialien. *Civiling.* 1878, S. 205.

³⁹⁾ Vergl. auch die Angaben über die Porositätsgrade der Bausteine in Theil I, Bd. 1, S. 89 dieses »Handbuches«.

treten beide gleichzeitig auf, so dienen die »künstlichen« Einrichtungen zur Abschwächung der Wirkung, bezw. zum Unterbrechen der Lüftung.

110.
Benutzung
der
Fenster.

Sehr häufig fehlt zu diesem Zweck jede besondere Einrichtung; man öffnet alsdann nach Bedarf die Fenster des betreffenden Raumes. Solche Fenster, welche nicht in gewöhnlicher Weise mit Flügeln versehen sind, rüstet man mit fog. Luftscheiben aus, d. h. mit kleinen Flügeln, welche meistens nur die Größe einer Fenster Scheibe haben. Die Regelung des Luftwechsels ist eine rohe, indem man meistens die Fensterflügel entweder vollständig öffnen oder schließen muß; auch ist dieses Lüftungsverfahren bei Regenwetter meistens deshalb unbenutzbar, weil durch die Fensteröffnungen der Regen einzufallen vermag.

Man verhütet diese Uebelstände, indem man den oberen Theil des Fensters um eine in der Mitte desselben liegende wagrechte Achse drehbar anordnet und eine feststellbare Zugtange mit ihm so in Verbindung bringt, daß man dem Fenstertheil sehr verschiedene Lagen geben kann. So lange das Fenster genügend weit hinter die Außenfläche des Gebäudes zurückspringt, ist die obere der beiden, durch Drehen des Fenstertheils entstehenden Oeffnungen gegen das Eindringen der Regentropfen geschützt, während die untere Oeffnung von der nach außen gekehrten Hälfte des Fenstertheils überragt wird. Auch dreht man ähnliche Fenstertheile um Achsen, die an dem einen oder anderen der wagrechten Ränder sich befinden etc. (Vergl. auch das im vorhergehenden Bande über »Construction der Fenster« Gefagte.)

Derselbe Gedanke hat zur Construction fog. Jalousien geführt, welche aus zahlreichen schmalen, um wagrechte Achsen drehbaren und feststellbaren, aus Holz, Blech oder Glas gefertigten Platten bestehen, die sich nach Art sonstiger Jalousie-Anordnungen über einander legen, sobald die Oeffnungen derselben geschlossen sind. Die gläsernen Jalousien sind wegen ihres guten Aussehens am beliebtesten und nehmen meistens den Raum einer Fenster Scheibe ein.

Außer derartigen Glasjalousien sind noch anderweitige Vorkehrungen in den Fenstern oder in unmittelbarer Verbindung mit denselben angewendet worden. Betreff der Construction solcher Anordnungen, die naturgemäß nur eine geringe Wirkksamkeit entfalten können, sei auf die unten stehenden Quellen verwiesen⁴⁰⁾.

111.
Befondere
Luftöffnungen.

In höherem Maße verdienen diejenigen Lüftungseinrichtungen den Namen »künstliche«, welche mit besonders gestalteten Luftzu- und Luftabfuhrwegen, so wie eigens für ihren Zweck eingerichteten Mündungen derselben im zu lüftenden Raume versehen sind, so daß dieselben mehr als die vorhin besprochenen Einrichtungen von Zufälligkeiten unabhängig machen.

Von besonderer Bedeutung ist zunächst die Art der Luft-Ein-, bezw. -Abfuhrung, bezw. die Lage und Form der Mündungen. Der Ueberblicklichkeit halber mögen die verschiedenen Aufgaben der Lüftungsanlagen einzeln behandelt werden.

40) KNOBLAUCH, E. Construction gläserner Jalousie-Fenster. ROMBERG's Zeitschr. f. prakt. Bauk. 1858, S. 111.
Jalousie-Fenster aus Glas. Zeitschr. f. Bauw. 1866, S. 403.
Glas-Jalousien. Deutsche Bauz. 1868, S. 270.
SANDER's Ventilationseinrichtung für Zimmer. Polyt. Centralbl. 1871, S. 70. Polyt. Journ. Bd. 199, S. 248.
FLAVITSKY, J. Notice sur un procédé de chauffage et de ventilation par les doubles fenêtres. Paris 1876.
Glas-Jalousien als Ventilationsfenster. HAARMANN's Zeitschr. f. Bauhdw. 1872, S. 13.
FRIESE, F. M. Ventilationsfenster von A. P. DE RIGEL. Zeitschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver. 1866, S. 114.
BELLEROUCHE. Sur un système de chauffage et de ventilation à l'aide de doubles fenêtres. Annales du génie civil 1876, S. 460.
Window ventilation. Building News, Vol. 32, S. 103.
Neue Glas-Jalousie. Deutsche Bauz. 1880, S. 188.

a) Die einzuführende Luft soll wärmer sein, als diejenige des Raumes. In diesem Falle ist die Lösung der Aufgabe eine leichte. Man wird die Einführungsöffnungen so hoch legen, dass die hereinströmende Luft nicht gegen die Körper der in dem betreffenden Raum sich aufhaltenden Personen stoßen kann. Die warme Luft steigt, ihres geringeren Gewichtes halber, nach oben, verbreitet sich unter der Decke und sinkt von dort in dem Masse nieder, als unten die Zimmerluft abgeführt wird, bezw. fernere warme Luft zuströmt. Die Strömungen der eingeführten Luft finden sonach in dem Raume über den Köpfen der Menschen statt, können also nicht stören. Mehr Aufmerksamkeit erheischt die Lage und Anordnung der Abströmungsöffnung. Dass dieselbe möglichst nahe über dem Fußboden liegen muss, ist selbstverständlich, indem sie die kälteste, also die auf dem Fußboden liegende Luft abführen soll. Es muss aber auch dafür gesorgt werden, dass die am Boden liegende Luft zu der Abströmungsöffnung gelangen kann, ohne die Menschen zu belästigen. Hier schon würde die Beantwortung der Frage von hohem Werth sein, welche Luftgeschwindigkeit angewendet werden darf, ohne das Gefühl des Zuges an den Füßen und Beinen der Menschen hervorzurufen. So lange es sich um eine geringere Menschenzahl, also um eine kleine Lüftungsmenge handelt, so genügt eine Oeffnung, welche in einiger Entfernung von der zunächst befindlichen Person angebracht wird, und eine derartige Anordnung der etwaigen Tische und Bänke, dass von allen Stellen des Fußbodens die kältere Luft der Abströmungsöffnung zuzufließen vermag. Bei starkem Luftwechsel müssen dagegen die Abzugsöffnungen vertheilt werden, um eine zu große Geschwindigkeit in der Nähe der Personen zu verhüten.

112.
Einführung
warmer
Luft.

β) Die einzuführende Luft soll kälter sein, als diejenige des zu lüftenden Zimmers. Die frische Luft ist in diesem Falle schwerer, als diejenige, welche aus dem Raume abzuführen ist. Demnach erscheint es zunächst richtig, die erstere unten einzuführen, die letztere aber in der Nähe der Decke abzuleiten, indem alsdann die Lufttheile ihrer Temperatur entsprechend in den Gesamttrom selbstthätig sich einreihen.

113.
Einführung
kalter Luft
von unten.

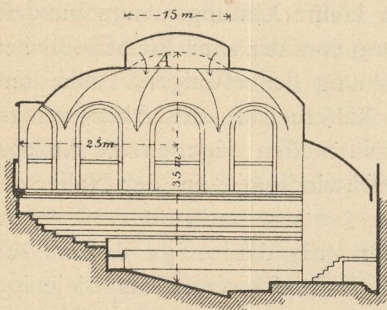
Viele Lüftungsanlagen, welche (außer ihrem eigentlichen Zweck) auch die Aufgabe haben, die betreffenden Räume zu kühlen, sind dementsprechend eingerichtet. Jedoch verbietet sich in den meisten Fällen die Einführung der frischen Luft von den Wandflächen aus, indem die nöthige Luftgeschwindigkeit in Verbindung mit der niedrigen Temperatur sehr leicht eine unangenehme Zugempfindung hervorruft. Man hat deshalb für größere Räume den Fußboden aus durchbrochenen Eisenplatten gebildet und diese mit doppelten Teppichen bedeckt, so dass die Luft in unzählige, sehr dünne Strahlen zerlegt in das Zimmer gelangt, der aufwärts gerichtete Strom in diesem deshalb von Vornherein den ganzen Querschnitt des Raumes, abzüglich des von Menschen und Möbeln beanspruchten, ausfüllt und damit die Geschwindigkeit der Luft auf das denkbar geringste Maß beschränkt wird. Dieses Zuführungsverfahren wurde zunächst von Reid im Hause des englischen Parlaments ausgeführt und hat ferner in Theatern des Festlandes vielfache Anwendung erfahren. Dasselbe hat sich jedoch nicht allgemein einzuführen vermocht, da trotz der genannten, weit gehenden Zerlegung des Luftstromes die Zugempfindung an Füßen und Beinen sich in unangenehmer Weise geltend macht und außerdem ein Aufwirbeln des Staubes unvermeidlich ist. Vielerorts sind sogar die betreffenden Einrichtungen abgeändert worden.

114.
Einführung
kalter Luft
von oben.

Die Einführung kälterer Luft in dem oberen Theil des Raumes hat vielfache und erhebliche Bedenken. Die kalte Luft sinkt, ungeschickt zugeführt, in Form eines Stromes nieder und belästigt die Personen, auf welche sie trifft, auf die unangenehmste Weise. Bei zweckmäßiger Zuführung und nicht zu großem Temperaturunterschied ist es jedoch möglich, die Luftzuführung von oben nach unten stattfinden zu lassen, ohne hierdurch nennenswerthe Unannehmlichkeiten für die Personen, welche in dem Raum sich aufhalten, hervorzurufen. Hierzu ist zunächst ein reichlicher Raum über den Köpfen der Menschen erforderlich, um hier diejenige Zerstreung des Stromes zu bewirken, welche eine möglichst gleichmäßig abwärts gerichtete Geschwindigkeit bedingt. In sehr hohen Räumen ist es möglich, von einer Stelle aus die gesammte Luft einzuführen, indem diese Oeffnung so vergittert wird, daß die Luft in vielen dünnen, divergirenden Strahlen in den Raum gelangt. In dem Festsaal des Trocadero-Palastes zu Paris findet die Lufteinführung in dieser Weise statt⁴¹⁾.

Der im Wesentlichen runde Saal, dessen Kuppel an die Sparren des Daches gehängt ist, hat etwa 50 m Durchmesser. In der Mitte der Kuppel befindet sich eine kleinere Kuppel A (Fig. 58) von etwa

Fig. 58.



Festsaal des Trocadero-Palastes in Paris.
1/1200 n. Gr.

15 m Durchmesser, über welche die frische Luft geführt und durch deren zahlreiche Oeffnungen dieselbe in den Saal gelangt. Damit die kältere frische Luft nicht geraden Weges nach unten fließt, hat man die Abzugsöffnungen, von denen gegen 15 000 vorhanden sein dürften, über den ganzen Saal vertheilt. Im Parquet ist die Anordnung so getroffen, wie die Fig. 59 und 60 erkennen lassen. Zwischen den Rückenlehnen der Sessel sind aufrechte Rohre *a* angebracht, welche mit den unter dem Fußboden liegenden Sammelrohren in Verbindung stehen. Die Rohre *a* haben zunächst nahe über dem Fußboden vergitterte Oeffnungen *c, c*, außerdem noch je eine ebenfalls vergitterte Oeffnung *b*. Der Saal hat 4665 Plätze und außerdem Raum für 350 Musiker, bezw. Sänger und soll stündlich 200 000 cbm oder etwa 240 000 kg frische Luft zugeführt erhalten. Ich habe einer der großen Musikaufführungen, welche gelegentlich der 1878-ger Weltausstellung

in dem fraglichen Saale stattfanden, beigewohnt, und hierbei einen lothrecht unter der Lufteintrittsöffnung befindlichen Platz benutzt; trotz sorgfältiger Beobachtung vermochte ich keine Belästigung durch Zug zu bemerken. Die Entfernung der einzelnen Lufteinströmungsöffnungen von den Köpfen der Menschen ist hier

Fig. 59.

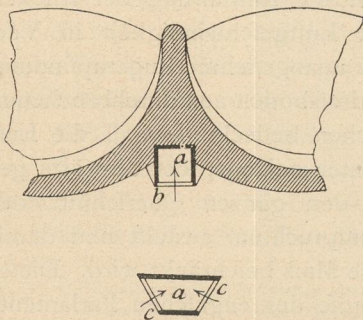
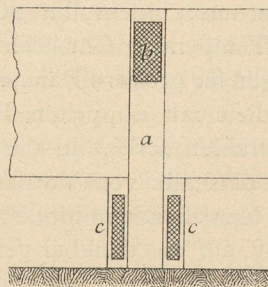


Fig. 60.



30 m und mehr, so daß, außer der Zerlegung des Luftstromes, ein Anwärmen, bezw. ein Binden der frei gewordenen Wärme stattfinden dürfte, bevor die Luft mit den Köpfen der Zuhörer in Berührung kommt.

Eine ähnliche Anordnung, die, was Annehmlichkeit für die Besucher anbelangt, sich eben so bewährt hat, findet sich in dem

großen Hörsaal des *Conservatoire des arts et métiers* zu Paris. Hier sind 12 Einströmungsöffnungen an der Decke vertheilt, während zahlreiche Abzugsöffnungen unter den Sitzen und an anderen geeigneten Orten des Raumes angebracht sind.

⁴¹⁾ Vergl. *Le palais du Trocadero*. Paris 1878. — Eisenb. Bd. 8, S. 127. — *Nouv. annales de la const.* 1878, S. 78 u. 99. — *Annales industr.* 1879, S. 595. — *Rohrleger* 1878, S. 136. — *Polyt. Journ.* Bd. 231, S. 387.

Man kann eine ähnliche Wirkung hervorbringen, indem man die kalte Luft durch nach der Decke gerichtete, freistehende Rohre einführt, welche in geeigneter Weise in dem zu lüftenden Raume vertheilt sind. Die lebendige Kraft der ausströmenden Luft befähigt dieselbe zunächst, trotz ihres größeren Gewichtes, durch die wärmeren Luftschichten des zu lüftenden Raumes emporzusteigen und vielleicht die Decke zu erreichen. Von hier aus bewegt sie sich in sehr vertheiltem Zustande nach unten und zwar, wenn alle Verhältnisse gut gewählt sind, in eben so vortheilhafter Weise, wie wenn sie durch Oeffnungen der Decke in den Raum gelangt. Die Höhe der Lufteinführungsrohre kann, wenn für die entsprechende Luftgeschwindigkeit geforgt wird, eine geringe sein.

Häufiger ist die Einführung der Luft durch in den Seitenwänden liegende Oeffnungen, wohl deshalb, weil diese Oeffnungen bequemer anzubringen sind. Bei dieser Anordnung bildet die Einströmungsgeschwindigkeit mit derjenigen Geschwindigkeit, welche die Luft in dem zu lüftenden Raume nach unten führen soll, einen ziemlich großen Winkel. Es ist allerdings Thatfache, daß der Luftstrom von der Eintrittsstelle ab an Querschnitt zunimmt, also seine Geschwindigkeit abnimmt, so daß das Gewicht der kälteren Luft desto mehr zur Geltung kommt, je weiter die Luft von der Eintrittsstelle entfernt ist. Man kann aber mit dieser im Allgemeinen bekannten Thatfache nicht in dem Maße rechnen, daß sie unmittelbar zum Aufzeichnen des Luftweges, bezw. zum Bestimmen der Geschwindigkeitsgröße an den einzelnen Punkten des Raumes führt. Ein in der Nähe der Decke wagrecht oder in wenig aufwärts gerichteter Neigung eintretender Luftstrom verfolgt die Decke, je nach der Anfangsgeschwindigkeit, mehr oder weniger lange. Sobald derselbe auf eine lothrechte Fläche stößt, wird derselbe sofort nach unten abgelenkt und trifft die Köpfe, welche sich unter dieser lothrechten Fläche befinden, in recht empfindlicher Weise. Bei 1,5 m Einströmungsgeschwindigkeit beobachtete ich an der gegenüberliegenden, 8,5 m von der Eintrittsstelle entfernten Wand eine sehr unangenehme, nach unten gerichtete Strömung. In der hannoverschen Hochschule wird häufig beobachtet, daß die lothrechten Flächen des Gebäudes in ähnlicher Weise die kältere Luft niederwerfen. Deshalb dürfte es nothwendig sein, die Einströmungsgeschwindigkeit (durch Erweitern der Einströmungsöffnungen und Zerlegen des Stromes in denselben) möglichst zu vermindern, jedenfalls nicht größer als 0,5 m werden zu lassen.

Diese Zerfreuung kann stattfinden durch Leitbleche, wie der wagrechte Schnitt Fig. 61 erkennen läßt, oder durch einfache Vergitterungen, welche an die Erweiterungen der Canäle sich anschließen. Fig. 62 zeigt eine derartige Anordnung. *A* bezeichnet den lothrechten Luftzuführungschacht; derselbe erweitert sich bei *B* nach beiden Seiten und mündet mittels zahlreicher Oeffnungen des Wandgesimses. Außer den verschiedenartigsten Gittern kann die Zerfreuung erfolgen durch poröse Wände und Gewebe, wie von *Scharrath*⁴²⁾ vorgeschlagen wurde.

Immer ist großer Werth zu legen auf eine entsprechende Höhenlage der Einströmungsöffnungen über den Köpfen derjenigen Personen, welche den betreffenden

Fig. 61.

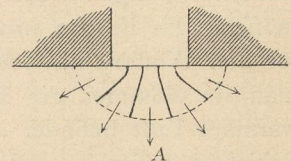
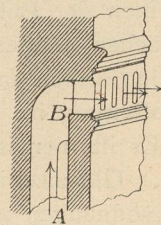


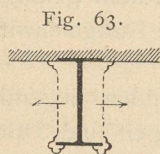
Fig. 62.



⁴²⁾ Siehe: SCHARRATH. Bekanntmachung der Vorzüge einer neuen Erfindung zur Erhöhung der Gesundheits- und Krankenpflege durch Anwendung der Poren-Ventilation. Halle 1869. Ferner: Deutsche Bauz. 1870, S. 315; 1871, S. 219 u. 272; 1876, S. 398. — ROMBERG's Zeitschr. f. prakt. Bauk. 1873, S. 137 u. 237. — Zeitschr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1870, S. 128.

Raum benutzen. Räume gröfserer Tiefe wird man nicht von einer Seite aus mit frischer Luft versorgen können; vielmehr wird eine Zuführung von den beiden gegenüberliegenden Seiten nothwendig.

Der grofse Sitzungsfaal des Reichstagsgebäudes in Berlin hat, bei einer Tiefe von 22 m, derartige einander gegenüberliegende Oeffnungen, welche etwa 9 m über den höchsten Sitzen der Abgeordneten sich befinden; die Abfaugung der Luft findet durch Oeffnungen statt, welche in den lothrechten Theilen des aufsteigenden Fußbodens sich befinden. Man sagte mir, dafs eine Belästigung durch Zug nicht stattfindet, selbst wenn die einströmende Luft 3 bis 4 Grad kälter sei, als diejenige des Saales⁴³⁾.



Eine noch bessere Vertheilung der Einströmungsöffnungen ist zu erreichen, indem man die lothrechten Wandungen kastenartig hergestellter Unterzüge (die eigentlichen Tragbalken sind dann aus Eisen zu fertigen) etc. als solche verwendet (Fig. 63). Man nähert sich dann mehr und mehr der im Allgemeinen besten Einführungsart, nämlich derjenigen von der Decke aus.

116.
Lage der
Abströmungs-
öffnungen.

Was die Abströmungsöffnungen anbelangt, so wird man sie, so weit irgend möglich, über den Grundriß des in Frage kommenden Raumes vertheilen, um eine möglichst gleichförmige, also für jeden Ort möglichst geringe Luftgeschwindigkeit zu erhalten. Bei festen Plätzen der Insassen ist das immer zu erreichen. In Hörsälen, Sitzungsräumen, Theatern, Krankenhäusern (bei letzteren unter den Betten) sind un schwer geeignete Plätze für die Abführungsöffnungen zu finden. In Tanzsälen u. dergl. wird man sich mit feilich liegenden Abzugsöffnungen begnügen müssen; bei Wohnräumen kann man dasselbe Verfahren anwenden, theils weil dieselben nicht sehr groß sind, theils weil die in demselben sich aufhaltenden Menschen nur gering an Zahl sind.

117.
Winter-
u. Sommer-
lüftung.

Das Ergebniß der vorliegenden Erörterung ist sonach, dafs regelmäfsig die Eintrittsöffnungen oben, die Austrittsöffnungen in Fußbodenhöhe sich befinden müssen. Es ist das um so angenehmer, als eine und dieselbe Anordnung sowohl für den Winter, als auch für den Sommer gebraucht werden kann. Vielfach will man im Sommer die Luft in der Nähe der Decke abführen, weil sich hier die wärmere Luft befindet. Im geheizten Raume ist thatsächlich die Luft der höheren Schichten wärmer, als diejenigen der unteren Schichten; im ungeheizten Raume liegt kein Grund für einen derartigen Temperaturunterschied vor. Das Heizen oder Erwärmen der Luft findet nun, wie bekannt, nicht allein durch die eigentlichen Heizflächen, sondern auch durch die in dem betreffenden Raume lebenden Menschen und die Beleuchtungseinrichtungen statt. Man wird deshalb in einzelnen Fällen die Luftabführung im Sommer oben stattfinden lassen.

Es ist hier immer die Rede von der Abführung der Luft am Fußboden gewesen. Gleichzeitig wurde erwähnt, dafs man für eine geeignete Vertheilung der Abzugsöffnungen zu sorgen habe. Hieraus kann man ohne Weiteres schliessen, dafs z. B. die Logen und Galerien der Theater, die Tribünen der Versammlungssäle etc. in der Nähe ihrer Fußböden besondere Abzugsöffnungen haben müssen; ich halte es für nothwendig, hierauf besonders aufmerksam zu machen⁴⁴⁾.

3) Entnahmestellen für die frische Luft.

118.
Entnahme
der Luft.

Die zufällige Lüftung läßt sich die Stellen, von wo aus die frische Luft entnommen werden soll, nicht vorschreiben.

43) Vergl. auch die am Schluss des 11. Kapitels aufgenommenen Beispiele ausgeführter Heizungs- u. Lüftungs-Anlagen (unter 2).

44) Vergl. übrigens: FERRINI, R. Technologie der Wärme etc. Deutsch von M. SCHRÖTER. Jena 1878, S. 415 u. ff. — HUEDELO. Die Eintritts- und Austrittsöffnungen der Luft bei der Ventilation. *Revue d'hyg.* 1879, S. 213.

Die künstliche Lüftung dagegen gestattet eine Auswahl der Schöpfstellen. Dieselben sollen sich selbstverständlich da befinden, wo auf möglichste Reinheit der Luft gerechnet werden kann. Wegen der Ausdünstungen der Erdoberfläche und auch, weil der Staub im Allgemeinen in unmittelbarer Nähe der Erdoberfläche stärker vertreten ist, als in einiger Höhe über derselben, entnimmt man die Luft gern wenigstens 0,5 bis 1^m über der Erdoberfläche. In Rücksicht auf Staub sucht man die Luftschöpforte möglichst von verkehrsreichen Wegen entfernt zu halten oder doch an solche Plätze zu legen, die durch Gebüsch und dergleichen einigermaßen gegen Staub geschützt sind. Demnach sind Gärten für den vorliegenden Zweck beliebte Orte. Sauber gehaltene Höfe, die nicht begrenzt werden von Grundstücken mit rufenden Schornsteinen, sind jedoch ebenfalls zweckmäßige Entnahmestellen; in eng gebauten Städten dürften dieselben meistens als die besten bezeichnet werden müssen. Eben so bilden die Außenflächen der Gebäude unter Umständen geeignete Orte zur Luftentnahme. Die vielfach geäußerte Ansicht, daß die Wandflächen, da sie (vermöge der zufälligen Lüftung) die verdorbene Luft der von ihnen umschlossenen Räume ausathmeten, als Luftentnahmestellen nicht zu gebrauchen seien, ist nur wenig begründet. Nur bei ruhiger Luft und wenn die in Rede stehenden Räume wärmer sind, als die freie Luft, ist ein solches Ausathmen verdorbener Luft an derjenigen Gebäudeseite möglich, an welcher frische Luft entnommen werden kann. Alsdann bewegt sich aber die ausgestoßene, wärmere Luft sofort nach oben und kann nur wenig schaden.

Vielfach wählt man die über dem Erdboden befindlichen Wandflächen der Kellergeschoße zur Unterbringung der Lufteintrittsöffnungen, wodurch, wenigstens in der Regel, eine weniger reine Luft gewonnen wird, als bei Benutzung der höher gelegenen Wandflächen. Jedoch muß man sich mit der Thatfache ausöhnen, wenn andere Entnahmeorte nicht zur Verfügung stehen. Schöpft man doch zuweilen die frische Luft über Dach, also an einem Orte, nach welchem die verdorbene Luft sowohl, als auch der Rauch ausgestoßen wird; findet doch in eng gebauten Städten an dieser Stelle, wo der Wind sich frei zu bewegen vermag, wo die Ergießung der Gase nicht gehemmt ist, die Verdünnung, bezw. Erfrischung der Luft fast ausschließlich statt.

Die richtige Wahl der Entnahmestellen kann nur nach örtlichen Verhältnissen getroffen werden und auf Grund der Erwägung, daß man von den verfügbaren Orten den besten auszufuchen hat.

3. Kapitel.

Bewegung der Flüssigkeiten in Rohrleitungen und Canälen.

a) Widerstände der Bewegung.

Der sog. Reibungswiderstand, hervorgerufen durch die Verschiebung der Flüssigkeit längs der Rohr- oder Canal-Wand und durch Verschiebungen im Inneren der bewegten Flüssigkeit, wird gemessen durch den Druck p (in Kilogr.) auf die Flächeneinheit des Rohr-, bezw. Canalquerschnittes q (in Quadr.-Met.). Derselbe steht in geradem Verhältniß zu dem Umfange u des von der Flüssigkeit erfüllten Querschnittes, zu der Länge l des Rohres und der Dichte γ (Gewicht pro 1 cbm in Kilogr.)

der Flüssigkeit. Die Abhängigkeit von der Stromgeschwindigkeit v wird von verschiedenen Autoren verschieden angegeben. Ich bin der Ansicht, daß die *Prony-Redtenbacher'sche* Beziehung nicht allein genügend zutreffende Werthe liefert, sondern auch noch einigermaßen bequem zu benutzen ist, drücke dieselbe aber so aus, daß der zur Ueberwindung des Widerstandes erforderliche Druck p im geraden Verhältniß zu $\left\{ \frac{1}{v} + 20 \right\} \frac{v^2}{2g}$ wächst.

Bezeichnet man einen durch Erfahrung festzustellenden Coefficienten mit κ , mit γ_0 die Dichte der Flüssigkeit bei 0 Grad, mit α die Ausdehnung derselben für 1 Grad Temperaturänderung und mit t die Temperatur der Flüssigkeit, so entsteht, unter dem Vorbehalt, daß die Spannung der Flüssigkeit sich nur sehr wenig ändert, bezw. durch die Spannungsänderung eine nennenswerthe Aenderung der Dichtigkeit nicht hervorgerufen wird, die Gleichung für den Reibungswiderstand:

$$p q = \kappa \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} l u \left\{ \frac{1}{v} + 20 \right\} \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots 56.$$

oder:

$$p = \kappa \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} l \frac{u}{q} \left\{ \frac{1}{v} + 20 \right\} \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots 57.$$

Die Erfahrungszahl κ schwankt zwischen 0,0003 und 0,001. Für Leuchtgas, Wasser etc., die in guten glattwandigen Rohren sich bewegen, darf man $\kappa = 0,0003$ bis 0,0004, für Luft, welche in gemauerten Canälen fließt, je nach dem Zustande der Canalwände, $\kappa = 0,0004$ bis 0,0007, für Rauch $\kappa = 0,0006$ bis 0,001 setzen. Hierbei muß noch bemerkt werden, daß außer der Glätte der Wandflächen auch die Luftdurchlässigkeit gemauerter Canalwände die Bewegung der Luft und des Rauches beeinträchtigt. Richtiger würde man diesen Einfluß besonders berechnen; in Ermangelung genügenden Anhaltes für diese Berechnung schliesse ich, dem Gebrauch gemäß, den Einfluß der Luftdurchlässigkeit in die Größe κ für Rauch und Luft ein und bemerke hierzu, daß derselbe sich besonders fühlbar macht bei freistehenden Schornsteinen, aber auch bei mit dünnen Wänden ausgestatteten Luftleitungscanälen.

Für große Werthe von v verschwindet der Quotient $\frac{1}{v}$ gegen 20, für sehr kleine Geschwindigkeiten dagegen 20 gegen $\frac{1}{v}$, so daß für diese Sonderfälle die Gleichung, welche den Reibungswiderstand ausdrückt, in die einfacheren übergeführt werden kann:

$$p = 20 \kappa \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} l \frac{u}{q} \frac{v^2}{2g}, \dots \dots \dots 57a.$$

$$\text{bezw. } p = \frac{\kappa}{2g} \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} l \frac{u}{q} v. \dots \dots \dots 57b.$$

Der Widerstand, welcher eine rechtwinkliche Ablenkung der Bewegungsrichtung verursacht, kann ausgedrückt werden durch

$$p = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots 58.$$

Richtungsänderungen, welche bewegte Flüssigkeiten in gut gerundeten rechtwinklichen Canal- oder Rohrknieen erfahren, verursachen einen geringeren Widerstand, nämlich etwa

$$p = (0,3 \text{ bis } 0,5) \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots 59.$$

120.
Richtungs-
u. Querschnitts-
änderungen.

Querschnittsveränderungen verursachen, abgesehen von dem entstehenden, bzw. hervorzubringenden anderen v , ebenfalls Bewegungshindernisse. Man wird dieselben möglichst zu vermeiden und in unvermeidlichen Fällen möglichst sanfte Uebergänge zu schaffen suchen. Alsdann können die entstehenden Widerstände vernachlässigt werden. In einigen unvermeidlichen Fällen muß man jedoch auf einen entsprechenden Widerstand Rücksicht nehmen. So bei geöffneten Ventilen, bei welchen der Widerstand:

$$p = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} (0,5 \text{ bis } 1) \frac{v^2}{2g}; \quad \dots \dots \dots 60.$$

bei geöffneten Hähnen, bei welchen derselbe:

$$p = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} (0,1 \text{ bis } 0,3) \frac{v^2}{2g} \quad \dots \dots \dots 61.$$

ist, und bei Vergitterungen, die einen Widerstand erzeugen:

$$p = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} (0,8 \text{ bis } 1,3) \frac{v^2}{2g}, \quad \dots \dots \dots 62.$$

so fern die Querschnitte keine gröfsere, als die Geschwindigkeit v verlangen.

Bedeutende Querschnittserweiterungen, wie dieselben z. B. bei Eintritt des Wassers in Heizkörper, bei Eintritt der Luft in die Zimmer etc. eintreten, finden dadurch gebührende Berücksichtigung, dafs man die der Flüssigkeit bisher eigene Geschwindigkeit als verloren gehend betrachtet.

Endlich ist der Druck zu berücksichtigen, welcher die Geschwindigkeit v überhaupt hervorruft; derselbe ist oft in ein und derselben Leitung wegen bedeutenderen Querschnittserweiterungen mehrere Male in Ansatz zu bringen. Der betreffende Druck hat die Gröfse

121.
Erzeugung
der
Geschwindigkeit.

$$p = \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} 1 \frac{v^2}{2g} \quad \dots \dots \dots 63.$$

Bezeichnet man mit ξ die Factoren der Gleichungen 58. bis 63., welche mit $\frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} \frac{v^2}{2g}$ multiplicirt die einzelnen Widerstände p geben, so ist der Gesamtwiderstand zwischen zwei Punkten der Leitung auszudrücken durch:

122.
Gesamtwiderstand.

$$p_1 - p_2 = \Sigma p = \left[\kappa l \frac{u}{q} \left\{ \frac{1}{v} + 20 \right\} + \Sigma \xi \right] \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} \frac{v^2}{2g} \quad \dots \dots 64.$$

Man misst die Pressung der eingeschlossenen Flüssigkeit, indem man durch die Wand des Rohres oder des Canales A (Fig. 64) ein U-förmig gebogenes, an beiden Enden offenes Rohr B steckt, welches eine genügend schwere Flüssigkeit enthält. Der lothrechte Abstand der beiden Flüssigkeitsspiegel in B stellt den Druckunterschied dar, welcher zwischen dem Inneren des Rohres A und seiner Umgebung herrscht. Verwendet man für die Flüssigkeit des U-förmigen Rohres B Wasser, so entspricht 1 mm des Flüssigkeitsspiegel-Abstandes z genau genug 1 kg Druckunterschied für 1 qm Fläche, da eine Wasserplatte von 1 qm Gröfse und 1 mm Dicke 1 l misst und im Zustande größter Dichte 1 kg wiegt. Verwendet man in dem Rohr B Quecksilber, so entspricht jedes Millimeter des Flüssigkeitsspiegel-Abstandes 13,6 kg Druckunterschied pro 1 qm.

b) Einfluss der Verschiedenheit der Gewichte geleiteter Flüssigkeiten.

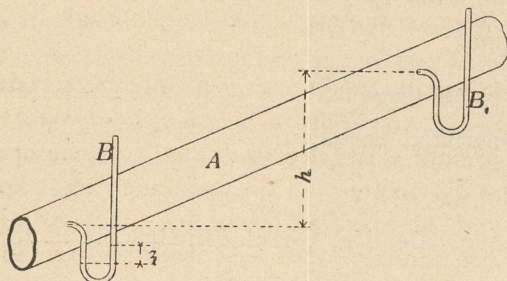
Der vorhin genannte Druckunterschied ist in verschiedenen Höhenlagen (abgesehen von den eigentlichen Bewegungshindernissen) verschieden, sobald die Flüssig-

123.
Einfluss v. Ge-
wichtsverschie-
denheiten.

keit, welche die Rohrleitung oder den Canal füllt, schwerer oder leichter ist, als die auf den freien Schenkel des Druckmefserrohres drückende Flüssigkeit, also die atmosphärische Luft.

Heifse die Höhe, um welche zwei Druckmefser B und B_1 (Fig. 64) von einander entfernt sind, h , das Gewicht pro 1 cbm der in A geleiteten Flüssigkeit Γ , das Ge-

Fig. 64.



wicht pro 1 cbm der umgebenden Luft γ , so wirkt, wenn bei B_1 im Inneren des Rohres A der Druck P herrscht, auf den mit A verbundenen Schenkel des Druckmefers B der Druck $P + h\Gamma$; dagegen, wenn der Druck auf den freien Schenkel des Druckmefers $B_1 = p$ ist, auf den freien Schenkel des Druckmefers B der Druck $p + \gamma h$. Der Unterschied der Druckunterschiede ist sonach $\{ (P + h\Gamma) - (p + \gamma h) \} - \{ P - p \} = \mathfrak{B}$ oder $\mathfrak{B} = h \{ \Gamma - \gamma \}$. . . 65a.

Befehle z. B. die geleitete Flüssigkeit aus Leuchtgas von 0,6 kg Gewicht pro 1 cbm, während 1 cbm der umgebenden Luft das Einheitsgewicht 1,2 kg habe, so wird für $h = 1$ m:

$$\mathfrak{B} = 1 (0,6 - 1,2) = -0,6 \text{ kg,}$$

d. h. der Druck in der Rohrleitung vermindert sich dem Aufsendrucke gegenüber für jedes Meter geringerer Höhenlage um 0,6 kg.

Man wird deshalb von dem den Bewegungswiderstand darstellenden Druck einen entsprechenden Betrag abziehen, wenn die Bewegung in der Leitung nach oben gerichtet ist, dagegen den Ausdruck für die Bewegungswiderstände um die in Frage kommende Gröfse vermehren, sobald die leichtere Flüssigkeit nach unten fließt.

124.
Auftrieb.

Ein Gleiches ist natürlich der Fall, wenn zwar eine gleichartige Flüssigkeit, also z. B. Luft, in und auferhalb des Rohres A (Fig. 64) sich befindet, wenn sie jedoch verschiedene Temperaturen hat. Bezeichnet noch t die Temperatur der freien, t_1 diejenige der in A eingeschlossenen Luft, γ_0 das Gewicht von 1 cbm Luft bei 0 Grad und $\alpha = 0,00366$ die Ausdehnung derselben für 1 Grad, so sind die Gewichte der Luftfäulen zwischen B_1 und B für 1 qm Grundfläche: $\frac{h \gamma_0}{1 + \alpha t}$, bzw. $\frac{h \gamma_0}{1 + \alpha t_1}$, somit der Unterschied des Ueberdruckes zwischen B_1 und B

$$p_1 - p = h \left\{ \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t} - \frac{\gamma_0}{1 + \alpha t_1} \right\}, \dots \dots \dots 65.$$

welcher Druckunterschied der Auftrieb des Höhentheiles h genannt wird und in erwähnter Weise von der die Bewegungswiderstände ausdrückenden Gröfse abzuziehen oder ihr hinzuzuzählen ist.

Hierbei kann offenbar der Fall eintreten, das der Auftrieb die Bewegungswiderstände ganz aufhebt.

c) Einfluss der Wärmeleitung der Canal-, bzw. Rohrwände.

125.
Einfluss
d. Temperatur-
änderungen.

Die soeben besprochene Beeinflussung der Flüssigkeitsbewegung ist nicht allein von Bedeutung, wenn die geleitete Luft überhaupt eine andere Temperatur hat, als die freie Luft, sondern selbstverständlich auch, wenn die Temperatur in der Leitung sich ändert, sei es durch Wärmezufuhr oder Wärmeabfuhr.

Eine Verminderung der Temperatur des aufsteigenden Stromes, wie eine Vergrößerung der Temperatur im absteigenden Strome haben eine Hemmung der Bewegung, das Umgekehrte eine Förderung der Bewegung zur Folge. Angesichts des meistens unregelmäßigen Verlaufs der Canäle ist eine analytische Behandlung des in Rede stehenden Einflusses nur in besonderen Fällen gerathen. Meistens sucht man derartige Temperaturänderungen möglichst zu verhüten (durch Lage der Canäle und Rohrleitungen, gröfsere Wandstärken, Umhüllungen etc.) und vernachlässigt sie alsdann. Ist man nicht im Stande, die Temperaturänderungen in genügendem Mafse zu verhindern, so wird aus dem mittleren Temperaturunterschied (vergl. Formel 39.) die Aenderung besonders berechnet.

Nicht zu berechnen sind die Wirkungen des Auftriebes bei Inbetriebsetzung der Leitungen. Alsdann sind die Wände der Leitungen entweder kälter oder wärmer, als die zu leitende Flüssigkeit; ein Zufall könnte eine Gleichheit der Temperaturen hervorbringen. Ich will hier nur die Vorgänge besprechen, die bei Inbetriebsetzung von Luft- und Rauchleitungen eintreten und oft von recht unangenehmen Folgen sind. Die Anordnung eines Canalnetzes sei derartig, dafs der Auftrieb allein die Bewegung hervorzubringen und zu erhalten hat; die Canäle seien kälter, als die Luft oder der Rauch. Alsdann kühlt sich die Luft ab und bringt einen dem entsprechend geringeren Auftrieb hervor. Die Widerstände sind (im Grofsen und Ganzen) dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional; somit ist der geringe Auftrieb im Stande, eine geringe Bewegung zu erzeugen, vermöge welcher mehr und mehr warme Luft dem Canalnetz zugeführt wird, also dieses mehr und mehr auf diejenige Temperatur erwärmt wird, die dem Beharrungszustande entspricht. Nach der Inbetriebsetzung verstreicht somit eine gewisse Zeit, die oft recht lang ist, bevor der Beharrungszustand eintritt. Bei der gegebenen Auseinandersetzung wurde angenommen, dafs die Canalwände nicht kälter seien, als die freie Luft. In Folge des Temperaturwechsels, oft schon des regelmässigen, der zwischen Tag und Nacht stattfindet, kann nun der Fall eintreten, dafs die Canalwände kälter sind, als die freie Luft. Die Folge hiervon ist, dafs die in den Canälen befindliche Luft kälter als diejenige des Freien ist, so dafs ein fog. verkehrter Auftrieb eintritt, der, wenn die Mündungen der Canäle freigelegt werden, also die Inbetriebsetzung der Anlage erfolgen soll, die Luft in den steigenden Theilen des Canales nach unten drückt, d. h. die der beabsichtigten entgegengesetzte Bewegung hervorbringt. Die gewünschte Bewegungsrichtung ist alsdann nur nach einem entgegengesetzten Temperaturwechsel der freien Luft möglich.

Das weifs Jeder, welcher versuchte, am Tage einen Schornstein in Betrieb zu setzen, welcher mehrere Tage lang nicht benutzt wurde; das müssen unsere Hausfrauen erfahren, wenn sie nach kühlen Nächten erst am späten Vormittag während warmen Sonnenscheines das Küchenfeuer entzünden lassen. Im Volksmunde sagt man: »Die Sonne drückt den Rauch im Schornstein herab«. Versucht man dasselbe am kühlen Abend nach einem warmen Tage, so gelingt die Inbetriebsetzung spielend. Damit ist angedeutet, was für Mittel gegen den genannten Uebelstand anzuwenden sind: neue Schornsteine oder solche, welche selten benutzt werden, aber eine solche Lage haben, dafs sie sich erheblich abzukühlen vermögen (z. B. die Schornsteine der Kirchen), setze man regelmässig am Abend in Betrieb; andere nicht dauernd benutzte Schornsteine schütze man gegen Wärmeverluste, so dafs ihre Wandungen bei erneuter Inbetriebsetzung von der vorigen Benutzung noch genügende Wärme enthalten.

Immer ist nöthig, so fern man auf eine rasche Inbetriebsetzung Werth legt, den nach dem Beharrungszustande berechneten Mafsen einen Zuschlag zu geben.

Die der Temperaturänderung entsprechende Raumänderung vernachlässigt man bei Wasser in so weit, wie die Geschwindigkeit durch dieselbe beeinflusst wird. Bei

126.
Inbetrieb-
setzung der
Leitungen.

127.
Wasser- u.
Luftleitungen.

Luftleitungen setzt man häufig die Geschwindigkeit v als mit der Temperatur veränderlich ein, wie weiter unten geschehen wird, rechnet aber häufiger mit demjenigen v , welches der mittleren Temperatur entspricht.

128.
Dampf-
leitungen.

Zur Berechnung der Dampfleitungen ist der Raum, welchen der Dampf an jedem Orte der Leitung einnimmt, bezw. die diesem entsprechende Geschwindigkeit, wegen der stattfindenden theilweisen Verdichtung des Dampfes, unbedingt in Rechnung zu ziehen. Es sei Q die stündlich an den Ort des Verbrauchs zu fördernde Dampfmenge (in Kilogr.); p die Spannung des Dampfes (in Kilogr.) für 1 qm, und zwar p_1 diejenige am Anfange, p_2 diejenige am Ende der Leitung; γ das Gewicht von 1 cbm Dampf; v die secundliche Geschwindigkeit des Dampfes (in Met.), und zwar v_1 diejenige am Anfange, v_2 diejenige am Ende der Leitung; l die Länge der Leitung (in Met.); x ein Theil derselben; D die Weite derselben (in Met.); δ die doppelte Wandstärke des Rohres, nach Umständen vermehrt um die einfache Dicke der Umhüllung derselben.

Sodann ist der Widerstand, welcher in einer dx Meter langen Rohrleitung auftritt, nach 57.:

$$dp = x \gamma \frac{D \pi}{D^2 \frac{\pi}{4}} \left\{ \frac{1}{v} + 20 \right\} \frac{v^2}{2g} dx \dots \dots \dots 66.$$

In dieser Gleichung ist $\kappa = 0,00036$ zu setzen und kann der Ausdruck $\frac{1}{v}$ gegen 20 vernachlässigt werden, da v selten unter 10 m genommen wird. Alsdann erhält man die einfachere Gleichung

$$dp = 0,0015 \gamma \frac{dx}{D} v^2 \dots \dots \dots 67.$$

Es ist sowohl v als auch γ veränderlich; letzteres, weil die Spannung p des Dampfes wegen des Reibungswiderstandes von dem Endpunkte der Leitung ab zunimmt, also p_1 grösser sein muß als p_2 ; ersteres, weil eine gewisse Dampfmenge, unvermeidlicher Wärmeverluste halber, verdichtet wird, somit die Menge des Dampfes ebenfalls von dem Endpunkte der Leitung ab wächst. Das Gewicht pro 1 cbm Dampf, also γ , ist nach der Navier'schen Näherungsformel:

$$\gamma = \frac{o + p}{n}, \dots \dots \dots 68.$$

worin die Erfahrungszahlen o und n folgende GröÙe haben:

$$\left. \begin{array}{l} \text{für } p < 36\,000 \text{ ist } n = 19\,995; o = 1200 \\ \text{» } p > 36\,000 \text{ » } n = 21\,224; o = 3000 \end{array} \right\} \dots \dots \dots 69.$$

Der Wärmeverlust des Dampfes ist abhängig von der Art der Rohrwandung, dem Temperaturunterschied, welcher zwischen dem Dampf und der Umgebung des Rohres herrscht, und dem Bewegungszustande der umgebenden Luft. Die zuletzt genannten beiden Einflüsse sind nicht allgemein zu verfolgen, indem die betreffende Dampfleitung gewöhnlich durch verschiedene Räume mit wechselnden Lufttemperaturen geführt wird; es mag deshalb nur die Art der Rohrwandung berücksichtigt werden. So fern bestimmte Zustände der umgebenden Luft bekannt sind, wird man dieselben durch Wahl der in dem Folgenden näher bezeichneten Coefficienten K gebührend in Rechnung stellen.

Die Rohrwandungen werden ausschliesslich aus Metall hergestellt und sind verhältnismässig dünn, weshalb man, ohne einen erheblichen Fehler zu machen, den

Wärmeverlust im geraden Verhältniß zu der Rohraußenfläche setzen kann, so dafs, bei nackten Rohren jedes Längenmeter des Rohres stündlich $(D + \delta) \pi (T - t) k$ Wärmeeinheiten verliert, wenn $\frac{\delta}{2}$ die Wanddicke des Rohres, $T - t$ den mehr erwähnten Temperaturunterschied und k die Zahl der Wärmeeinheiten bezeichnet, welche stündlich für 1 Grad Temperaturunterschied und durch 1 qm Fläche überführt wird.

Meistens werden die Rohre eingehüllt, um den Wärmeverlust zu vermindern. Alsdann dürfte der Wärmeverlust derjenigen Fläche proportional sein, welche in der Mitte zwischen der äufseren und inneren Fläche der Hülle sich befindet; der vorhin gegebene Ausdruck ist somit auch für diesen Fall zutreffend, wenn $\frac{\delta}{2}$ gleich der Wanddicke des Metalles, vermehrt um die halbe Wanddicke der Hülle gesetzt wird.

Die Wärmemenge, welche bei Verdichtung von 1 kg Dampf frei wird, bezw. welche verloren gehen mufs, um 1 kg Dampf in Wasser zu verwandeln, schwankt (für Dampf, dessen Spannung 10 000 bis 50 000 kg für 1 qm, oder dessen Ueberdruck etwa 0 bis 4 Atm. beträgt) nur zwischen 537 und 502 Wärmeeinheiten. Daher dürfte es für den vorliegenden Zweck genügen, für jedes Kilogramm Dampf 520 Wärmeeinheiten in Rechnung zu stellen. Es ist somit die von 1 m Rohrlänge stündlich verdichtete Dampfmenge (in Kilogr. ausgedrückt):

$$\frac{(D + \delta) \pi (T - t) k}{520} = (D + \delta) K, \quad \dots \dots \dots 70.$$

in welcher Gleichung K einen für den einzelnen Fall zu bestimmenden Coefficienten bezeichnet.

Am Ende der Leitung sollen Q Kilogr. Dampf zur Verfügung stehen; somit mufs einen Rohrquerschnitt, welcher um x Meter von dem Ende der Leitung entfernt ist, die Dampfmenge

$$Q + (D + \delta) K x$$

durchströmen, so dafs die in diesem Querschnitt herrschende Geschwindigkeit v auszudrücken ist durch:

$$v = \frac{4}{D^2 \pi} \frac{Q + (D + \delta) K x}{3600} \frac{n}{o + p}, \quad \dots \dots \dots 71.$$

und der Reibungswiderstand, welcher an dieser Stelle eine Rohrlänge dx verurfacht, nach den Gleichungen 67. und 68.

$$dp = 0,0015 \frac{o + p}{n} \frac{1}{D} \frac{4^2}{D^4 \pi^2} \left\{ \frac{Q + (D + \delta) K x}{3600} \right\}^2 \left(\frac{n}{o + p} \right)^2 dx \quad \dots \dots 72.$$

Es sei nun für kurze Zeit

$$\frac{0,0015 \cdot 4^2}{3600^2 \pi^2} = \mathfrak{A}; \quad \dots \dots \dots 73.$$

dann erhält man aus Gleichung 72. nach wenigen Umänderungen:

$$(o + p) dp = n \frac{\mathfrak{A}}{D^5} \left\{ Q + (D + \delta) K x \right\}^2 dx \quad \dots \dots \dots 74.$$

und durch Integriren beider Seiten:

$$\frac{(o + p)^2}{2} = n \frac{\mathfrak{A}}{D^5} \frac{\left\{ Q + (D + \delta) K x \right\}^2}{3(D + \delta) K} + Const. \quad \dots \dots 75.$$

Für $p = p_1$ ist $x = l$; für $p = p_2$ ist $x = o$, fonach

$$o^2 + 2 o p_1 + p_1^2 = \frac{2 n \mathfrak{A}}{D^5 \cdot 3(D + \delta) K} \left\{ Q^2 + 3 Q^2 (D + \delta) K l + 3 Q (D + \delta)^2 K^2 l^2 + (D + \delta)^3 K^3 l^3 \right\} + Const. \quad \dots \dots \dots 76.$$

$$o^2 + 2 o p_2 + p_2^2 = \frac{2 n \mathfrak{A}}{D^5 \cdot 3(D + \delta) K} \{ Q^3 \} + Const. \quad 77.$$

Durch Abziehen der Gleichung 77. von 76. verschwindet die unbekannte Constante und entsteht die folgende Gleichung:

$$p_1^2 + 2 o p_1 - p_2^2 - 2 o p_2 = \frac{2 n \mathfrak{A}}{D^5 \cdot 3(D + \delta) K} \{ 3Q^2 (D + \delta) Kl + 3Q(D + \delta)^2 K^2 l^2 + (D + \delta)^3 K^3 l^3 \} \quad 78.$$

oder, nach entsprechender Umformung,

$$p_1^2 + 2 o p_1 - p_2^2 - 2 o p_2 - \frac{2 n \mathfrak{A} l}{3 D^5} \{ 3Q^2 + [3Q + (D + \delta) Kl](D + \delta) Kl \} = 0$$

und

$$p_1 = -o \pm \sqrt{o^2 + 2 o p_2 + p_2^2 + \frac{2 n \mathfrak{A} l}{3 D^5} \{ 3Q^2 + [3Q + (D + \delta) Kl](D + \delta) Kl \}} \quad 79.$$

In dieser Gleichung gilt zweifellos das + Zeichen vor der Wurzel; nach Einsetzen des Werthes für \mathfrak{A} aus Gleichung 73. und einigen Umformungen wird sie zu der anderen

$$p_1 = \sqrt{(o + p_2)^2 + \frac{20,0015 \cdot 4^2 n l}{33\,600^2 \pi^2 D^5} \{ 3Q^2 + [3Q + (D + \delta) Kl](D + \delta) Kl \}} - o \quad 80.$$

Hieraus gewinnt man, nach Einsetzen der Werthe von n und o aus 69, für:

p_1 und $p_2 < 36\,000$:

$$p_1 = \sqrt{(1200 + p_2)^2 + \frac{l}{400\,000 D^5} \{ 3Q^2 + [3Q + (D + \delta) Kl](D + \delta) Kl \}} - 1200 \quad 81.$$

p_1 und $p_2 > 36\,000$:

$$p_1 = \sqrt{(3000 + p_2)^2 + \frac{l}{37\,600 D^5} \{ 3Q^2 + [3Q + (D + \delta) Kl](D + \delta) Kl \}} - 3000 \quad 82.$$

Was den Werth $K = \frac{\pi (T - t) k}{520}$ anbelangt, so darf man denselben im Allgemeinen für nackte Rohre = 10, für eingehüllte Rohre = 2 setzen.

Beispielsweise sei:

für nackte Rohre mit $D = 0,05$ m und mehr (Gusseisen) . . . $\delta = 0,009 \cdot 2 = 0,018$ m
 „ „ mit $D = 0,044$ und weniger (Schmiedeeisen) $\delta = 0,008 \cdot 2 = 0,006$ m
 „ eingehüllte „ mit $D = 0,05$ m und mehr $\delta = 0,009 \cdot 2 + 0,03 = 0,048$ m
 „ „ mit $D = 0,044$ m und weniger $\delta = 0,008 \cdot 2 + 0,03 = 0,036$ m;
 es sei ferner Q am Ende einer $l = 100$ m langen Rohrleitung bei größtem Dampfbedarf = 120 kg, bei durchschnittlichem Dampfbedarf = 30 kg, so giebt die Formel 81. folgende Werthe:

a) Nackte Rohre, $l = 100$ m.

D	$Kl (D + \delta)$	$\frac{Kl (D + \delta)}{Q}$	Q	p_2	p_1	$p_1 - p_2$	v_1	v_2
0,025	31	0,26	120	12 000	38 600	26 600	43,6	102,9
0,031	37	0,31	120	„	24 800	12 800	44,4	66,9
0,037	43	0,36	120	„	18 600	6 600	42,5	47,1
0,044	50	0,42	120	„	15 200	3 200	37,8	33,2
0,050	68	0,57	120	„	14 000	2 000	35,0	25,7
0,060	78	0,65	120	„	13 000	1 000	27,4	17,8
0,070	88	0,73	120	„	12 460	460	21,7	13,1
0,080	98	0,82	120	„	12 250	250	17,9	10,0
0,090	108	0,90	120	„	12 215	150	14,9	7,9
0,100	118	0,98	120	„	12 090	90	12,7	6,4

β) Nackte Rohre, $l = 100$ m.

D	$Kl (D + \delta)$	$\frac{Kl (D + \delta)}{Q}$	Q	p_2	p_1	$p_1 - p_2$	v_1	v_2
0,025	31	1,03	30	10 800	17 600	6 800	36,7	28,28
0,031	37	1,23	30	»	13 200	2 400	34,2	18,40
0,037	43	1,43	30	»	12 000	1 200	28,5	12,91
0,044	50	1,66	30	»	11 400	600	23,2	9,13
0,050	68	2,26	30	»	11 240	440	22,29	7,07
0,060	78	2,60	30	»	11 040	240	17,33	4,91
0,070	88	2,93	30	»	10 913	113	14,06	3,61
0,080	98	3,26	30	»	10 867	67	11,79	2,76
0,090	108	3,60	30	»	10 842	42	10,04	2,18
0,100	118	3,93	30	»	10 828	28	6,59	1,77

γ) Gut umkleidete Rohre, $l = 100$ m.

D	$Kl (D + \delta)$	$\frac{Kl (D + \delta)}{Q}$	Q	p_2	p_1	$p_1 - p_2$	v_1	v_2
0,025	12,2	0,10	120	12 000	36 100	24 100	40,11	102,9
0,031	13,4	0,11	120	»	23 400	11 400	39,92	66,9
0,037	14,6	0,12	120	»	17 300	5 300	37,60	47,1
0,044	16,0	0,13	120	»	14 600	2 600	31,52	33,2
0,050	19,6	0,16	120	»	13 450	1 450	25,16	25,7
0,060	21,6	0,18	120	»	12 610	610	20,15	17,8
0,070	23,6	0,20	120	»	12 290	290	15,37	13,1
0,080	25,6	0,21	120	»	12 150	150	12,05	10,0
0,090	27,6	0,23	120	»	12 090	90	9,70	7,9
0,100	29,6	0,24	120	»	12 040	40	8,00	6,4

δ) Gut umkleidete Rohre, $l = 100$ m.

D	$Kl (D + \delta)$	$\frac{Kl (D + \delta)}{Q}$	Q	p_2	p_1	$p_1 - p_2$	v_1	v_2
0,025	12,2	0,41	30	10 800	14 400	3 600	30,61	28,28
0,031	13,4	0,44	»	»	12 200	1 400	23,84	18,40
0,037	14,6	0,48	»	»	11 400	600	18,29	12,91
0,044	16,0	0,53	»	»	11 070	270	13,69	9,13
0,050	19,6	0,65	»	»	10 960	160	11,54	7,07
0,060	21,6	0,72	»	»	10 870	70	8,40	4,91
0,070	23,6	0,79	»	»	10 833	33	6,45	3,61
0,080	25,6	0,85	»	»	10 818	18	5,12	2,76
0,090	27,6	0,92	»	»	10 810	10	4,14	2,18
0,100	29,6	0,98	»	»	10 806	6	3,513	1,77

Aus den gegebenen Tabellen ist zunächst (was hier nebenfächlich) zu ersehen, welchen hohen Werth eine gute Rohrumhüllung in Bezug auf Dampferparnis hat. Ferner erfieht man aus denselben die Bedeutung des Wärmeverlustes für den Reibungswiderstand, sobald man die Zahlenreihen unter $p_1 - p_2$ vergleicht; endlich geht aus dem Vergleich der Zahlenreihen v_1 und v_2 hervor, wie nothwendig es ist, die allerdings unbequemen Formeln 81. und 82. anstatt solcher zu verwenden, welche die Wärmeverluste vernachlässigen.

Die Reihen $\frac{Kl (D + \delta)}{Q}$ in den Tabellen α) und β), namentlich aber in β)