

- Die Heizung und Lüftung geschlossener Räume. HAARMANN's Zeitschr. f. Bauhdw. 1877, S. 89, 111, 128.
Ventilation. Builder, Vol. 35, S. 1231.
- CONSTANTINE, J. *The ventilation and warming of public buildings. Building News*, Vol. 32, S. 510.
- C. L. STAEBE's Preisschrift über die zweckmässigsten Ventilations-Systeme. Redigirt, durch Anmerkungen und einen Anhang vervollständigt von A. WOLPERT. Berlin 1878.
- DEGEN, L. Praktisches Handbuch für Einrichtungen der Ventilation und Heizung von öffentlichen und Privatgebäuden nach dem System der Aspiration. 2. Aufl. München 1878.
- Ueber Luftwechsel und Heizung. Rohrleger 1878, S. 3.
- Theorie des Luftwechsels. Rohrleger 1878, S. 22.
- Ventilation der Wohnräume. Rohrleger 1878, S. 140.
- PAUL. Ueber Heizungen und Ventilation. Wochschr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1878, S. 87.
- BIRD, P. H. *On the ventilation of rooms, house-drains, soil-pipes, and sewers.* London 1879.
- WAZON, A. *Chauffage et ventilation des édifices publics et privés.* Paris 1879.
- STREBEL. Mittheilungen über Heizung und Ventilation auf der Pariser Ausstellung. Wochschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1879, S. 41.
- Mittheilungen von der Weltausstellung in Paris 1878. Die Heizung und Lüftung geschlossener Räume. Polyt. Journ. Bd. 231.
- MEINERS, H. Das städtische Wohnhaus der Zukunft oder wie sollen wir bauen und auf welche Weise ventiliren und heizen? 2. Aufl. Stuttgart 1880.
- Deutsche bautechnische Taschenbibliothek. 49. Heft. Die Ventilation der bewohnten Räume. Von AHRENDTS. Leipzig 1880.
- WOLPERT, A. Theorie und Praxis der Ventilation und Heizung. Braunschweig 1880.
- UHLAND, W. H. Handbuch für den praktischen Maschinen-Constructeur. II. Band. 2. Feuerungsanlagen, Heizung und Ventilation. Leipzig. Erscheint seit 1880.
- SCHWATLO, C. Heizung und Ventilation. ROMBERG's Zeitschr. f. prakt. Bauk. 1880, S. 365, 386.
- VALÉRIUS, H. *Les applications de la chaleur, avec un exposé des meilleurs systèmes de chauffage et de ventilation.* 3^e édit. Gand 1880.
- PLANAT, P. *Cours de construction civile. 1^{re} partie. Chauffage et ventilation de lieux habités.* Paris 1880.
- HOOD, CH. *Practical treatise on warming buildings by hot water, steam and hot air, on ventilation etc.* 5. édit. London 1880.
- SCHOLTZ, A. Feuerungs- und Ventilations-Anlagen. Karlsruhe 1881.
- NAUMANN, A. Die Heizungsfrage, mit besonderer Rücksicht auf Wassergaserzeugung und Wassergasheizung. Giefsen 1881.

1. Kapitel.

Zu- und abzuführende Wärmemenge.

a. Wärmemenge, welche in Folge der Benutzung der Räume frei wird.

Wenn man von Sonderfällen absteht, so sind im vorliegenden Sinne nur zwei Wärmequellen zu nennen, nämlich der Stoffwechsel der Menschen und die Beleuchtung mit Gas. Alle übrigen regelmässig auftretenden Wärmequellen können den genannten gegenüber vernachlässigt werden.

Die Wärmeentwicklung in Folge Verbrennung der abgängigen Körpertheile ist außerordentlich schwankend. Sie hängt ab von der Menge und Art der Nahrung, von dem körperlichen Zustande und der Beschäftigung der Menschen. Auch der Gemüthszustand dürfte nicht ohne Einfluss sein. Im Allgemeinen entwickeln kräftige Menschen mehr Wärme als schwächliche, Erwachsene mehr als Kinder, Männer mehr als Frauen.

Nach v. Pettenkofer und Voit¹⁸⁾ liefert der Stoffwechsel eines erwachsenen Menschen in der Stunde durchschnittlich 125 Einheiten, wenn unter einer Wärme-

¹⁸⁾ PETTENKOFER, M. v. Kleidung, Wohnung, Boden. Populäre Vorlesungen. Braunschweig 1872, S. 6.

einheit, wie hier immer, diejenige Wärmemenge verstanden wird, welche 1 kg Wasser um 1 Grad C. zu erwärmen vermag. Diese Wärmemenge wird indessen nicht vollständig zum Erwärmen des betreffenden Raumes benutzt; vielmehr ein erheblicher Theil, zuweilen bis zu $\frac{1}{3}$, durch die Wasserverdunstung der Körperoberfläche gebunden. So fern die Zimmerluft geeignet ist, entsprechende Wassermengen aufzunehmen, also unter den gewöhnlichen Verhältnissen eines gut gelüfteten Raumes, wird man für einen erwachsenen Mann eine stündliche Zufuhr von 100 Einheiten rechnen können, während für Kinder durchschnittlich 50 Einheiten stündlich gerechnet werden dürfen.

50.
Gas-
beleuchtung.

In Art. 28, S. 21 wurde bereits angegeben, daß 1 cbm Gas je nach seiner Zusammenfassung bei der Verbrennung 4000 bis 7000 Einheiten entwickle; als Mittelwerth dürften 6000 Einheiten anzunehmen sein. Angesichts der erheblichen Verschiedenheiten wird man in besonderen Fällen sich Kenntniß von der Zusammenfassung des Gases verschaffen und die Wärmeentwicklung nach dem Verfahren berechnen, welches weiter unten, bei Besprechung der Brennstoffe, angegeben werden wird.

Die übrigen Beleuchtungstoffe, Oel, Erdöl, Stearin etc. liefern, nach Versuchen von *Erismann*, für gleiche Lichtstärke größere Wärmemengen, als Leuchtgas. Eine reiche Beleuchtung wird jedoch durch diese Beleuchtungstoffe nur selten bewirkt werden können, weshalb die entstehende Wärmeentwicklung in der Regel vernachlässigt werden kann.

Beide genannten Quellen können hiernach oft erhebliche Wärmemengen liefern, welche ernsthafte Beachtung verdienen, so fern die Bindung oder Abfuhr derselben in Frage kommt.

b. Wärmestrahlung und Wärmeleitung.

Die Wärmemenge, welche die Fläche eines von der Luft oder einer anderen Flüssigkeit berührten Körpers austauscht, ist auf Grund der bisherigen Beobachtungen nur schwer zu bestimmen. Sie wird theils durch Berührung der in Rede stehenden Fläche mit der Flüssigkeit, sonach durch Ueberleitung, theils durch Strahlung übertragen.

51.
Wärme-
strahlung.

Die Menge der Wärme, welche durch Strahlung ausgetauscht wird, ist abhängig von dem Unterschied der Temperaturen der ersten Fläche gegenüber der von den Wärmestrahlen getroffenen Fläche und von dem Zustande der beiden Flächen. Den Zustand der getroffenen Fläche vernachlässigt man gemeinlich, obgleich derselbe in eben dem Maße sich geltend macht, wie derjenige der ersten Fläche im vorliegenden Sinne, wohl nur um die Rechnungen zu vereinfachen.

Den Zustand der strahlenden Fläche berücksichtigt man durch Erfahrungszahlen, welche hier mit s bezeichnet werden sollen.

Dulong und *Petit* haben, auf Grund zahlreicher Versuche, folgenden Ausdruck für die durch Strahlung stündlich von 1 qm Fläche abgegebene Wärme W_s aufgestellt:

$$W_s = 125 s (1,0077^t - 1,0077^{t_2}), \quad 1.$$

worin t die Temperatur der strahlenden, t_2 diejenige der bestrahlten Fläche bedeutet. Die Formel gilt für Temperaturunterschiede bis zu 260 Grad.

Nach *H. Buff*¹⁹⁾ verschluckt die atmosphärische Luft im gewöhnlichen Zustande etwa die Hälfte der Wärmestrahlen, während die andere Hälfte freien Durchlaß findet. Demnach würde der eingeklammerte Werth in zwei Theile zerlegt werden

19) *POGGENDORF'S Annalen*, Bd. 158, S. 177.

müssen; der eine derselben würde die beiden Temperaturen t und t_1 , d. h. diejenigen der strahlenden Fläche und der Luft, die andere die Temperaturen t und t_2 , d. h. diejenigen der strahlenden und der hinter der Luft befindlichen bestrahlten Fläche enthalten müssen.

Letztere Fläche besteht, wenn es sich z. B. um die Wärmeausstrahlung der Außenwand eines Hauses handelt, aus den Wänden der gegenüberliegenden Gebäude. Diese sind häufig wärmer, als die zwischen beiden Flächen befindliche Luft, bei großer Kälte, die vorzugsweise berücksichtigt werden muss, niemals kälter als dieselbe. Häufig fehlen derartige bestrahlte feste Flächen. In vielen Fällen muss daher für t_2 die Temperatur t_1 eingeschaltet werden. Die auszuführende Anlage zur Erreichung einer von dem Freien unabhängigen Temperatur muss dem größten Wärmeaustausch gewachsen sein, weshalb es zulässig erscheint, in der Regel t_1 für t_2 einzusetzen. Die von einem Heizkörper bestrahlte, jenseits der denselben umgebenden Luft befindliche Fläche ist regelmässig kälter, als die Luft; ihre Temperatur ist jedoch schwer vorab zu bestimmen. Da nun bei Berechnung des Heizkörpers die möglicher Weise eintretende ungünstigste Wärmeabgabe ausschlaggebend ist, so ist es nicht weniger berechtigt, auch für diesen Fall in der Regel t_1 für t_2 einzusetzen.

Das Verschlucken der Wärmestrahlung Seitens der Luft findet in dem der strahlenden Fläche zunächst liegenden Raume statt. Die Temperatur dieses Luftraumes ist, wie später näher erörtert werden wird, nur schwer oder gar nicht zu bestimmen; jedenfalls ist sie grösser, als die mittels eines Thermometers gemessene Temperatur. Wenn trotzdem diese Temperatur für diejenige der bestrahlten Lufttheilchen eingesetzt wird, so findet eine Ausgleichung des Fehlers statt, welcher in der Einführung der Grösse t_1 für t_2 liegt.

Für die gleichsam negative Strahlung der kälteren Innenflächen der Wände auf die Luft, so wie auf Menschen, Möbel und andere Geräte, die sich in einem Raume befinden, gelten dieselben Erwägungen, wie leicht übersehen werden kann.

Für die Strahlung einer Fläche, welche von Luft berührt wird, soll deshalb allgemein die Formel 1. in die andere

$$W_s = 125 s (1,0077^t - 1,0077^{t_1}) \dots \dots \dots 2.$$

verwandelt werden, wobei vorbehalten bleiben mag, in besonderen Fällen auf Formel 1. zurückzugreifen.

Für Temperaturunterschiede bis zu 60 Grad liefert die *Péclet'sche* Formel, welche unter 3. angeführt wird, fast genau dieselben Werthe, wie Formel 2., weshalb sie, ihrer Einfachheit halber, für die Wärmestrahlung derjenigen Flächen, welche zwischen der freien Luft und dem in Frage kommenden geschlossenen Raume eintritt, benutzt werden soll. Sie lautet:

$$W_s = s [1 + 0,0056 (t - t_1)] [t - t_1] \dots \dots \dots 3.$$

Was endlich den Werth s anbelangt, so liegt über denselben eine Zahl von Versuchen vor, welche nachstehend, so weit sie für das Beheizungsverfahren Bedeutung haben, zusammengestellt sind. Aus der Benennung der Oberflächen geht hervor, dass die Zahlen, welche die hier folgende Tabelle enthält, keine vollständig genauen sein können. Ich mache in dieser Hinsicht aufmerksam auf die Gegenüberstellung des gewöhnlichen Eisenbleches (mit $s = 2,7$) und des oxydirten Eisenbleches (mit $s = 3,3$). Für den vorliegenden Zweck müssen die Zahlen genügen, weil keine besseren vorhanden sind.

Bezeichnung der Oberfläche:	s	Bezeichnung der Oberfläche:	s
Blankes Kupfer	0,16	Neues Gufseifen	3,2
Zinn	0,22	Oxydirtes Eifenblech	3,3
Zink	0,24	Kohlenftaub	3,1
Meffing	0,26	Holz, Gyps, Baufteine, Baumwollen-, Wol-	
Polirtes Eifenblech	0,45	len- und Seiden-Stoffe, Oelfarbenanfrich	3,6
Weifsblech	0,65	Papier	3,5
Gewöhnliches Eifenblech	2,7	Rufs	4,0
Glas	2,9	Waffer	5,3

52.
Wärme-
leitung.

Die Wärmeübertragung, welche vermöge der Berührung von Luft und Körperoberfläche stattfindet, ist ihrer Menge nach weit weniger genau festzustellen, als die gestrahlte Wärme. Sie scheint lediglich von dem Temperaturunterschiede abzuhängen, welcher zwischen der Oberfläche und der sie berührenden Luft herrscht. Wenn man im Stande ist, die Oberflächen-Temperatur eines Körpers einigermaßen genau zu bestimmen, so fehlen doch bisher noch die Mittel zur Bestimmung der Temperatur derjenigen Lufttheilchen, welche die Körperoberfläche bespülen; diejenige Lufttemperatur, welche wir messen können, ist eine andere als die soeben genannte.

Die Thermometerkugel C (Fig. 38) erlaubt sowohl wegen ihrer Größe, als auch wegen des Einflusses der Strahlung der Fläche AB — welche durch geeignete Schirme möglichst unschädlich gemacht werden muß — ein Eintauchen in die mit der Fläche AB in Berührung stehende Luft,

Fig. 38.



welches nothwendig fein würde, wenn man die Temperatur derselben messen wollte, nicht. Es sei AB wärmer, als die berührende Luft. Alsdann wird die mit AB in Berührung stehende Luftschicht erwärmt; sie führt einen Theil der aufgenommenen Wärme durch Leitung der benachbarten Luftschicht zu. Wegen der geringen Leitungsfähigkeit der Luft kann hierdurch nur eine geringe Wärmemenge weiter geführt werden; der größere Theil der von AB abgegebenen Wärme wird daher in der diese Fläche unmittelbar berührenden Luftschicht aufgespeichert, so nach deren Temperatur erhöht. Weil die Raumeinheit der so leichten Luft nur geringe Wärmemengen aufzunehmen vermag, so ist die Temperatursteigerung der Luft eine sehr rasche, wenn nicht noch andere Einflüsse sich geltend machen.

In Folge der Temperaturerhöhung wird die den Körper berührende Luftschicht specifisch leichter; ist nun AB lothrecht, so bewegt sich die Luftschicht nach oben und macht anderer, kälterer Luft Platz, d. h. es wird die Temperatur der Luft in unmittelbarer Nähe von AB verringert, der Temperaturunterschied vergrößert. Ist AB dagegen wagrecht gelegen und abwärts gerichtet (Fig. 39), so vermag die wärmere Luft nicht nach oben zu steigen; sie bleibt also in Berührung mit AB , erwärmt sich mehr und mehr und verhindert schließlich die Wärmeabgabe bis auf die geringe Menge, welche durch Leitung der Luft weiter befördert wird. Einen dritten möglichen Fall stellt Fig. 40 vor. Die Fläche AB ist wagrecht, aber nach oben gerichtet. In diesem Falle wird die durch AB unmittelbar erwärmte Luft mit großer Entschiedenheit nach oben sich bewegen und durch kältere Luft ersetzt werden.

Fig. 39.



Fig. 40.



Auch die Begrenzung der Fläche AB , so wie die Ausdehnung derselben spielt hierbei eine nicht unwichtige Rolle. Würde z. B. AB in dem Falle der Fig. 40 sehr groß, vielleicht auch von lothrechten Wänden umrahmt sein, so würde die kalte Luft ausschließlich von oben nach unten zuströmen müssen, hierbei der wärmeren Luft begegnen und wegen der vielfachen Berührung mit dieser in Folge entstehender Wirbel von dieser Wärme aufnehmen, während eine kleine nicht umrahmte Fläche AB den größten Theil der kälteren Luft durch wagrechte Ströme zugeführt erhält.

Andere Flächenlagen, als die hier kurz besprochenen, haben Erscheinungen im Gefolge, welche zwischen den genannten liegen.

So fern die Fläche AB kälter ist, als die umgebende Luft, treten die erwähnten Erscheinungen in umgekehrter Richtung auf.

Von noch entschiedenerem Einfluss auf die wirkliche Lufttemperatur in unmittelbarer Nähe der Körperoberfläche ist die Bewegung der Luft durch äussere Einflüsse. In einem stark besetzten Saal kann der Aufenthalt ein unangenehmer dadurch sein, dass die Entwärmung der menschlichen Körper durch Strahlung eine mangelhafte ist: nach allen Seiten fast sind die Körper von solchen mit gleicher Oberflächen-Temperatur umgeben, so dass das t unserer Formel 1. dem t_2 derselben nahezu oder vollständig gleich ist. Der Werth W_s wird sonach sehr klein oder gleich Null.

Die von einer Person entwickelte Wärme, welche vielleicht durch Tanzen, Reden, Singen etc. den oben genannten Durchschnitt wesentlich überschreitet, muss deshalb nahezu ausschliesslich durch Leitung an die Luft abgegeben werden. Unfere Damen ergreifen in diesem Fall den Fächer und verursachen hierdurch grössere oder geringere Luftwirbel. Die Temperatur der Luft im Raum wird hierdurch keine andere, trotzdem ist die durch die Luftbewegung entstehende Kühlung eine deutlich fühlbare; sie entsteht, indem die die Haut unmittelbar berührende, von ihr erwärmte Luftschicht theilweise oder ganz verdrängt, weggespült wird und kältere Luftschichten, solche, deren Temperatur die im Saal gemessene ist, an ihre Stelle treten.

Bei Berechnung der Wärmemenge, welche durch Berührung einer festen Fläche mit der Luft überleitet wird, ist sonach nicht allein die Lage der Fläche, sondern der Bewegungszustand der Luft überhaupt gebührend zu berücksichtigen.

Schon Péclet hat die durch Leitung übertragene Wärmemenge W_l durch die Formel

$$W_l = l [1 + 0,0075 (t - t_1)] [t - t_1] \dots \dots \dots 4.$$

ausgedrückt, in welcher l eine von der Art der Luftbewegung abhängige Erfahrungszahl, t die Temperatur der Oberfläche, t_1 diejenige Temperatur der Luft bedeutet, welche in mässiger Entfernung von der Oberfläche gemessen wird.

Nach Grashof²⁰⁾ ist $l = 3$ bis 6 zu setzen und zwar im Mittel für eingeschlossene Luft $l = 4$, für freie ruhige Luft $l = 5$.

Bei besonders grosser Geschwindigkeit der Luft scheint l erheblich höher zu sein, so dass für Wind, welcher die Oberfläche der Häuser trifft, mindestens $l = 6$ gesetzt werden muss.

Die Summe beider Wärmemengen, also $W_s + W_l$, multiplicirt mit der in Frage kommenden Flächengrösse F (in Quadr.-Met.) ist die gesammte, von dieser abgegebene Wärme, welche mit W_1 bezeichnet werden mag, so dass entsteht:

$$W_1 = F (t - t_1) \left[s \{1 + 0,0056 (t - t_1)\} + l \{1 + 0,0075 (t - t_1)\} \right] \dots \dots \dots 5.$$

Diese Gleichung lässt sich auch wie folgt schreiben:

$$W_1 = \psi F (t - t_1) \dots \dots \dots 6.$$

Die Berechnung von ψ , d. h. desjenigen Ausdruckes, welcher in Gleichung 5. in die []-Klammer eingeschlossen ist, bietet, ausser den schon genannten Unsicherheiten, in so fern Schwierigkeiten, als die Grösse des Factors $t - t_1$ noch nicht bekannt, auch, wie später erörtert werden wird, zur Zeit nur auf Grund des als bekannt vorauszufetzenden ψ gewonnen werden kann. Für die geringen Temperaturunterschiede, welche bei den Einschliessungsflächen der Wohnräume vorkommen, ist indess die genannte Schwierigkeit nicht erheblich, indem die mit $t - t_1$ innerhalb der Klammer verbundenen Factoren sehr klein sind, also $t - t_1$ schätzungsweise bestimmt werden kann.

53.
Gesammte
Wärmemenge.

20) GRASHOF, F. Theoretische Maschinenlehre. Bd. 1. Leipzig 1875, S. 944.