

- Ueber Lüftung (Ventilation). HAARMANN's Zeitschr. f. Bauhdw. 1864, S. 1, 29, 61.
- VEIT MEYER. Ueber Ventilation und Heizung. ROMBERG's Zeitschr. f. prakt. Bauk. 1866, S. 113.
- DYMOND, C. W. *On the ventilation of buildings*. *Builder*, Vol. 24, S. 140.
- HEIDMAN. Studien über die Ventilation von MORIN. Mittheilungen daraus. Zeitschr. f. Bauw. 1866, S. 85 u. 537; 1867, S. 49.
- Ueber die frische Luft in den menschlichen Wohnungen. ROMBERG's Zeitschr. f. prakt. Bauk. 1867, S. 74.
- Ueber Ventilation. ROMBERG's Zeitschr. f. prakt. Bauk. 1867, S. 311.
- Ventilation*. *Builder*, Vol. 25, S. 676.
- JOLY, V. CH. *Traité pratique du chauffage, de la ventilation et de la distribution des eaux dans les habitations particulières*. Paris 1868.
- LEEDS, W. *Lectures on ventilation: being a course delivered in the Franklin Institute of Philadelphia, during the winter of 1866—67*. New-York 1868.
- Ventilation*. *Builder*, Vol. 26, S. 43.
- TEMPLETON, R. Ventilation. *Builder*, Vol. 26, S. 294.
- WEBER, K. Luft und Licht in menschlichen Wohnungen. Vortrag in der Reihe der von dem »Frauenverein für Krankenpflege« veranstalteten populären Vorlesungen. Darmstadt 1869.
- CASTARÈDE-LABARTHE, P. *Du chauffage et de la ventilation des habitations privées*. Paris 1869.
- On ventilation*. *Builder*, Vol. 27, S. 162.
- The heat emitted from the human body as an element to be regarded in arranging the ventilation and warming of buildings*. *Builder*, Vol. 27, S. 819.
- GROTHE, H. Die Brennmaterialien u. die Feuerungsanlagen f. Fabrik, Gewerbe u. Haus. Weimar 1870. Sammlung gemeinverständlicher wissenschaftlicher Vorträge. Herausg. von R. VIRCHOW u. F. v. HOLTZENDORF. Heft 112. Moderne und antike Heizungsmethoden. Von J. BERGER. Berlin 1870.
- TRONQUOY, C. *Un chapitre sur le chauffage et la ventilation*. Paris 1871.
- LEEDS, L. W. *Treatise on ventilation: seven lectures in Philadelphia. 1866—68*. New-York 1871.
- PINZGER, L. Beitrag zur Ventilationsfrage. Zeitschr. f. Bauw. 1872, S. 223.
- HAYWARD, J. W. *Practical experiences in ventilation and warming*. *Builder*, Vol. 30, S. 182.
- Recherches sur la ventilation naturelle et sur la ventilation artificielle*. Bruxelles 1873.
- BUTLER, W. F. *Ventilation of buildings*. London 1873.
- POPPER, M. Die Heizung vom Standpunkt der Hygiene. Öft. Zeitschr. für prakt. Heilk. 1873, Nr. 24—27.
- MORIN, A. *Salubrité des habitations. Manuel pratique du chauffage et de la ventilation*. Paris 1874.
- Du minimum de ventilation*. *Encyclopédie d'arch.* 1874, S. 28.
- Ventilation. An A-B-C hint from America*. *Builder*, Vol. 32, S. 28.
- HINE, TH. C. *Warming and ventilation*. *Builder*, Vol. 32, S. 1050.
- GRASHOF, F. Theoretische Maschinenlehre. 1. Band. Mechanische Wärmetheorie, Hydraulik, Heizung. Leipzig 1875.
- BOSC, E. *Traité complet théorique et pratique du chauffage et de la ventilation des habitations particulières et des édifices publics*. Paris 1875.
- Des différentes modes de chauffage chez les anciens et les modernes*. *Gaz. des arch. et du bât.* 1875, S. 45.
- The art of warming*. *Building News*, Vol. 28, S. 120.
- Systems of ventilating*. *Building News*, Vol. 28, S. 616.
- LEEDS, L. W. *A treatise on ventilation. New edit.* Philadelphia 1876.
- BOSC, E. *Nouvelle étude sur le chauffage et la ventilation des édifices*. *Gaz. des arch. et du bât.* 1876, S. 177, 192, 212.
- Air and ventilation*. *Building News*, Vol. 31, S. 197.
- MUNDE, C. Zimmerluft, Heizung und Ventilation etc. 2. Aufl. Leipzig 1877.
- FERRINI, R. Technologie der Wärme, Feuerungsanlagen, Oefen, Heizung und Ventilation der Gebäude etc. Deutsch von M. SCHRÖTER. Jena 1877.
- Bericht über die Weltausstellung in Philadelphia 1876. Herausgegeben von der Oesterreichischen Commission. 17. Heft. Heizung, Ventilation und Wasserleitungen. Von L. STROHMAYER. Wien 1877.
- STROTT, G. K. Ventilation und Desinfection der Wohnräume, nebst Conservirung der in Wohnhäusern vorkommenden organischen Körper. Holzminen 1877.
- HAESECKE, E. Theoretisch-praktische Abhandlung über Ventilation in Verbindung mit Heizung. Berlin 1877. Ventilation geschlossener Räume. Deutsche Bauz. 1871, S. 161, 171, 198, 210, 219; 1872, S. 115; 1876, S. 48; 1877, S. 78.

- 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<sup>e</sup> édit. Gand 1880.
- PLANAT, P. *Cours de construction civile. 1<sup>re</sup> 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. Gießen 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 Voit<sup>18)</sup> liefert der Stoffwechsel eines erwachsenen Menschen in der Stunde durchschnittlich 125 Einheiten, wenn unter einer Wärme-

<sup>18)</sup> 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 gemeiniglich, 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*<sup>19)</sup> 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.

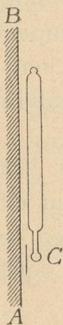
Bezeichnung der Oberfläche:	$s$	Bezeichnung der Oberfläche:	$s$
Blankes Kupfer . . . . .	0,16	Neues Gußeisen . . . . .	3,2
Zinn . . . . .	0,22	Oxydirtes Eifenblech . . . . .	3,3
Zink . . . . .	0,24	Kohlenstaub . . . . .	3,1
Messing . . . . .	0,26	Holz, Gyps, Baufleine, Baumwollen-, Wol-	
Polirtes Eifenblech . . . . .	0,45	len- und Seiden-Stoffe, Oelfarbenanfrich	3,6
Weißblech . . . . .	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

Fig. 39.



Fig. 40.



gerichtet. In diesem Falle wird die durch  $AB$  unmittelbar erwärmte Luft mit großer Entschiedenheit nach oben sich bewegen und durch kältere Luft ersetzt werden.

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 zufließen 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. Unsere 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 *Grashof*<sup>20)</sup> 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  $\psi$ , 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 vorauszusetzenden  $\psi$  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.

Beispielsweise berechnet sich  $\psi$  für die Flächen einer Fenster Scheibe wie folgt. Es sei die Temperatur des Freien = - 20 Grad, diejenige des Zimmerinneren = + 20 Grad. Für  $t - t_1$  ist alsdann mit ziemlicher Sicherheit höchstens 20 Grad anzunehmen. Die Außenfläche liefert alsdann ein  $\psi_a$ , da  $s = 2,9$  und  $l = 6$  (wegen möglicher Weise während der Kälte auftretenden Windes), welches ausgedrückt wird durch:

$$\psi_a = 2,9 \left\{ 1 + 0,0056 \cdot 20 \right\} + 6 \left\{ 1 + 0,0075 \cdot 20 \right\} = 2,9 \left\{ 1 + 0,112 \right\} + 6 \left\{ 1 + 0,15 \right\} = \infty 10,1.$$

Die Innenfläche dagegen, wegen  $s = 5,3$  (Fensterfchwefels = Waffer) und  $l = 4$ :

$$\psi_i = 5,3 \left\{ 1 + 0,112 \right\} + 4 \left\{ 1 + 0,15 \right\} = \infty 10,5.$$

Man erfieht aus der gegebenen Rechnung, dafs für den vorliegenden Fall selbst ein erheblicher Irrthum in der Schätzung von  $t - t_1$  einen nennenswerthen Einfluss auf das Endergebnifs nicht gehabt haben würde. Das ist offenbar bei dickeren, weniger gut leitenden Einschließungsflächen in noch höherem Grade der Fall, weil bei diesen  $t - t_1$  an sich kleiner wird.

**c. Wärmeüberführung durch feste Wände (Wärme-Transmission).**

Die Ueberleitung der Wärme von einer Wandfläche zur gegenüberliegenden eines festen, gleichartigen Körpers steht im geraden Verhältnifs zum Temperaturunterschied und zur Flächengröße, so wie im umgekehrten Verhältnifs zur Entfernung beider Flächen.

54.  
Einfache  
Wände.

Fig. 4I stelle den Querschnitt einer irgend wie gekrümmten, aber überall gleich dicken, aus gleichartigem Stoff bestehenden Wand dar. Irgend eine um  $x$  von derjenigen Fläche, welche die Temperatur  $t$  besitzt, entfernte Schicht, deren räumliche Ausdehnung mit  $f$  bezeichnet werden mag, habe die Temperatur  $y$ . Sie wird, wenn die Temperatur  $T$  größer als  $t$  ist, und  $\lambda$  diejenige Wärmemenge bezeichnet, welche stündlich durch eine ebene Wand desselben Stoffes, die 1 qm Flächengröße und 1 m Dicke hat, bei 1 Grad Temperaturunterschied geleitet wird (vergl. unten stehende Tabelle), in derselben Zeit eine Wärmemenge  $W_2$  überführen, welche durch die Gleichung auszudrücken ist:

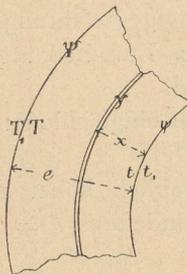


Fig. 4I.

$$W_2 = + \lambda f \frac{dy}{dx} \dots \dots \dots 7.$$

Hieraus entsteht sofort:

$$dy = \frac{W_2}{f\lambda} dx \dots \dots \dots 8.$$

Für die Größe  $\lambda$  sind nachstehende Werthe einzuführen:

Wärmemengen  $\lambda$ ,

welche durch 1 qm einer ebenen Wand nachbenannter Art von 1 m Dicke stündlich übergeleitet wird, wenn der Temperaturunterschied der Außenflächen der Wand 1 Grad beträgt:

Ruhende Luft . . . . .	$\lambda = 0,04$	Tannenholz, gleichlaufend mit der	
(nach Redtenbacher 0,1 <sup>21)</sup> )		Fafer . . . . .	$\lambda = 0,17$
Wolle, Baumwolle, Flaum . . . . .	$\lambda = 0,04$	Eichenholz . . . . .	$\lambda = 0,21$
Holzfasche . . . . .	$\lambda = 0,06$	Gyps, angemacht und hierauf an	
Kreidepulver . . . . .	$\lambda = 0,09$	der Luft getrocknet . . . . .	$\lambda = 0,35$ bis $0,5$
Gestofssene gebrannte Erde . . . . .	$\lambda = 0,15$	Gebrannte Erde . . . . .	$\lambda = 0,5$ » $0,8$
Zerstoßene Coke . . . . .	$\lambda = 0,26$	Backsteinmauer . . . . .	$\lambda = 0,7$
Sand . . . . .	$\lambda = 0,27$	Glas . . . . .	$\lambda = 0,75$ » $0,88$
Tannenholz, winkelrecht zur Fafer	$\lambda = 0,1$	Feinkörniger Kalkstein . . . . .	$\lambda = 1,2$ » $2,0$

21) Der höhere von Redtenbacher angegebene Werth dürfte in so fern berechtigt sein, als in der Praxis vollständig ruhende Luft in Schichten kaum vorkommt.

Marmor . . . . .	$\lambda = 2,8$ bis $3,4$	Zink . . . . .	$\lambda = 18$
Dichte Coke . . . . .	$\approx 5$	Eisen . . . . .	$\approx 20$ bis $28$
Blei . . . . .	$\approx 13$	Messing . . . . .	$\approx 30$ $\approx 45$
Zinn . . . . .	$\approx 17$	Kupfer . . . . .	$\approx 60$ $\approx 70$ .

55.  
Sphärische  
Wände.

Die Wand sei diejenige einer Hohlkugel, deren Halbmesser  $r$ , bez.  $R$  bezeichnen; die Fläche  $f$  ist alsdann:

$$f = 4 \pi (r + x)^2,$$

so dass, durch Einsetzen dieses Werthes, die Gleichung 8. zu der anderen wird:

$$dy = \frac{W_2}{4 \pi \lambda} \frac{dx}{(r + x)^2},$$

oder

$$y = -\frac{W_2}{4 \pi \lambda} \frac{1}{r+x} + C \dots \dots \dots 9.$$

Für  $x = 0$  ist  $y = t$ ; für  $x = e$  ist  $y = T$ , sonach

$$T - t = \frac{W_2}{4 \pi \lambda} \left\{ \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right\} \dots \dots \dots 10.$$

Die durch die Wand geführte Wärmemenge ist offenbar gleich der Wärmemenge

$$W_1 = \psi \cdot 4 r^2 \pi (t - t_1), \dots \dots \dots 6_a.$$

welche die innere Fläche mit der Luft auswechselft, und eben so gleich der Wärmemenge

$$W_3 = \psi 4 R^2 \pi (T_1 - T) \dots \dots \dots 6_b.$$

Durch Einsetzen von  $W_1$  statt  $W_2$  in Gleichung 10. ändert sich diese in

$$T - t = \frac{4 r^2 \pi \psi (t - t_1)}{4 \pi \lambda} \left\{ \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right\}$$

oder

$$t = \frac{T + t_1 r^2 \psi \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right\}}{1 + r^2 \psi \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right\}} \dots \dots \dots 11.$$

Diesen Werth von  $t$  setzt man in Gleichung 6<sub>a</sub>. ein und vertauscht gleichzeitig den Werth  $W_1$  derselben mit dem Werth für  $W_3$  aus Gleichung 6<sub>b</sub>., so dass

$$\psi \cdot 4 r^2 \pi \left( \frac{T + t_1 r^2 \psi \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right\}}{1 + r^2 \psi \frac{1}{\lambda} \left\{ \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right\}} - t_1 \right) = \psi \cdot 4 R^2 \pi (T_1 - T)$$

oder

$$T = \frac{\psi r^2 t_1 + \psi R^2 T_1 + \psi r^2 \psi R^2 \frac{1}{\lambda} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) T_1}{\psi r^2 + \psi R^2 + \psi r^2 \psi R^2 \frac{1}{\lambda} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)} \dots \dots \dots 12.$$

Der so gewonnene Werth von  $T$  noch in Gleichung 6<sub>b</sub>. eingesetzt, ergibt:

$$W_3 = W_k = 4 \pi \frac{T_1 - t_1}{\frac{1}{R^2 \psi} + \frac{1}{r^2 \psi} + \frac{1}{\lambda} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)}, \dots \dots \dots 13.$$

in welcher Gleichung ausschliesslich bekannte Gröfsen sich befinden.

Eine sphärische Wand, welche einen bestimmten Theil der Hohlkugelwand bildet, überträgt einen entsprechenden Theil von  $W_k$ .

56.  
Ebene  
Wände.

Die Wärmemenge  $W_e$ , welche eine ebene Wand überträgt, gewinnt man leichter, wie folgt.

Hier ist in jeder zu einer der Außenflächen gleich laufenden Schicht  $f = F$ , so daß Gleichung 8. durch Integration die Form

$$W_2 = F \lambda \frac{T - t}{e} \dots \dots \dots 14.$$

erhält. Zunächst setzt man  $W_2 = W_3$  oder:

$$F \lambda \frac{T - t}{e} = \Psi F (T_1 - T),$$

sonach

$$T = \frac{\Psi T_1 + \frac{\lambda}{e} t}{\Psi + \frac{\lambda}{e}} \dots \dots \dots 15.$$

Der so gefundene Werth wird in die Gleichung

$$W_3 = \Psi F (T_1 - T)$$

eingefügt und gleichzeitig  $W_3 = W_1$  gesetzt, wobei  $W_1$  den Werth hat:

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

Man erhält hierdurch

$$t = \frac{\Psi T_1 \frac{\lambda}{e} + \psi t_1 \frac{\lambda}{e} + \Psi \psi t_1}{\Psi \frac{\lambda}{e} + \psi \frac{\lambda}{e} + \Psi \psi} \dots \dots \dots 16.$$

Schaltet man diesen Ausdruck für  $t$  in die Gleichung für  $W_1$  und bedenkt, daß  $W_1 = W_e$  = der Wärmemenge ist, welche durch die ebene Wand geführt wird, so erhält man

$$W_e = F \frac{T_1 - t_1}{\frac{1}{\Psi} + \frac{1}{\psi} + \frac{e}{\lambda}} \dots \dots \dots 17.$$

57.  
Trommelförm.  
Wände.

Für die Wärmemenge, welche durch eine trommelförmige Wand mit den Halbmessern  $r$  und  $R$  und der Länge  $l$  hindurchgeht, erhält man auf ähnlichem Wege:

$$W_c = 2 \pi l \frac{T_1 - t_1}{\frac{1}{\Psi R} + \frac{1}{\psi r} + \frac{1}{\lambda} \log. \text{ nat. } \frac{r}{R}} \dots \dots \dots 18.$$

Oben wurde vorausgesetzt, daß die Temperaturen  $T$ , bzw.  $T_1$  höhere seien, als die Temperaturen  $t$ , bzw.  $t_1$ . Dies geschah, um die Richtung der Wärmebewegung bequemer festzuhalten. Aus der Entwicklung und der Form der Endgleichungen geht nun zweifellos hervor, daß es gleichgiltig ist, ob man  $T$ , bzw.  $T_1$  oder  $t$ , bzw.  $t_1$  als wärmer annimmt; es müssen nur die zugehörigen anderen Werthe in richtiger Weise eingesetzt werden, also z. B. das  $R$  als zu  $T_1$ , das  $\psi$  als zu  $t_1$  gehörig behandelt werden. Uebrigens führt die Erwägung, daß die Erhöhung der Temperatur als positive, die Verminderung derselben als negative Temperaturänderung aufzufassen ist, zu demselben Ergebnis.

Die Formeln 13., 17. und 18. gewähren uns die Möglichkeit, in Verbindung mit denjenigen Gleichungen, welche zu ihrer Entwicklung führten, die unbekanntenen Temperaturen  $T$  und  $t$  zu berechnen. Für die kugelförmige Wand ist die betr. Formel unter 12., für die ebene Wand durch die Formel 16. sogar bereits gegeben.

Die letztere mag beispielsweise für die Berechnung der Oberflächentemperaturen einer Backsteinwand benutzt werden, welche von außen durch ( $T =$ )  $-20$  Grad kalter Luft lebhaft bepült wird, während die Innenseite mit Tapete bekleidet ist und ein auf ( $t_1 =$ )  $+20$  Grad geheiztes Zimmer begrenzt; die Dicke der Wand sei  $0,5$  m.

Alsdann ist  $\Psi$  für die Außenfläche, wegen  $s = 3,6$ ,  $T_1 - T$  (Schätzungsweise)  $= 10$ ,  $l = 6$ ,

$$\Psi = 3,6 (1 + 0,056) + 6 (1 + 0,075) = 10,25,$$

und  $\psi$  für die Innenfläche, wegen  $s = 3,8$  und  $l = 4$ ,

$$\psi = 8,3,$$

folglich nach Gleichung 16.

$$t = \frac{\Psi T_1 \frac{\lambda}{e} + \psi t_1 \frac{\lambda}{e} + \Psi \psi t_1}{\Psi \frac{\lambda}{e} + \psi \frac{\lambda}{e} + \Psi \psi} = \approx 14,8 \text{ Grad}$$

und eben so

$$T = \frac{\Psi T_1 \frac{\lambda}{e} + \psi t_1 \frac{\lambda}{e} + \Psi \psi T_1}{\Psi \frac{\lambda}{e} + \psi \frac{\lambda}{e} + \Psi \psi} = -15,8 \text{ Grad.}$$

Zur Prüfung der Rechnungsergebnisse berechnen wir nach Formel 17. die Wärmemenge, welche stündlich durch 1qm dieser Wand von + 20 Grad warmer in - 20 Grad kalter Luft übergeführt wird. Dieselbe ist:

$$W_e = 1 \cdot \frac{20 - (-20)}{\frac{1}{10,25} + \frac{1}{8,3} + \frac{0,5}{0,7}} = \approx 42,9 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Bei einem Temperaturunterschied von  $14,8 + 15,8 = 30,6$  Grad der beiden Oberflächen der Wand muß der Wärmedurchgang, da die Wand nur  $0,5$ m dick ist,

$$30,6 \cdot \frac{0,7}{0,5} = \approx 42,8 \text{ Wärmeeinheiten}$$

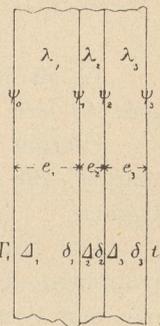
betragen. Beide Ergebnisse stimmen genügend genau mit einander überein.

Zur Berechnung der Wärmeüberführung mehrfacher Wände ist folgender Weg einzuschlagen.

58.  
Mehrfache  
Wände.

Fig. 42 sei der Durchschnitt einer dreifachen Wand, deren  $e_1$ ,  $e_2$  und  $e_3$  dicke Theile aus verschiedenen Stoffen bestehen. Die Ueberleitungs-Coefficienten seien  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ ,  $\psi_3$ , die Coefficienten der inneren Leitung  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , die Temperaturen der Oberflächen der Wandtheile  $\Delta$ , bzw.  $\delta$  mit dem entsprechenden Index, endlich die Temperaturen der die Wand von aussen befühlenden Luft  $T_1$ , bzw.  $t_1$ . Alsdann ist die durch die Wand übertragene Wärme:

Fig. 42.



$$W = F \lambda_1 \frac{\Delta_1 - \delta_1}{e_1} = F \lambda_2 \frac{\Delta_2 - \delta_2}{e_2} = F \lambda_3 \frac{\Delta_3 - \delta_3}{e_3} = \\ = F \psi_0 (T_1 - \Delta_1) = F \psi_1 (\delta_1 - \Delta_2) = F \psi_2 (\delta_2 - \Delta_3) = F \psi_3 (\delta_3 - t_1) \dots 19.$$

Aus diesen Gleichungen erhält man, indem man allmählich die drei Werthe der oberen Reihe mit denjenigen der zweiten Reihe, welche mit  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ , und  $\psi_3$  behaftet sind, vergleicht:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \Delta_1 - \frac{\psi_0 (T_1 - \Delta_1) e_1}{\lambda_1} \\ \delta_2 &= \Delta_2 - \frac{\psi_1 (\delta_1 - \Delta_2) e_2}{\lambda_2} \\ \delta_3 &= \Delta_3 - \frac{\psi_2 (\delta_2 - \Delta_3) e_3}{\lambda_3} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 20.$$

Ferner, wenn man den ersten Ausdruck der zweiten Reihe mit allen übrigen derselben Reihe vergleicht:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \Delta_2 + \frac{\psi_0}{\psi_1} (T_1 - \Delta_1) \\ \delta_2 &= \Delta_3 + \frac{\psi_0}{\psi_2} (T_1 - \Delta_1) \\ \delta_3 &= t_1 + \frac{\psi_0}{\psi_3} (T_1 - \Delta_1) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 21.$$

Berücksichtigt man nun, dafs nach 19.  $\psi_0 (T_1 - \Delta_1) = \psi_1 (\delta_1 - \Delta_2) = \psi_2 (\delta_2 - \Delta_3)$  ist, und setzt die Werthe  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  und  $\delta_3$  aus 20. und 21. gleich, so entsteht durch Addition:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_2 + \frac{\psi_0}{\psi_1} (T_1 - \Delta_1) &= \Delta_1 - \frac{\psi_0 (T_1 - \Delta_1) e_1}{\lambda_1} \\ \Delta_3 + \frac{\psi_0}{\psi_2} (T_1 - \Delta_1) &= \Delta_2 - \frac{\psi_0 (T_1 - \Delta_1) e_2}{\lambda_2} \\ t_1 + \frac{\psi_0}{\psi_3} (T_1 - \Delta_1) &= \Delta_3 - \frac{\psi_0 (T_1 - \Delta_1) e_3}{\lambda_3} \end{aligned} \right\} \dots \dots 22.$$

---


$$t_1 + \psi_0 (T_1 - \Delta_1) \left( \frac{1}{\psi_1} + \frac{1}{\psi_2} + \frac{1}{\psi_3} \right) = \Delta_1 - \psi_0 (T_1 - \Delta_1) \left( \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} \right)$$

Der bequemeren Rechnung halber sei vorübergehend:

$$\frac{1}{\psi_1} + \frac{1}{\psi_2} + \frac{1}{\psi_3} = \mathfrak{A} \quad \text{und} \quad \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} = \mathfrak{B}.$$

Durch Einsetzen dieser vorläufigen Werthe und geeignete Umformung erhält man aus der vorigen Summe

$$\Delta_1 = \frac{t_1 + T_1 \psi_0 \mathfrak{A} + T_1 \psi_0 \mathfrak{B}}{1 + \psi_0 \mathfrak{A} + \psi_0 \mathfrak{B}} \dots \dots \dots 23.$$

Der so gewonnene Ausdruck von  $\Delta_1$  wird in den Theil der Gleichung 19. eingesetzt, welcher lautet:

$$W = F \psi_0 (T_1 - \Delta_1),$$

wodurch dann ohne Schwierigkeiten erhalten wird:

$$W = F \frac{T_1 - t_1}{\frac{1}{\psi_0} + \frac{1}{\psi_1} + \frac{1}{\psi_2} + \frac{1}{\psi_3} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}} \dots \dots \dots 24.$$

Es ist leicht zu übersehen, in welcher Weise man den Ausdruck erweitern kann, so fern die Wand aus mehr als drei Schichten besteht.

Hiermit sind die erforderlichen Unterlagen für die Berechnung der Wärmemengen, die während des Beharrungszustandes durch Wände übergeführt werden, gegeben.

Der Factor, welcher mit der Flächengröße und dem Temperaturunterschied multiplicirt diese Wärmemenge liefert, hat eine recht unbequeme Form, weshalb man den Werth desselben für die gebräuchlichen Fälle ein für alle Male auszurechnen pflegt.

Man schreibt alsdann die Formeln 17. und 24.:

$$W = F (T_1 - t_1) k \dots \dots \dots 25.$$

so dafs  $k$  bedeutet:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\psi} + \frac{1}{\psi} + \frac{e}{\lambda}}, \quad \text{bezw.} \quad k = \frac{1}{\frac{1}{\psi_0} + \frac{1}{\psi_1} + \frac{1}{\psi_2} + \frac{1}{\psi_3} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}} \dots \dots \dots 26.$$

Es ist dieses Verfahren um so mehr zulässig, als in dem Ausdruck für  $\psi$  (Gleichung 5. auf S. 47) die mit  $s$  und  $l$  behafteten Theile von  $(t - t_1)$  nur eine unbedeutende Rolle spielen, so fern diese Temperaturunterschiede geringe sind.

Für eine Reihe einfacher lothrechter gemauerter Wände sind die zugehörigen, nach der hier angegebenen Rechnung gefundenen Werthe von  $k$  in der Spalte F.

59.  
Wärme-  
übertrag.-  
Coefficient.

der unter e. (S. 65) zusammengestellten Tabelle aufgeführt. Behuf des Vergleichs habe ich die von *Redtenbacher* angegebenen Zahlen in derselben Tabelle in der Spalte R. mit aufgeführt.

Zu der Tabelle ist noch anzuführen, daß die gebräuchlichen Mauerstärken, vermehrt um die Dicke des Putzes einer Seite, zu Grunde gelegt sind und angenommen wurde, daß Außenwände in Frage kommen. Scheidewände im Inneren der Häuser führen geringere Wärmemengen über, da beiderseitig ein kleineres  $l$  im Ausdruck für  $\psi$  (vergl. S. 47) in Frage kommt.

Lothrechte, in der Außenwand liegende Fenster haben (vergl. S. 48) ein  $\psi_a = 10,1$  und ein  $\psi_i = 10,5$ . Wird eine Wandstärke der Fensterscheiben von  $0,003$  m angenommen, so entsteht nach Formel 17., bezw. 26.:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{10,1} + \frac{1}{10,5} + \frac{0,003}{0,8}} = \frac{8484}{840 + 808 + 32}, \text{ oder } k = 5.$$

Aus dem Zahlenbeispiel geht zur Genüge hervor, daß das Glied  $\frac{e}{k}$ , welches sich auf die Wärmeleitung im Glase bezieht, genügend gegen die anderen Glieder verschwindet, um es vernachlässigen zu können. Die Dicke der Fensterscheiben ist hiernach für die Wärmeüberführung gleichgiltig.

*Redtenbacher* setzt dieses  $k = 3,66$ . So fern kräftige, breite hölzerne Fensterrahmen angewendet und diese mit als Fensterfläche behandelt werden, dürfte die Zahl  $3,66$  genügen; in anderen Fällen ist sie ungenügend. Für einfache Fenster in Scheidewänden, welche weder von verdichtetem Wasser bedeckt sein, noch von heftiger Windströmung bespült werden können, werden beide  $\psi = 7,4$  und damit gewinnt man  $k = 3,7$ .

Wagrechte Fenster (Oberlichter), welche von unten durch wärmere, von oben durch kältere Luft berührt werden, haben große Werthe von  $\psi$ , weil (vergl. S. 46) die unten abgekühlte Luft rasch wärmerer, die oben erwärmte Luft rasch kälterer Luft Platz macht. Es dürfte deshalb das  $l$  der Formel 5. zu 6 angenommen werden müssen, so daß, da Schweißbildung selten eintritt,  $\Psi = \psi = 10,7$  und  $k = 5,4$  wird.

Für hölzerne lothrechte Wände, Thüren u. dergl., welche mit Oelfarbe angefrichen sind und einseitig von heftigem Winde bespült werden, erhält man

$$\Psi = 10,25 \text{ und } \psi = 8,1,$$

somit folgende Werthe von  $k$ :

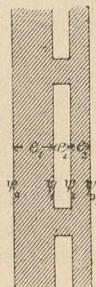
e in Met.	k (für 1 Stunde, 1 qm Fläche und 1 Grad Temperaturunterschied.)	
	Eichenholz.	Tannenholz.
0,02	2,92	2,24
0,04	2,2	1,5

Hierbei ist in Bezug auf Thüren zu bemerken, daß  $e$  die durchschnittliche Dicke derselben ist; diese ist gemeinlich kleiner, als das Maß, mit dem man die betreffende Thür bezeichnet.

Thüren der Scheidewände überführen selbstverständlich weniger Wärme, weil beide  $\psi = 8,1$  zu nehmen sind.

Andere loth- und wagrechte Constructionen, welche die Räume nach der Seite, nach oben und unten begrenzen, sind meistens aus mehreren Schichten zusammengesetzt. Von zusammengesetzten Wänden, Decken etc. sind namentlich diejenigen bemerkenswerth, welche eine oder mehrere Luftschichten enthalten.

Die Luftschichten lothrechter Wände erschweren den Wärmedurchgang weniger, als in gewissen, noch zu erörternden Fällen die wagrechten Luftschichten. Fig. 43 stelle den lothrechten Schnitt einer hohlen Wand dar. Es sei die linke Seite derselben gegen das Freie gerichtet, so daß  $\psi_0 = 10,25$  (vergl. S. 51) gesetzt werden kann;  $\psi_1$  und  $\psi_2$  gehören zu den Oberflächen, welche die Luftschicht berühren. Die letztere erwärmt sich an der einen Seite und wird an der anderen Seite abgekühlt, so daß eine Strömung innerhalb des Hohlraumes eintritt. Diese hängt, ihrer Entschiedenheit nach, von der Höhe und Weite des Hohlraumes ab; sie wird im Besonderen mit zunehmender Höhe des Hohlraumes wachsen. Vermöge dieser Strömung findet die Ueberleitung der Wärme von einer Fläche zur anderen weit rascher statt, als der Fall sein würde, wenn die Luft den Hohlraum ruhend ausfüllte.



60.  
Fenster  
und  
Oberlichter.

61.  
Holzwände  
u. Thüren.

62.  
Hohle  
Wände.

Fig. 43.

Da nun der denkbar größte Wärmedurchgang für den vorliegenden Zweck berechnet werden muß, so ist zu empfehlen, den Widerstand der Luftschicht gegen den Wärmedurchlaß ganz zu vernachlässigen, aber für  $l$  im Ausdruck für  $\psi$  den kleinsten Werth anzunehmen, so daß  $\psi_1 = \psi_2 = 6,6$  wird. Für die an das Zimmer grenzende Fläche war  $\psi_3$  früher (S. 51) zu 8,3 berechnet. Die Mauer sei aus Backsteinen hergestellt, so daß  $\lambda = 0,7$  ist, und es sei  $e_1 = e_3 = 0,25$  m. Hiernach berechnet sich

$$k = 0,82.$$

Ist nun noch  $e_2 = \frac{1}{2}$  Stein, so ist die Gesamtdicke der Mauer  $\approx 0,64$  m; für eine volle Mauer dieser Dicke ist nach der Tabelle auf S. 65  $k = 0,86$  gefunden. Die Anbringung eines solchen Hohlräumes erschwert fomit den Durchgang der Wärme, wenn auch nicht in hohem Maße.

Doppelte lothrechte Fenster bringen ein noch günstigeres Ergebnis hervor, obgleich auch bei ihnen der Widerstand, welchen die Luftschicht dem Wärmedurchgang entgegensetzt, vernachlässigt werden muß. Es ist dies die Folge der geringeren Temperaturunterschiede zwischen Glasfläche und Luft, die das Verdichten von Wasserdampf an der Oberfläche derselben in der Regel ausschließen. Man erhält für dieselben:

$$\psi_0 = 10,1, \quad \psi_1 = \psi_2 = 6,3, \quad \psi_3 = 7,4, \quad \text{sonach } k = 1,77,$$

statt  $k = 5$  für einfache Fenster.

Wagrecht hohle Einschließungs-Constructionen, wie hohle Decken etc., sind wieder in folche zu unterscheiden, welche an ihrer oberen Fläche von kälterer, an ihrer unteren Fläche von wärmerer Luft berührt werden, und in folche, bei denen das Umgekehrte stattfindet.

Der Deckendurchschnitt Fig. 44 gehöre zunächst der ersteren Art an. Die Luft, welche sich am Fußboden erwärmt, steigt empor, kälterer Luft Platz machend, so daß  $\psi_0 = 10$  genommen werden muß.

Der Wärmeübergang vom Sand in den Bretterfußboden kann nur durch Leitung stattfinden; die Leitung wird aber wegen der innigen Berührung sehr entschieden wirken, so daß für  $\psi_1$  die Zahl 10 als zutreffend zu bezeichnen sein dürfte. So fern geringe Spielräume vorhanden sind, wird Leitung und Strahlung gemeinschaftlich auftreten, wobei ebenfalls  $\psi_1 = 10$  entsteht.  $\psi_2$  wird, weil die sich an der Wellerung abkühlende Luft rasch

niederfällt und wärmerer Platz macht, ebenfalls groß ausfallen, wahrscheinlich = 10 sein.  $\psi_3, \psi_4$  und  $\psi_5$  verhalten sich eben so, wie  $\psi_0, \psi_1$  und  $\psi_2$ , so daß, da  $\lambda_1 = \lambda_4 = 0,1$  (Tannenholz),  $\lambda_2 = 0,27$  (Sand),  $\lambda_3$ , d. i. die Leitung der Luftschicht, wegen der Strömung derselben sehr groß, also der Widerstand derselben gegen die Ueberleitung von Wärme sehr gering ist, vernachlässigt werden kann, endlich  $\lambda_5 = 0,5$  (Gypsputz) ist, entsteht

$$k = \frac{1}{\frac{1}{10} 6 + \frac{0,035}{0,1} + \frac{0,15}{0,27} + \frac{0,02}{0,1} + \frac{0,015}{0,5}} = \approx 0,58.$$

Da, wo Balken sich befinden, ist  $k$  einfacher

$$k = \frac{1}{\frac{1}{10} 5 + \frac{0,035}{0,1} + \frac{0,2}{0,1} + \frac{0,02}{0,1} + \frac{0,015}{0,5}} = \approx 0,32;$$

folglich die durchschnittliche Wärmetüberführungszahl für eine derartige Decke

$$k_0 = \frac{0,58 (0,8 - 0,18) + 0,32 0,18}{0,8} = 0,5.$$

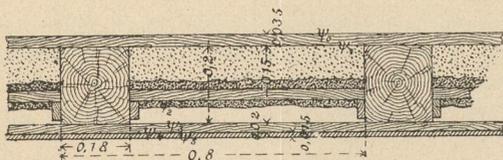
Ist dagegen unter der in Fig. 44 abgebildeten Decke die kältere, über derselben die wärmere Luft, dient die Decke z. B. zum Abschluß des Kellers gegen das beheizte Erdgeschoß, so erhält man zunächst für den gewellten Theil derselben aus nicht mehr zu erörternden Gründen  $\psi_0 = \psi_2 = \psi_3 = \psi_5 = 7$ ,  $\psi_1 = \psi_4 = 10$ ; außerdem ist die Luftschicht eine ruhende, so daß entsteht:

$$k = \frac{1}{3 \frac{1}{7} + 2 \frac{1}{10} + \frac{0,035 + 0,02}{0,1} + \frac{0,15}{0,27} + \frac{0,015}{0,5} + \frac{0,05}{0,04}} = 0,3.$$

$k$  ist also in diesem Falle fast nur halb so groß, als für dieselbe Stelle der Decke vorhin gefunden wurde. Es erhellt hieraus, daß Luftschichten in wagrechten Constructionen, welche oben von wärmerer, unten von kälterer Luft befüllt werden, von großem Werth sind, während sie im umgekehrten Falle als nahezu werthlos bezeichnet werden müssen.

Diejenigen Stellen, an denen sich Balken befinden, haben, da das  $\psi$  für die Fußbodenoberfläche und

Fig. 44.



dasjenige der Deckenunterfläche = 7 gefetzt werden mufs, ein  $k = 0,35$ . Das durchschnittliche  $k$  ist fonach

$$k = \frac{0,3 \cdot 0,62 + 0,35 \cdot 0,18}{0,8} = 0,31.$$

Die Kellerdecke (Fig. 45), welche von unten mit kälterer, von oben mit wärmerer Luft in Berührung steht und welche aus Backteingewölbe, Sandfüttung und tannem Fufsboden besteht, überführt für jeden Grad Temperaturunterschied, jedes Quadratmeter Fläche und jede Stunde

$$k = 0,71 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Nach den gegebenen Beispielen dürften die Wärmemengen, welche anders geardete Einfchließungsflächen überführen, leicht zu berechnen sein, so lange dieselben beiderseitig von Luft berührt werden.

Es ist jedoch noch darauf hinzuweisen, dafs für Dampf und Wasser erheblich gröfsere Werthe für  $\psi$  in Ansatz zu bringen sind, als für Luft. Wasser nimmt, vermöge seiner hohen specifischen Wärme, bei geringer Temperaturerhöhung schon verhältnismäfsig grofse Wärmemengen auf, so dafs der wahre Temperaturunterschied an der Berührungsfläche nur wenig von dem beobachteten abweicht. In Folge der Wärmeabgabe des Dampfes wird dieser zu Wasser verdichtet; vermag dieses rasch abzufliefsen, so bleibt der wahre Temperaturunterschied dem beobachteten fast genau gleich.

Der Luftgehalt des Wasserdampfes stört die Wärmeabgabe desselben, indem die Lufttheilchen sich selbstverständlich wie immer verhalten. Ein Gemisch von gleichen Raumtheilen Wasserdampf und Luft wird sich daher etwa zur Hälfte so verhalten, wie Luft, und zur anderen Hälfte, wie Dampf.

Genauere Zahlen sind jedoch für die einzelnen Werthe von  $\psi$  nicht bekannt; da Wasser sowohl als Dampf fast ausschliesslich mit Metallen in Berührung treten, und Angesichts der hohen Leitungsfähigkeit dieser die meistens geringe Wandstärke derselben unberücksichtigt bleiben kann, so sind unter e. (S. 66) lediglich die Coefficienten  $k$  angegeben.

Die Formel 25. und ihre Vorgängerinnen fetzen unveränderliche Temperaturen  $T_1$  und  $t_1$  voraus. Mit solchen läfst sich nicht immer rechnen, weil z. B. die eine Wandfläche berührende Luft an verschiedenen Stellen verschiedene Temperaturen hat. Behuf Gewinnung eines Anhaltes für die Berechnung mögen die drei — in

64.  
Dampf  
u. Wasser.

65.  
Veränderliche  
Temperatur.

Fig. 45.

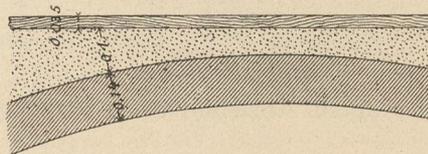


Fig. 46.

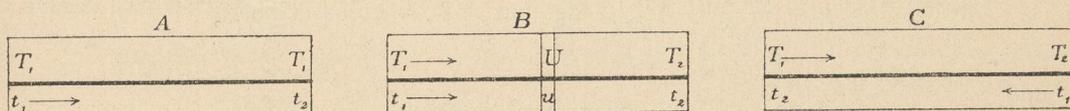


Fig. 46 unter A, B, C angeführten — möglichen Fälle näher betrachtet werden, dafs nämlich:

- die eine Flüssigkeit nur Nebenströmungen unterworfen ist, so dafs sie an der berührten Wand überall gleiche Temperatur besitzt, während die andere Flüssigkeit längs der festen Wand sich fortbewegt;
- beide Flüssigkeiten sich an der festen Wand entlang in gleicher Richtung bewegen (fog. Parallelströmung);
- beide Flüssigkeiten längs der festen Wand fliefsen, jedoch in entgegengesetzter Richtung (fog. Gegenströmung).

Es bezeichnen  $T_1$ , bezw.  $t_1$  die anfänglichen,  $T_2$ , bezw.  $t_2$  die Endtemperaturen der Flüssigkeiten;  $C$ , bezw.  $c$  die Wärmemengen, welche 1 kg der betr. Flüssigkeit um 1 Grad zu erwärmen vermögen;  $Q$ , bezw.  $q$  die Gewichte der stündlich längs der Wände strömenden Flüssigkeit;  $W$ ,  $F$  und  $k$  haben die bisherige Bedeutung. Zwei unendlich kurze Theile der beiden Ströme (Fig. 46 B) haben die unbekanntenen Temperaturen  $U$  und  $u$  und sind durch eine Flächengröße  $dF$  von einander geschieden.

Es ist alsdann die durch die Fläche  $dF$  übertragene Wärmemenge

$$dW = k \cdot dF (U - u) \dots \dots \dots 27.$$

In Folge dieser Wärmeüberführung verliert der  $U$  Grad warme Stromtheil diese Wärmemenge, während der gegenüberliegende Stromtheil sie aufnimmt, so daß

$$dW = -QC \cdot dU = qc \cdot du \dots \dots \dots 28.$$

wird, oder durch Integration

$$-QC U = qcu + \text{Const.} \dots \dots \dots 29.$$

Für  $U = T_1$  ist  $u = t_1$ , sonach:

$$-QC T_1 = qct_1 + \text{Const.} \dots \dots \dots 30.$$

oder durch Abziehen der Gleichung 30. von 29.:

$$QC \{T_1 - U\} = qc \{u - t_1\},$$

woraus ohne Weiteres abzuleiten ist:

$$u = \frac{QC}{qc} \{T_1 - U\} + t_1 \dots \dots \dots 31.$$

Aus der Gleichsetzung der Werthe von  $dW$  in 27. und 28. folgt:

$$k(U - u) dF = -QC \cdot dU \dots \dots \dots 32.$$

Führt man in die letzte Gleichung den Ausdruck für  $u$  aus Gleichung 31. ein, so erhält man, nach einigen Umformungen:

$$dF = -\frac{QC}{k} \frac{dU}{\left(1 + \frac{QC}{qc}\right) U - \frac{QC}{qc} T_1 - t_1}, \dots \dots \dots 33.$$

also:

$$F = -\frac{QC}{k} \frac{1}{1 + \frac{QC}{qc}} \log. \text{ nat.} \left\{ \left(1 + \frac{QC}{qc}\right) U - \frac{QC}{qc} T_1 - t_1 \right\} + \text{Const.} \dots 34.$$

Für  $U = T_1$  ist  $F = 0$ ; für  $U = T_2$  ist  $F = F_B$ ; sonach:

$$0 = -\frac{1}{k} \frac{QC}{1 + \frac{QC}{qc}} \log. \text{ nat.} \{T_1 - t_1\} + \text{Const.}$$

und

$$F_B = -\frac{1}{k} \frac{QC}{1 + \frac{QC}{qc}} \log. \text{ nat.} \left\{ T_2 - \frac{QC}{qc} (T_1 - T_2) - t_1 \right\} + \text{Const.}$$

oder nach Subtraction der Gleichungen

$$F_B = \frac{1}{k} \frac{QC}{1 + \frac{QC}{qc}} \log. \text{ nat.} \frac{T_1 - t_1}{T_2 - \frac{QC}{qc} (T_1 - T_2) - t_1} \dots \dots \dots 35.$$

Es ist aber, wie aus 28. abgeleitet werden kann, übrigens ohne Weiteres zu übersehen ist,

$$W = QC \{T_1 - T_2\} = qc (t_2 - t_1) \dots \dots \dots 36.$$

also

$$\frac{QC}{qc} = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2},$$

welche Werthe in 35. eingeführt den Ausdruck für den Parallelstrom liefern:

$$F_B = \frac{W}{k} \frac{\log. \text{ nat.} \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}}{\left\{ T_1 - T_2 + (t_2 - t_1) \right\}} \dots \dots \dots 37b.$$

Da in dem Fall  $A$  die Temperatur der mit den kleinen Buchstaben bezeichneten Flüssigkeit unverändert bleibt, so ist die Gleichung für diesen Fall sofort zu schreiben:

$$F_A = \frac{W}{k} \frac{\log. \text{ nat. } \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1}}{T_1 - T_2} \dots \dots \dots 37a.$$

Der dritte Fall, derjenige des sog. Gegenstromes, wird genau so behandelt, wie der zweite, unter Berücksichtigung der anderen Richtung. Man gelangt indeffen zu demselben Ergebnisse, wenn man bedenkt, daß beim Gegenstrom  $T_1$  dem  $t_2$  und  $T_2$  dem  $t_1$  gegenübersteht. Es ist die betreffende Gleichung:

$$F_C = \frac{W}{k} \frac{\log. \text{ nat. } \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}}{T_1 - T_2 - (t_1 - t_2)} \dots \dots \dots 37c.$$

Die Gleichung für den Werth des log. nat. ist nun:

$$\log. \text{ nat. } x = 2 \left( \frac{x-1}{x+1} + \frac{1}{3} \left[ \frac{x-1}{x+1} \right]^3 + \frac{1}{5} \left[ \frac{x-1}{x+1} \right]^5 + \dots \dots \right)$$

Verwendet man von dieser Reihe zur Umwandlung der Gleichungen 37. nur das erste Glied, was für kleine Werthe von  $x$  zulässig ist, so erhält man:

$$F_A = F_B = F_C = \frac{W}{k} \frac{1}{\frac{T_1 + T_2 - (t_1 + t_2)}{2}} = F \dots \dots 38.$$

oder

$$W = F \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2} \right) k; \dots \dots \dots 39.$$

d. h. die Wärmeüberführung ist proportional dem Unterschiede der mittleren Temperaturen.

Das zweite Glied der logarithmischen Reihe läßt jedoch Abweichungen erkennen; es beträgt

$$\text{für } A: \frac{1}{3} \frac{W}{k} \frac{1}{T_1 - T_2} \left\{ \frac{T_1 - T_2}{(T_1 + T_2) - (t_1 + t_2)} \right\}^3 \dots \dots \dots 40a.$$

$$\text{für } B: \frac{1}{3} \frac{W}{k} \frac{1}{(T_1 - T_2) + (t_2 - t_1)} \left\{ \frac{(T_1 - T_2) - (t_1 - t_2)}{(T_1 + T_2) - (t_1 + t_2)} \right\}^3 \dots \dots \dots 40b.$$

$$\text{für } C: \frac{1}{3} \frac{W}{k} \frac{1}{(T_1 - T_2) + (t_2 - t_1)} \left\{ \frac{(T_1 - T_2) + (t_1 - t_2)}{(T_1 + T_2) - (t_1 + t_2)} \right\}^3 \dots \dots \dots 40c.$$

Man sieht, daß die vor den großen Klammern stehenden Ausdrücke einander gleich sind. Dasselbe ist der Fall mit den Nennern innerhalb der großen Klammern; ein Unterschied ist nur bezüglich der Zähler vorhanden. Der Ausdruck  $t_1 - t_2$  ist nun immer negativ; folglich muß der Zähler, zu welchem derselbe addirt wird, kleiner, derjenige aber, von welchem er subtrahirt wird, größer werden, und endlich derjenige, in welchem der Ausdruck  $t_1 - t_2$  gar nicht vorkommt, seiner Größe nach mitten zwischen beiden ersteren liegen. Bei gleichem  $W$  und  $k$ , so wie  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $t_1$  und  $t_2$  wird sonach  $F_C$  am kleinsten,  $F_B$  am größten, während  $F_A$  den Mittelwerth besitzt. Man macht hiervon Gebrauch bei Bestimmung der Heizflächen, so fern  $t_1 - t_2$  groß ist.

Die Ausdrücke 40a., 40b., und 40c. gewähren auch einen sichereren Ueberblick über die Zulässigkeit der Anwendung der Formeln 38. und 39. Benutzt man diese, so vernachlässigt man das zweite Glied und alle folgenden Glieder. Da in den folgenden Gliedern nur der Exponent der großen Klammer sich ändert, so

ist mit Hilfe von  $40_a$ , bezw.  $40_b$ , oder  $40_c$ , in jedem einzelnen Falle der Fehler, dessen man sich durch Gebrauch von 38., bezw. 39. schuldig macht, genau zu bestimmen.

Im Allgemeinen ist dieser Fehler am grössten bei dem Fall  $B$ , am kleinsten bei  $C$ ;  $A$  liegt auch in dieser Beziehung zwischen jenen beiden. Ferner wächst der in Rede stehende Fehler, wenn auch nicht im geraden Verhältniss, mit der Differenz  $T_1 - T_2$  und der Summe  $t_1 + t_2$ .

66.  
Uebene  
Wände.

Wenn bei Berechnung der Beispiele ausschliesslich schlichte Wände mit gleich laufenden Oberflächen angenommen wurden, so ist noch zu erörtern, wie bei nicht ebenen Wänden und Decken, so wie wechselnden Wandstärken zu verfahren ist.

Je reicher die Gliederung einer Wand, bezw. einer Decke ist, um so grösser wird die wärmeüberführende Fläche. Da die Berechnung des Einflusses der einzelnen Gliederungstheile unmöglich, mindestens aber zu umständlich fein würde, so vernachlässigt man die ausserhalb der eigentlichen Wand-, bezw. Deckenfläche liegenden Flächen sowohl, als auch den Leitungswiderstand der zugehörigen Dicken. Bei besonders reicher Gliederung dürfte ausserdem ein schätzungsweise festzustellender Zuschlag zu dem berechneten  $k$  erforderlich werden.

Bei gebogenen oder Ecken bildenden Wänden und Decken wählt man für  $F$  diejenige Fläche, welche etwa das Mittel zwischen den beiden Begrenzungsflächen der Wände bildet. In der Regel sind die Dicken der Wände und Decken gegenüber der Flächenausdehnung derselben so gering, dass ein nennenswerther Fehler durch dieses Verfahren nicht entstehen kann. In zweifelhaften Fällen wird man, da die gesammte Rechnung den Zweck hat, die grösste etwa eintretende Wärmeabfuhr zu bestimmen, reichlicher greifen, um sicher zu sein, dass nicht zu wenig in Rechnung gestellt wurde.

67.  
Anzunehmende  
Temperaturen.

Auch die Grösse der anzunehmenden Temperaturen bedarf einer Auseinandersetzung.

Die Temperatur im Freien kann nur erfragt werden; in den Städten pflegt dieselbe 1 bis 3 Grad hinter derjenigen des freien Feldes zurückzubleiben, weil die von den Häusern abgegebene Wärme die Strassen gleichsam heizt.

Die Temperatur der geschlossenen Räume benennt man gemeiniglich nach derjenigen, welche in Kopfhöhe herrschen soll. Auf S. 66 sind einige Angaben über die gebräuchlichen Temperaturen zusammengestellt.

Diese Temperaturen dürfen indess nicht unmittelbar zur Berechnung der Wärmeüberführung verwendet werden, indem dieselben, wie schon erwähnt, in Kopfhöhe gemessen, keineswegs aber gleichmässig im ganzen Raume vorhanden sind. Beheizt man den betr. Raum mittels solcher Flächen, welche in dem Raume selbst aufgestellt sind, oder mittels solcher, die in einer besonderen Heizkammer sich befinden, so ist immer die Luft die Trägerin der Wärme, so weit von der unmittelbaren Wärmestrahlung der Heizflächen gegen den menschlichen Körper abgekehrt wird. Die an den Heizflächen erwärmte Luft steigt, ihres geringeren Gewichtes halber, sofort nach oben und breitet sich unter der Decke des Raumes aus. Hier giebt sie einen Theil ihrer Wärme ab, nämlich denjenigen, welcher durch die Decke verloren geht. In dem Masse, wie die Luft vom Fussboden abgesaugt wird, sei es zu abermaliger Erwärmung, sei es zur Beseitigung der Luft, sinken die wärmeren Luftschichten nach unten. Sie geben unterwegs einen ferneren Theil ihrer Wärme ab, nämlich denjenigen, welcher durch die lothrechten Wände des Raumes verloren geht. Unten angekommen, findet die letzte Abkühlung der Luft statt, nämlich durch den Fussboden. Die höchste Temperatur muss somit unter der Decke

vorhanden sein, während die niedrigste unmittelbar über dem Fußboden gefunden werden wird. Die in den verschiedenen Höhen herrschenden Temperaturen können für den Beharrungszustand berechnet werden, so fern man vorher die Wärmemengen bestimmt hat, welche für 1 Grad Temperaturunterschied zwischen den Innen- und Außenflächen der Wände übergeführt werden.

Um den Rahmen dieses »Handbuches« nicht zu sehr auszudehnen, will ich hier eine solche Rechnung nicht durchführen, mich vielmehr darauf beschränken, einige beobachtete Temperaturen anzugeben.

In meinem Arbeitszimmer machte ich Beobachtungen, als das im Freien aufgehängte Thermometer + 8 Grad und als dasselbe — 13 Grad zeigte. Es ergaben sich die in Fig. 47 und 48 eingeschriebenen Temperaturen.

Sie bekunden in Zahlen zunächst, was allerdings bekannt ist, daß in der Nähe der Decke eine wesentlich höhere Temperatur herrscht, als in der Höhe, in welcher die Temperaturen abgelesen zu werden pflegen. Sonach muß für die Temperatur der die Decke berührenden Luft eine entsprechend größere Zahl in Ansatz gebracht werden, als für die Kopfhöhe vorgeschrieben wurde. Wie viel höher die in Rede stehende Temperatur ist, kann genau nur in jedem einzelnen Falle bestimmt werden. Annähernd kann dieselbe bestimmt werden durch die Temperatur der einströmenden warmen Luft, da die durchschnittliche Temperatur unter der Decke etwas niedriger sein muß, als diejenige der Heizluft. Man wird daher die Temperatur der letzteren, nicht aber diejenige des Zimmers in Rechnung setzen, und zwar unter Abstrich eines Theiles derselben, der abhängig ist von der Art der Zuführung und dem Wärmeübertragungsvermögen der Decke. Eine Decke, welche viel Wärme zu übertragen vermag, entzieht der Luft mehr Wärme, als eine sorgfältig ausgeführte. Dem entsprechend wird erstere eine niedrigere durchschnittliche Temperatur der die Decke befüllenden Luft veranlassen, als letztere.

Im Durchschnitt dürfte die Temperatur in der Nähe der Decke 5 bis 15 Grad niedriger sein, als diejenige der Heizluft. Bei Wahl der Zahlen zwischen 5 und 15 Grad ist die Höhenlage der Luftzuführungsöffnung zu beachten. So fern die Heizluft in einiger Entfernung von der Decke oder gar unmittelbar über dem Fußboden zu der Zimmerluft tritt, verliert sie einen Theil ihrer Wärme an diese, während sie emporsteigt. Bei besonders hohen Räumen geringer wagrechter Ausdehnung und geschickter Vertheilung der Luft-Ausfrömmungs-, so wie Abfrömmungsöffnungen ist fogar die Temperatur der Luft an der Decke oft wesentlich niedriger, als am Fußboden.

Im Durchschnitt dürfte die Temperatur in der Nähe der Decke 5 bis 15 Grad niedriger sein, als diejenige der Heizluft. Bei Wahl der Zahlen zwischen 5 und 15 Grad ist die Höhenlage der Luftzuführungsöffnung zu beachten. So fern die Heizluft in einiger Entfernung von der Decke oder gar unmittelbar über dem Fußboden zu der Zimmerluft tritt, verliert sie einen Theil ihrer Wärme an diese, während sie emporsteigt. Bei besonders hohen Räumen geringer wagrechter Ausdehnung und geschickter Vertheilung der Luft-Ausfrömmungs-, so wie Abfrömmungsöffnungen ist fogar die Temperatur der Luft an der Decke oft wesentlich niedriger, als am Fußboden.

Berechnet man die durchschnittliche Innentemperatur der lothrechten Wand (Fig. 48), indem man annimmt, daß die Begrenzungscurve ihre Richtung bis an die Decke und den Fußboden beibehält und zwischen zwei benachbarten Punkten gerade ist, so entsteht:

$$\frac{43,5 + 41}{2} 0,27 + \frac{41 + 25}{2} 1,8 + \frac{25 + 19}{2} 0,9 + \frac{19 + 15,2}{2} 1,4 + \frac{15,2 + 15}{2} 0,1 = 26 \text{ Grad.}$$

Sonach ist die durchschnittliche Temperatur nicht unbedeutend höher, als diejenige in Kopfhöhe, welche etwa 20 Grad war. Hieraus geht hervor, daß die für die Wärmeüberführung der Wände in Rechnung zu setzende Temperatur höher ist, als diejenige, welche man zu nennen pflegt. Der Unterschied wird um so größer sein müssen, je höher der beheizte Raum ist, indem die feste Höhe von etwa 1,8<sup>m</sup>

Fig. 47.

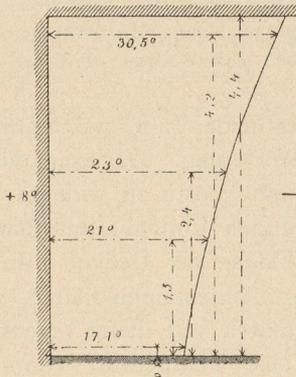
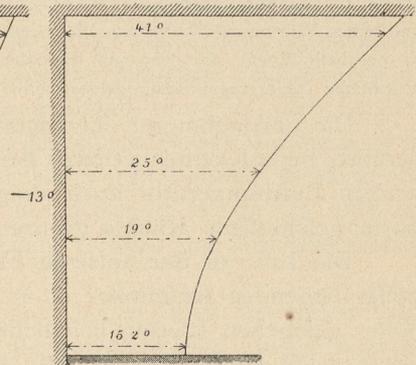


Fig. 48.



immer von dem unteren Ende der Curve gemessen wird. Derselbe wächst ferner mit der Fähigkeit der lothrechten Wände, Wärme zu übertragen, da hierdurch der Verlauf der Curve bedingt ist.

Endlich ist zu beachten, daß der Unterschied der Temperaturen in verschiedenen hohen Schichten mit der Temperatur der Heizluft wächst. Man wird daher eine um so gleichmäßigere Temperatur erzielen, je niedriger die Temperatur der Heizluft ist.

Ich erwähnte schon, daß man im Stande ist, die Curve durch Rechnung festzustellen; in der Regel begnügt man sich jedoch mit einem Zuschlag, welcher bei 3<sup>m</sup> Zimmerhöhe = 0, für jedes überschiefsende Meter derselben 5 bis 15 Procent beträgt.

Bei Zusammenstellung der Einzelbeobachtungen zu der in Fig. 48 gegebenen Curve fiel mir auf, daß die untere Temperatur eigentlich niedriger sein müßte. Nach einigem Nachdenken ergab sich jedoch die Ursache der Abweichung von dem Erwarteten: der unter meinem Zimmer befindliche Raum war geheizt; somit wurde meinem Zimmer diejenige Wärme durch den Fußboden zugeführt, welche das unter mir befindliche Zimmer durch die Decke verlor. In diesem besonderen Falle brachte somit der Fußboden statt eines Wärmeverlustes einen Wärmegewinn hervor. Es dürfte gerechtfertigt sein, diesen Wärmegewinn zu berücksichtigen, so fern eine Sicherheit dafür vorliegt, daß der unter einem in Frage kommenden befindliche Raum regelmäßig geheizt wird.

Die anzunehmende Temperatur der Luft, welche die Außenwände eines Hauses berührt, bedarf keiner weiteren Erörterung. Dagegen dürfte es nothwendig sein, derjenigen Lufttemperatur noch einige Worte zu widmen, welche an den an benachbarte geschlossene Räume grenzenden Einschließungsflächen herrscht.

Die Luft an der äußeren Fläche der Decke, also dem Fußboden des nächst höher liegenden Geschosses ist im Allgemeinen kälter, als die Luft, welche in dem höher gelegenen Raume sich befindet. Ist dieser regelmäßig beheizt, so wird man — je nach Umständen — auf eine Temperatur von +10 bis +16 Grad rechnen können; ist derselbe nicht beheizt, so sinkt die Lufttemperatur desselben nicht selten unter 0 Grad; ich habe auf einem Dachboden, bei -17 Grad Temperatur des Freien über dem Fußboden desselben -6½ Grad gemessen. Der Temperatur des Freien ist die in Rede stehende Lufttemperatur niemals gleich zu setzen, da diejenige Wärme, welche die Decke überträgt, zur Erwärmung der Luft dient. Das Gleiche gilt von den Temperaturen an den lothrechten Wänden benachbarter Räume. Auch hier dient selbstverständlich die übergeführte Wärme zur Erwärmung dieser Räume. Lediglich die genaue Kenntniß der örtlichen Verhältnisse und der gebräuchlichen Benutzung der in Frage kommenden Räume befähigt, die zutreffenden Werthe zu wählen.

Wenn die benachbarten Räume in unregelmäßiger Weise beheizt werden, so muß man selbstverständlich den Wärmebedarf jedes einzelnen Zimmers nach den ungünstigsten Umständen berechnen; vollständig falsch würde es aber sein, die so für die einzelnen Zimmer gefundenen Wärmerefordernisse einfach zu addiren, um die Wärmemenge, welche von den gemeinschaftlichen Feuerungen frei gemacht werden müssen, zu bestimmen. Vielmehr sind für diesen Zweck die ganzen Gebäude oder Theile derselben als von ihren äußeren Einschließungsflächen begrenzte Räume aufzufassen.

In den vorliegenden Erörterungen ist meistens nur der regelmäßige Fall ins Auge gefaßt, daß die Temperatur des Freien niedriger ist, als diejenige, welche man in den geschlossenen Räumen haben will. Es dürfte in denjenigen Fällen, in denen der künstlichen Kühlung nicht besonders gedacht ist, leicht zu erkennen sein,

in welcher Richtung sich die Vorgänge verschieben, so fern die Temperatur der geschlossenen Räume geringer sein soll, als diejenige des Freien. Bisher sind über die künstliche Kühlung noch so wenige Erfahrungen gemacht, daß bezügliche Zahlenwerthe nur durch Speculation gewonnen werden können. Ich enthalte mich deshalb der Angabe solcher Zahlen.

#### d. Wärmespeicherung in Wänden und anderen Körpern.

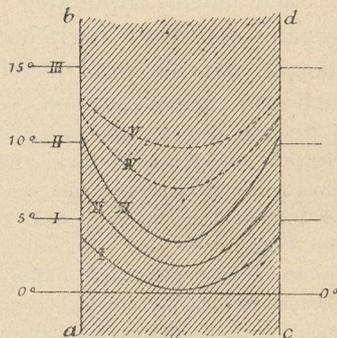
Die bisherigen Besprechungen des Wärmeaustausches durch Wände bezogen sich ausschließlich auf den Beharrungszustand des Heizens. Dieser Beharrungszustand ist zunächst zu schaffen, sodann die Temperatur der Wände zu derjenigen zu machen, welche die früher (S. 50) gegebenen Rechnungen lieferten. Man wird je nach Umständen die vorhandenen Temperaturen der den Raum einschließenden Flächen erhöhen oder vermindern müssen, um zum Beharrungszustande zu gelangen. Auch andere in dem betreffenden Raum vorhandene Körper beanspruchen in dieser Hinsicht unsere Aufmerksamkeit, indem auch diese, je nachdem ihre Temperatur eine niedrigere oder höhere ist, als die verlangte Lufttemperatur, Wärme aufnehmen oder abgeben. Hierher gehören Möbel und vor allen Dingen Pfeiler und andere Freistützen. Die Bestimmung der auszuwechselnden Wärmemengen ist leicht, wenn die spezifische Wärme der Körper und deren Gewicht bekannt ist. Indessen hat die Kenntniß dieser Wärmemengen nur geringen Werth, so fern unbekannt ist, innerhalb welcher Zeit und nach welchem Gesetze der Wärmeaustausch stattfindet.

Fig. 49 mag Gelegenheit zu näherer Darlegung des in Rede stehenden Vorganges bieten. *ab* und *cd* seien die lothrechten Begrenzungslinien einer Freistütze von kreisrundem Querschnitt. Von der Wagrechten *oo* ab sollen die Temperaturen auf lothrechten Linien abgetragen und deren Endpunkte durch Linien verbunden werden. Man gewinnt auf diese Weise ein übersichtliches Bild der Temperaturen. Es sei ferner seit sehr langer Zeit die Temperatur der Luft, welche die Freistütze umgiebt, unverändert gleich 0 Grad gewesen, so daß die gerade Linie *oo* den Anfangszustand bezeichnet, d. h. sowohl in der umgebenden Luft, als auch in der Stütze die Temperatur von 0 Grad herrscht. Erwärmt man nunmehr die Luft, so entsteht ein Temperaturunterschied zwischen derselben und der Oberfläche der Freistütze, vermöge dessen eine entsprechende Wärmemenge in die Stütze abfließt. Diese vertheilt sich aber nicht sofort auf den ganzen Querschnitt der Freistütze, sondern dient vorzugsweise zur Erwärmung desjenigen Theiles, welcher in der Nähe der Oberfläche sich befindet. Man kann sich vorstellen, daß, nachdem die Temperatur der Luft auf 5 Grad gestiegen ist, die Temperaturen im Inneren der Freistütze durch die Curve I wiedergegeben werden. In derselben Weise gehört die Curve II zu der Lufttemperatur 10 Grad etc. Bei 15 Grad Lufttemperatur bleibe man beispielsweise stehen; alsdann erhöht sich die Temperatur der Stützenoberfläche nur noch langsam, während der Erwärmungsvorgang im Inneren der Stütze verhältnißmäßig rascher fortschreitet, in dem Sinne, welchen die Curven IV und V an-

68.  
Wärme-  
aufspeicherung

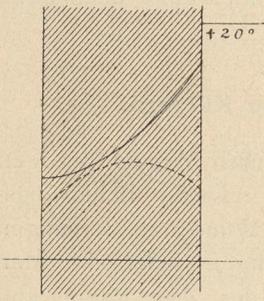
69.  
Frei-  
stützen.

Fig. 49.



deuten. Die Geschwindigkeit der Erwärmung nimmt mit den Temperaturunterschieden ab, so daß genau genommen erst nach unendlich langer Zeit die Temperatur der Freistütze gleich derjenigen der Luft sein kann. Ist die Stütze erwärmt und sinkt wegen Einstellung des Heizens die Temperatur der umgebenden Luft, so fließt die Wärme der Freistütze der Luft zu, erwärmt sie sonach mehr oder weniger. Die betreffende Wärmemenge wird zunächst denjenigen Theilen der Stütze entnommen, welche in der Nähe der Oberfläche derselben sich befinden; erst allmählich bewegt sich, des Leitungswiderstandes halber, die Wärme des Stützeninneren nach außen, so daß dieselben Curven entstehen, welche Fig. 49 erkennen läßt, nur in umgekehrter Lage. Beispielsweise würden in einer Wand, in welcher die Temperaturvertheilung des Heizungs-Beharrungszustandes durch die ausgezogene Linie der Fig. 50 dargestellt ist, nach längerer Einstellung des Heizens die Temperaturen durch die punktirte Linie sich wiedergeben lassen.

Fig. 50.



70.  
Bestimmung  
der aus-  
getauschten  
Wärmemengen.

Aus dem fortwährenden Wechsel der äußeren Temperaturen geht nun hervor, daß der Beharrungszustand selbst bei ununterbrochener Beheizung niemals erreicht wird, derselbe aber noch mehr zur Unmöglichkeit wird, wenn — wie in der Regel — zeitweise nicht geheizt wird. Billigerweise sollte man deshalb behuf Bestimmung der ausgetauschten Wärmemengen niemals vom Beharrungszustande ausgehen, sondern diejenigen Vorgänge zu Grunde legen, welche soeben kurz besprochen wurden. Indes ist bisher noch keine wirklich brauchbare analytische Form für die in Rede stehenden Vorgänge gefunden<sup>22)</sup>; sollte sie jedoch gefunden werden, so würde ihre Anwendung schwierig bleiben, da die Erwärmungszustände der Wände und Decken abhängig sind von den Temperaturverhältnissen des Freien, welche vor einem zu betrachtenden Zeitpunkte, und zwar oft innerhalb mehrerer diesem Zeitpunkte vorangegangenen Tage herrschten. Diese sind von so vielen anderen Umständen abhängig, daß sie wohl niemals in einer Formel ausgedrückt werden können.

Zur Erläuterung dessen mache ich auf Grenzfälle aufmerksam. Es soll eine Kirche bei 0 Grad Temperatur auf 12 Grad erwärmt werden. Vorher herrschte eine sehr niedrige Temperatur, welche vielleicht zwischen — 17 und — 22 Grad schwankte. Es wird deshalb die erforderliche Wärmemenge sehr groß sein und keineswegs mit der z. Z. herrschenden Temperatur dagegen eine milde, an dem in Frage kommenden Tage jedoch eine sehr niedrige, so wird man, im Verhältniß zu letzterer, wenig Wärme bedürfen. In den beiden genannten Fällen ist die Sachlage noch einigermaßen zu übersehen. Ist dagegen die Temperatur der Vortage nicht von erheblichen Wechseln frei gewesen, so wird Niemand im Stande sein, auch nur annähernd zu schätzen, welche Wärmemengen zum Anheizen erforderlich sind.

Hierzu kommt noch ein Einfluß, welcher meines Wissens bisher vollständig übersehen wurde, nämlich derjenige, welcher aus den Feuchtigkeitsverhältnissen der Wände entspringt. Je feuchter die Luft, um so mehr Feuchtigkeit wird sich in den umgebenden Wänden ansammeln, namentlich, wenn dieselben kälter sind als die Luft. Die Menge der Feuchtigkeit hängt ferner in hohem Maße von der Natur der Wände ab. In Folge einer stattfindenden Erwärmung der Wände wird eine gewisse Menge des in Rede stehenden Wassers verdampft und hierzu oft erhebliche Wärme verbraucht. Wer will diese Wärmemengen berechnen?

<sup>22)</sup> REDTENBACHER, F. Der Maschinenbau. Bd. II. München 1863. S. 397 u. ff. — FERRINI, R. Technologie der Wärme. Deutsch von M. SCHRÖTER. Jena 1878. S. 341 u. ff.

Da die vorliegende Aufgabe vorwiegend auf Bestimmung des größten Wärmebedarfs gerichtet ist, so findet sich ein praktischer Weg zur Lösung derselben.

Zunächst lassen sich die äußersten Grenzen des Wärmebedarfs bestimmen.

Die untere derselben ist ohne Weiteres gegeben. Führt man einem Raume mehr Wärme zu, als durch die Einschließungswände abgeleitet wird, so wird der Ueberschufs zur Erwärmung der Massen dienen, also ein Anheizen, ein allmähliches Nähern zum gedachten Beharrungszustande stattfinden. Die Luft giebt hierbei mehr Wärme an Wände, Freistützen, Möbel etc. ab, als jener Ueberschufs beträgt; sie wird deshalb längere Zeit eine niedrigere, als die gewünschte Temperatur besitzen; dieselbe steigt aber regelmäfsig bis zur verlangten Höhe. Hier ist uns lediglich unbekannt, innerhalb welcher Zeit die geforderte Lufttemperatur erreicht werden wird.

Die obere Grenze entspringt dem Verlangen, gleichsam auf der Stelle die in Aussicht genommene Lufttemperatur zu erlangen. Da die Erwärmung der Luft des Raumes nur wenig Wärme verlangt — jedes Kilogramm für jeden Grad der Temperaturerhöhung 0,2377 Einheiten, also jedes Cubikmeter etwa 0,29 Einheiten — so kann die hierfür erforderliche Wärme vernachlässigt werden. Es handelt sich sonach nur um diejenige Wärme, welche in die Oberflächen der Wände eintritt. Aus dem Früheren ist bekannt, dafs der Ausdruck  $\psi$  (Art. 53, S. 47) diejenige Wärmemenge bezeichnet, welche für 1 Grad Temperaturunterschied zwischen Wandfläche und Luft stündlich von diesen ausgetauscht wird. Ist somit die Oberflächentemperatur ermittelt, so ist die Berechnung der in Rede stehenden Wärme sehr einfach. Das letztere Rechnungsverfahren liefert einen gröfseren Wärmebedarf, als das erstere. Je nachdem man in kürzerer oder längerer Zeit die verlangte Lufttemperatur erreichen will, wird man sich mehr dem einen oder dem anderen Grenzwerte des Wärmebedarfs nähern.

Um Fehlschlüssen vorzubeugen, mufs ich nochmals auf die Wärmevertheilung aufmerksam machen, welche schon in Art. 67, S. 58 besprochen wurde.

In Folge der grofsen Wärmeaufnahmefähigkeit der Wände ist diejenige Wärmemenge, welche der Luft auf dem Wege zwischen der Decke und dem Fußboden entzogen wird, somit auch der Temperaturunterschied zwischen den höher und den tiefer gelegenen Punkten eines Raumes verhältnismäfsig gröfser. Je rascher man anzuheizen bestrebt ist, um so gröfser wird, unter sonst gleichen Verhältnissen, jener Unterschied, d. h. man wird während des Anheizens in höherem Grade das Gefühl zu hoher Temperatur am Kopf und zu niedriger an den Füfsen haben, als während des Beharrungszustandes. Je mehr Wasser die Wände aufzufaugen vermögen, um so empfindlicher wird der genannte Uebelstand sein. Daher ist ein allmähliches Anheizen für die Behaglichkeit eines Raumes unbedingtes Erfordernifs, obgleich dasselbe mehr Wärme erfordert, als plötzliches Anheizen, da der Raum bis zu Erreichung der gewünschten Lufttemperatur als unbenutzbar bezeichnet werden mufs und trotzdem bis zu dieser Zeit eine gewisse Wärmemenge an das Freie abführt.

Unter Berücksichtigung der genannten Umstände pflegt man für Räume, welche ununterbrochen beheizt werden, lediglich die Wärmemengen in Ansatz zu bringen, welche oben näher angegeben wurden. Bei Räumen, welche nur am Tage beheizt werden, macht man für das Anheizen einen Zuschlag von 10 bis 25 Procent, welcher bei gröfseren Unterbrechungen des Heizens wohl auf 50 Procent gesteigert wird.

71.  
Grenzen  
des  
Wärmebedarfs.

72.  
Wärmebedarf.

Die für die Beheizung (christlicher) Kirchen erforderliche Wärme sollte nicht auf diesem Wege bestimmt werden. Diese werden in der Regel nur Sonntags beheizt, so daß das Beheizen vorwiegend in dem Anheizen besteht. Ich habe früher zahlreiche Kirchenheizungen auszuführen gehabt, wobei das folgende Verfahren der Wärmeberechnung zufriedenstellende Ergebnisse lieferte.

Zunächst berechnet man, in der früher besprochenen Weise, diejenige Wärmemenge, welche im Beharrungszustande durch die Wandungen des Raumes abgeführt werden würden, und macht einen Zuschlag von etwa 50 Procent. Alsdann nimmt man an, daß eine Schicht derselben von gewisser Dicke — ich habe 12 bis 15 cm gewählt — innerhalb der geplanten Anheizdauer (6 bis 10 Stunden) auf die volle Temperatur der Luft gebracht werde, während der Rest der Wände, auch der Freistützen, überhaupt nicht erwärmt werde, vertheilt die berechnete Wärmemenge auf die Stunden des Anheizens und zählt die von Fenstern und Thüren überführte Wärme hinzu. Das gröfsere Ergebnis, welches diese beiden Rechnungen liefern, betrachtet man als maßgebend.

Die folgende Tabelle enthält einige Angaben über die Wärme, welche 1 kg des betr. Stoffes für 1 Grad Temperatursteigerung verlangt, das Eigengewicht des Stoffes und endlich die Wärmemenge, welche 1 cbm des Stoffes für 1 Grad Temperaturerhöhung verlangt, in abgerundeten Zahlen.

Stoffe.	Eigengewicht pro 1 cbm des Stoffes.	Wärmemenge, welche für 1 Grad Temperaturerhöhung erforderlich ist,	
		pro 1 kg	pro 1 cbm des Stoffes
Wasser . . . . .	1000	1	1000
Eisen . . . . .	7500 bis 7800	0,11 bis 0,13	825 bis 1000
Eis . . . . .	920	0,9	828
Kupfer . . . . .	8600 bis 9000	0,09	770 bis 800
Kalkstein . . . . .	2500 » 2800	0,2	500 » 560
Glas . . . . .	2500 » 2900	0,18	450 » 520
Backsteine . . . . .	1400 » 2300	0,19 bis 0,24	270 » 500
Steingut . . . . .	2300 » 2500	0,12	270 » 300
Holz (trocken) . . . . .	450 » 660	0,5 bis 0,58	230 » 380
Coke . . . . .	1400	0,2	280
Atmosphärische Luft (0 Grad) . . . . .	1,29	0,238	0,3
	Kilogr.	Wärmeeinheiten.	

Aus dieser Tabelle geht die bemerkenswerthe Thatfache hervor, daß zwar die spezifische Wärme der Backsteine und diejenige der Kalksteine fast gleich sind, so fern dieselbe auf die Gewichtseinheit bezogen wird, dagegen letztere für gleichen Raum bei Weitem mehr Wärme für eine gleiche Temperaturerhöhung beanspruchen, als erstere. Aus dem Schwanken der einzelnen Werthe folgt ferner, daß für eine Zahl von Stoffen eine genaue Rechnung erst dann möglich ist, wenn man die spezifische Wärme des gerade in Frage kommenden Stoffes vorher bestimmt.

Diejenige Wärmemenge, welche während des Anheizens zur Erwärmung der Wände etc. benutzt wurde, wird nach dem Aufhören des Heizens theilweise an die Luft des betreffenden Raumes wieder zurückgegeben, wie schon angedeutet wurde. Eine Verwerthung dieser Thatfache findet nur in so fern statt, als man die Heizung schon während der Benutzung des Raumes einzustellen vermag. Der geeignete Zeitpunkt hierfür wird durch nachherige Erfahrung bestimmt; derselbe ist ohne Einfluß auf die Anlage, braucht deshalb in dieser Richtung hier nicht erörtert zu werden.

Von Wichtigkeit ist dagegen der Abkühlungsvorgang, so fern man den betreffenden Raum künstlich zu kühlen gedenkt. Alsdann handelt es sich offenbar um dieselben Vorgänge, welche bei dem Anheizen besprochen wurden; nur ist die Richtung gegenüber dem Anheizen gleichsam negativ, wie auch die künstliche Kühlung als negative Beheizung bezeichnet werden kann.

Während in mehrfachen Beziehungen das Wärmeeufficherungsvermögen der Wände für das Anordnen von Heizungsanlagen Schwierigkeiten bietet, gewährt dasselbe in anderer Richtung nicht unwesentliche Erleichterungen. Ich erwähne hier nur, daß bei Berechnung der Heizanlage für gut ausgeführte Steingebäude wegen des Wärmeeufficherungsvermögens der Massen nicht die niedrigste der vorkommenden Wintertemperaturen, sondern höchstens die Durchschnittstemperatur des kältesten Tages in Ansatz zu bringen sind. Hierdurch vermindert sich der Temperaturunterschied ( $T_1 - t_1$ ) oft erheblich.

### e) Durchschnittliche Zahlenwerthe

zur Berechnung des Wärmeeustausches durch Wände, Decken etc.

I. Coefficienten  $k$  (in Wärmeeinheiten für 1 qm Fläche, 1 Stunde und 1 Grad Temperaturunterschied) für die Wärmeüberführung lothrechter Wände.

1. Gemauerte, dem Freien zugekehrte Wände.  
(Vergl. Art. 59, S. 52.)

Wandstärke in Met.	$k$			
	Backsteinmauern.		Bruchsteinmauern.	
	F. *	R. *	F. *	R. *
0,14	2,31	—	—	—
0,27	1,66	—	—	—
0,30	—	1,80	2,45	2,00
0,40	1,27	1,37	2,12	1,63
0,50	—	1,17	1,87	1,36
0,53	1,03	—	—	—
0,60	—	1,00	1,68	1,16
0,66	0,86	—	—	—
0,70	—	0,87	1,52	1,01
0,79	0,74	—	—	—
0,80	—	0,77	1,39	0,90
0,90	—	0,70	1,28	0,81
0,92	0,66	—	—	—
1,00	—	0,63	1,18	0,73
1,05	0,59	—	—	—

2. Gemauerte Scheidewände.

Wandstärke in Met.	$k$	
	Backsteinmauern.	Bruchsteinmauern.
0,14	2,20	—
0,27	1,62	2,14
0,40	1,23	1,74

3. Beiderseitig geputzte Holz-Scheidewände.

Einfache Bretterwand . . . . .  $k = 1,5$ .  
Doppelte hohle Holz wand . . . . .  $k = 0,9$ .

4. Dem Freien zugekehrte Thüren.

Dicke der Thüren in Centim.	$k$	
	Eichenholz.	Tannenholz.
2	2,92	2,24
4	2,2	1,5

5. Dem Freien zugekehrte Fenster.

Einfache Fenster . . . . .  $k = 5$ .

Doppelfenster . . . . .  $k = 1,77$ .

II. Coefficienten  $k$  (in Wärmeeinheiten für 1 qm Fläche, 1 Stunde und 1 Grad Temperaturunterschied) für die Wärmeüberführung von Decken und Oberlichtern.

Einfache ungeputzte Bretterdecken, unter denselben die wärmere Luft . . . . .  $k = 2$

Decken nach Art der Fig. 44 (S. 54), unter denselben die wärmere Luft . . . . .  $k = 0,5$

Decken nach Art der Fig. 44 (S. 54), über denselben die wärmere Luft . . . . .  $k = 0,3$

Decken nach Art der Fig. 45 (S. 55), unter denselben die kältere Luft . . . . .  $k = 0,71$

Einfache wagrechte Fenster (Oberlichter), unter denselben die wärmere Luft . . . . .  $k = 5,4$

Doppelfenster, desgl. . . . .  $k = 2,6$ .

\* Vergl. Art. 59, S. 52.

III. Gebräuchliche Temperaturen.

Für Treibhäuser . . . . .	$T_1 = 20$ bis $25$ Grad.
» Wohnräume, Warmhäuser, Sitzungsfäle, Hörfäle, Zeichenfäle etc. . . . .	$T_1 = 17$ » $20$ »
» Tanzfäle . . . . .	$T_1 = 15$ bis $18$ Grad.
» Kirchen und Kalthäuser . . . . .	$T_1 = 10$ » $15$ »
» Synagogen . . . . .	$T_1 = 15$ » $20$ »

Für die Temperatur des Freien ist in Ansatz zu bringen:

Bei Treibhäusern, Warmhäusern und ähnlichen Bauwerken, in deren Wänden etc. nur wenig Wärme gesammelt wird: die niedrigste der vorkommenden Wintertemperaturen =  $t_1$ .

Bei kräftigen Steinbauten: die mittlere Temperatur des kältesten Tages =  $t_1$ .

IV. Zuschläge zu den Temperaturunterschieden ( $T_1 - t_1$ ), wenn die Räume erwärmt werden sollen.

1. Ueber der Decke befindet sich ein ungeheizter Raum, dessen niedrigste Temperatur zu 0 Grad angenommen wird: Zuschlag = + 20 Grad.
2. Der Raum über der Decke wird regelmäsig geheizt: Zuschlag = + 25 Grad.
3. Der Raum unter der Decke wird nicht geheizt: Zuschlag = 0 Grad.
4. Der Raum unter der Decke wird regelmäsig geheizt: Zuschlag = - 20 Grad.
5. Für lothrechte Wände, so fern die Zimmerhöhe 3m nicht übersteigt: Zuschlag = 0 Grad.
6. Für lothrechte Wände der Zimmer, welche höher sind, als 3m: Zuschlag = 0,5 bis 0,15 ( $T_1 - t_1$ ) für jedes überschießende Meter Zimmerhöhe.
7. Für das Anheizen: Zuschlag = 0,1 bis 0,25 ( $T_1 - t_1$ ).

V. Einige andere mittlere Werthe von  $k$ .

Stündliche Wärmeüberführung für 1 Grad Temperaturunterschied und 1qm Fläche:

Aus Luft oder Rauch durch eine etwa 1 cm dicke Thonplatte in Luft (nach Redtenbacher) . . . . .	$k = 5$ .	
Aus Luft oder Rauch durch eine Wand von Gufseisen oder Eisenblech . . . . .	$k = 7$ bis $10$ .	
Aus Luft oder Rauch durch eine gufseiserne oder schmiedeeiserne Wand in Wasser und umgekehrt . . . . .	$k = 13$ bis $20$ .	
Aus Wasserdampf durch eine gufs- oder schmiedeeiserne Wand in Luft . . . . .	$k = 11$ bis $18$ .	
Aus Dampf durch eine metallene Wand in Wasser . . . . .	$k = 800$ bis $1000$ .	
Aus Dampf durch eine bekleidete Metallwand in Luft:		
nackte Wand . . . . .	$k = 14,3$	} nach Isherwood
Wand mit 6,5 mm dicker Filzdecke . . . . .	$k = 5,1$	
» » 12,7 » » » . . . . .	$k = 2,8$	
» » 19 » » » . . . . .	$k = 2,0$	
» » 25 » » » . . . . .	$k = 1,5$	
» » 50 » » » . . . . .	$k = 1$	
Kieselgur-Umhüllung 15 bis 30 mm dick bedeckt . . . . .	$k = 1,2$ bis $2$ .	

f) Wärmemenge, welche der frischen Luft zuzuführen oder zu entziehen ist.

Wie weiter unten angegeben werden wird, führt man in einzelnen Fällen die frische Luft mit denjenigen Temperaturen in die Zimmer, welche in diesen herrschen. Alsdann steht der Luftwechsel aufser aller Beziehung zu dem Wärmebedarf. Besondere Heiz- oder Kühlflächen sorgen für Hervorbringung der entsprechenden Lufttemperatur; sie haben einen Wärmeaustausch zu vermitteln, der, wenn die Temperatur des betr. Raumes mit  $T_1$ , diejenige der freien Luft mit  $t_1$  und die stündlich zugeführte Luftmenge (in Kilogr.) mit  $\mathcal{Q}$  bezeichnet wird, nach der Formel:

$$W_{\mathcal{Q}} = \mathcal{Q} \cdot 0,24 (T_1 - t_1) \dots \dots \dots 41.$$

zu berechnen ist.

Weit häufiger wird der zugeführten frischen Luft eine solche Temperatur gegeben, das sie gleichzeitig die erforderliche Wärmezufuhr, bezw. Wärmeabfuhr allein

73.  
Ermittlung  
der Wärme-  
menge.