Von noch entschiedenerem Einflufs auf die wirkliche Lufttemperatur in unmittelbarer Nähe der Körperoberfläche ist die Bewegung der Luft durch äufsere Einflüsse. In einem stark besetzten Saal kann der Aufenthalt ein unangenehmer dadurch sein, dafs 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 dafs 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, mufs defshalb nahezu ausschliefslich durch Leitung an die Luft abgegeben werden. Unsere Damen ergreifen in diesem Fall den Fächer und verursachen hierdurch gröfsere 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 übergeleitet 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

$$W_l = l \left[1 + 0{,}0075\,(t - t')\right] \left[t - t'\right] \quad \ldots\ldots \quad 4.$$

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 mäfsiger Entfernung von der Oberfläche gemessen wird.

Nach *Grashof*[20]) ist $l = 3$ bis 6 zu setzen und zwar im Mittel für eingeschlossene Luft $l = 4$, für freie ruhige Luft $l = 5$.

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

Die Summe beider Wärmemengen, also $W_s + W_l$, multiplicirt mit der in Frage kommenden Flächengröfse F (in Quadr.-Met.) ist die gesammte, von dieser abgegebene Wärme, welche mit W_1 bezeichnet werden mag, so dafs entsteht: 53. Gesammte Wärmemenge.

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

Diese Gleichung läfst sich auch wie folgt schreiben:

$$W_1 = \psi\, F\,(t - t_1) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6.$$

Die Berechnung von ψ, d. h. desjenigen Ausdruckes, welcher in Gleichung 5. in die [ ]-Klammer eingeschlossen ist, bietet, aufser den schon genannten Unsicherheiten, in so fern Schwierigkeiten, als die Gröfse des Factors $t-t_1$ noch nicht bekannt, auch, wie später erörtert werden wird, zur Zeit nur auf Grund des als bekannt vorauszusetzenden ψ gewonnen werden kann. Für die geringen Temperaturunterschiede, welche bei den Einschliefsungsflächen der Wohnräume vorkommen, ist indefs 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.

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

Beifpielsweife berechnet fich ψ für die Flächen einer Fenfterfcheibe wie folgt. Es fei die Temperatur des Freien = — 20 Grad, diejenige des Zimmerinneren = + 20 Grad. Für $t - t_1$ ift alsdann mit ziemlicher Sicherheit höchftens 20 Grad anzunehmen. Die Aufsenfläche liefert alsdann ein ψ_a, da $s = 2{,}9$ und $l = 6$ (wegen möglicher Weife während der Kälte auftretenden Windes), welches ausgedrückt wird durch:

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

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

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

Man erfieht aus der gegebenen Rechnung, dafs für den vorliegenden Fall felbft ein erheblicher Irrthum in der Schätzung von $t - t_1$ einen nennenswerthen Einflufs auf das Endergebnifs nicht gehabt haben würde. Das ift offenbar bei dickeren, weniger gut leitenden Einfchliefsungsflächen in noch höherem Grade der Fall, weil bei diefen $t - t_1$ an fich kleiner wird.

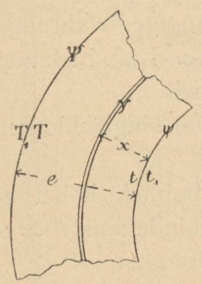
c. Wärmeüberführung durch feste Wände (Wärme-Transmission).

Die Ueberleitung der Wärme von einer Wandfläche zur gegenüberliegenden eines feften, gleichartigen Körpers fteht im geraden Verhältnifs zum Temperaturunterfchied und zur Flächengröfse, fo wie im umgekehrten Verhältnifs zur Entfernung beider Flächen.

54.
Einfache Wände.

Fig. 41 ftelle den Querfchnitt einer irgend wie gekrümmten, aber überall gleich dicken, aus gleichartigem Stoff beftehenden Wand dar. Irgend eine um x von derjenigen Fläche, welche die Temperatur t befitzt, entfernte Schicht, deren räumliche Ausdehnung mit f bezeichnet werden mag, habe die Temperatur y. Sie wird, wenn die Temperatur T gröfser als t ift, und λ diejenige Wärmemenge bezeichnet, welche ftündlich durch eine ebene Wand deffelben Stoffes, die 1 qm Flächengröfse und 1 m Dicke hat, bei 1 Grad Temperaturunterfchied geleitet wird (vergl. unten ftehende Tabelle), in derfelben Zeit eine Wärmemenge W_2 überführen, welche durch die Gleichung auszudrücken ift:

Fig. 41.



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

Hieraus entfteht fofort:

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

Für die Gröfse λ find nachftehende Werthe einzuführen:

Wärmemengen λ,
welche durch 1 qm einer ebenen Wand nachbenannter Art von 1 m Dicke ftündlich übergeleitet wird, wenn der Temperaturunterfchied der Aufsenflächen der Wand 1 Grad beträgt:

Ruhende Luft	$\lambda = 0{,}04$	Tannenholz, gleichlaufend mit der Fafer	$\lambda = 0{,}17$
(nach *Redtenbacher* 0,1 [21])		Eichenholz	» = 0,21
Wolle, Baumwolle, Flaum	» = 0,04	Gyps, angemacht und hierauf an der Luft getrocknet	» = 0,35 bis 0,5
Holzafche	» = 0,06	Gebrannte Erde	» = 0,5 » 0,8
Kreidepulver	» = 0,09	Backfteinmauer	» = 0,7
Geftofsene gebrannte Erde	» = 0,15	Glas	» = 0,75 » 0,88
Zerftofsene Coke	» = 0,26	Feinkörniger Kalkftein	» = 1,2 » 2,0
Sand	» = 0,27		
Tannenholz, winkelrecht zur Fafer	» = 0,1		

21) Der höhere von *Redtenbacher* angegebene Werth dürfte in fo fern berechtigt fein, als in der Praxis vollftändig ruhende Luft in Schichten kaum vorkommt.

Marmor	$\lambda = 2{,}8$ bis $3{,}4$	Zink	$\lambda = 18$
Dichte Coke	» $= 5$	Eifen	» $= 20$ bis 28
Blei	» $= 13$	Meffing	» $= 30$ » 45
Zinn	» $= 17$	Kupfer	» $= 60$ » 70.

Die Wand fei diejenige einer Hohlkugel, deren Halbmeffer r, bez. R bezeichnen; die Fläche f ift alsdann: 55. Sphärifche Wände.

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

fo dafs, durch Einfetzen diefes Werthes, die Gleichung 8. zu der anderen wird:

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

oder

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

Für $x = o$ ift $y = t$; für $x = e$ ift $y = T$, fonach

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

Die durch die Wand geführte Wärmemenge ift offenbar gleich der Wärmemenge

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

welche die innere Fläche mit der Luft auswechfelt, und eben fo gleich der Wärmemenge

$$W_3 = \Psi\,4\,R^2\,\pi\,(T_1 - T) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 6_b.$$

Durch Einfetzen von W_1 ftatt W_2 in Gleichung 10. ändert fich diefe in

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

oder

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

Diefen Werth von t fetzt man in Gleichung 6_a. ein und vertaufcht gleichzeitig den Werth W_1 derfelben mit dem Werth für W_3 aus Gleichung 6_b., fo dafs

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

oder

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

Der fo gewonnene Werth von T noch in Gleichung 6_b. eingefetzt, ergiebt:

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

in welcher Gleichung ausfchliefslich bekannte Gröfsen fich befinden.

Eine fphärifche Wand, welche einen beftimmten Theil der Hohlkugelwand bildet, überträgt einen entfprechenden Theil von W_k.

56. Ebene Wände. Die Wärmemenge W_e, welche eine ebene Wand überträgt, gewinnt man leichter, wie folgt.

Hier ift in jeder zu einer der Aufsenflächen gleich laufenden Schicht $f = F$, fo dafs Gleichung 8. durch Integration die Form

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

erhält. Zunächft fetzt man $W_2 = W_3$ oder:

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

fonach

$$T = \frac{\Psi\, T_1 + \frac{\lambda}{e}\, t}{\Psi + \frac{\lambda}{e}} \quad \ldots\ldots\ldots\ 15.$$

Der fo gefundene Werth wird in die Gleichung

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

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

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

Man erhält hierdurch

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

Schaltet man diefen Ausdruck für t in die Gleichung für W_1 und bedenkt, dafs $W_1 = W_e =$ der Wärmemenge ift, welche durch die ebene Wand geführt wird, fo erhält man

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

57. Trommelförm. Wände. Für die Wärmemenge, welche durch eine trommelförmige Wand mit den Halbmeffern r und R und der Länge l hindurchgeht, erhält man auf ähnlichem Wege:

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

Oben wurde vorausgefetzt, dafs die Temperaturen T, bezw. T_1 höhere feien, als die Temperaturen t, bezw. t_1. Dies gefchah, um die Richtung der Wärmebewegung bequemer feftzuhalten. Aus der Entwickelung und der Form der Endgleichungen geht nun zweifellos hervor, dafs es gleichgiltig ift, ob man T, bezw. T_1 oder t, bezw. t_1 als wärmer annimmt; es müffen nur die zugehörigen anderen Werthe in richtiger Weife eingefetzt werden, alfo z. B. das R als zu T_1, das ψ als zu t_1 gehörig behandelt werden. Uebrigens führt die Erwägung, dafs die Erhöhung der Temperatur als pofitive, die Verminderung derfelben als negative Temperaturänderung aufzufaffen ift, zu demfelben Ergebnifs.

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

Die letztere mag beifpielsweife für die Berechnung der Oberflächentemperaturen einer Backfteinwand benutzt werden, welche von aufsen durch ($T =$) $-$ 20 Grad kalter Luft lebhaft befpült wird, während die Innenfeite mit Tapete bekleidet ift und ein auf ($t_1 =$) + 20 Grad geheiztes Zimmer begrenzt; die Dicke der Wand fei 0,5 m.

Alsdann ist Ψ 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 ψ für die Innenfläche, wegen $s = 3{,}8$ und $l = 4$,

$$\psi = 8{,}3,$$

folglich nach Gleichung 16.

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

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 1^{qm} dieser Wand von $+ 20$ Grad warmer in $- 20$ Grad kalter Luft übergeführt wird. Dieselbe ist:

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

Bei einem Temperaturunterschied von $14{,}8 + 15{,}8 = 30{,}6$ Grad der beiden Oberflächen der Wand muss der Wärmedurchgang, da die Wand nur $0{,}5^{\text{m}}$ dick ist,

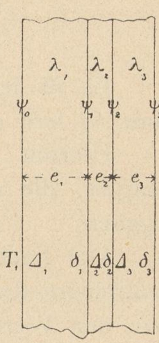
$$30{,}6 \cdot \frac{0{,}7}{0{,}5} = \backsim 42{,}8 \text{ Wärmeeinheiten}$$

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 ψ_0, ψ_1, ψ_2, ψ_3, die Coefficienten der inneren Leitung λ_1, λ_2, λ_3, die Temperaturen der Oberflächen der Wandtheile Δ, bezw. δ mit dem entsprechenden Index, endlich die Temperaturen der die Wand von aussen bespülenden Luft T_1, bezw. t_1. Alsdann ist die durch die Wand übertragene Wärme:

Fig. 42.



$$W = F\,\lambda_1 \frac{\Delta_1 - \delta_1}{e_1} = F\,\lambda_2 \frac{\Delta_2 - \delta_2}{e_2} = F\,\lambda_3 \frac{\Delta_3 - \delta_3}{e_3} =$$

$$= F\,\psi_0\,(T_1 - \Delta_1) = F\,\psi_1\,(\delta_1 - \Delta_2) = F\,\psi_2\,(\delta_2 - \Delta_3) = F\,\psi_3\,(\delta_3 - t_1) \quad . \; . \; 19.$$

Aus diesen Gleichungen erhält man, indem man allmählich die drei Werthe der oberen Reihe mit denjenigen der zweiten Reihe, welche mit ψ_0, ψ_1, und ψ_3 behaftet sind, vergleicht:

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

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

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

Berückſichtigt man nun, daſs 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 δ_1, δ_2 und δ_3 aus 20. und 21. gleich, ſo entſteht durch Addition:

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

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

Der bequemeren Rechnung halber ſei vorübergehend:

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

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

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

Der ſo gewonnene Ausdruck von Δ_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:

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

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.

59. Wärme-übertrag.-Coefficient.

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

Man ſchreibt alsdann die Formeln 17. und 24.:

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

ſo daſs k bedeutet:

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

Es iſt dieſes Verfahren um ſo mehr zuläſſig, als in dem Ausdruck für ψ (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.

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 ψ (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.: 60. Fenster und Oberlichter.

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

Aus dem Zahlenbeispiel geht zur Genüge hervor, dass das Glied $\frac{e}{\lambda}$, 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 ψ, weil (vergl. S. 46) die unten abgekühlte Luft rasch wärmerer, die oben erwärmte Luft rasch kälterer Luft Platz macht. Es dürfte desshalb 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 angestrichen sind und einseitig von heftigem Winde bespült werden, erhält man 61. Holzwände u. Thüren.

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

somit folgende Werthe von k:

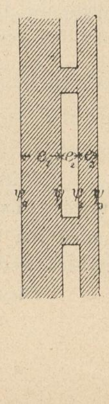
e in Met.	k (für 1 Stunde, 1 qm Fläche und 1 Grad Temperaturunterschied.)	
	Eichenholz.	Tannenholz.
0,02	2,92	2,24
0,04	2,2	1,5

Hierbei ist in Bezug auf Thüren zu bemerken, dass e die durchschnittliche Dicke derselben ist; diese ist gemeiniglich 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. 62. Hohle Wände.

Fig. 43.



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; ψ_1 und ψ_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.

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 ψ den kleinſten Werth anzunehmen, ſo daſs $\psi_1 = \psi_2 = 6{,}6$ wird. Für die an das Zimmer grenzende Fläche war ψ_3 früher (S. 51) zu 8,3 berechnet. Die Mauer ſei aus Backſteinen hergeſtellt, ſo daſs $\lambda = 0{,}7$ iſt, und es ſei $e_1 = e_3 = 0{,}25^{\text{m}}$. Hiernach berechnet ſich

$$k = 0{,}82.$$

Iſt nun noch $e_2 = {}^1/_2$ Stein, ſo iſt die Geſammtdicke der Mauer $\backsim 0{,}64^{\text{m}}$; für eine volle Mauer dieſer Dicke iſt nach der Tabelle auf S. 65 $k = 0{,}86$ gefunden. Die Anbringung eines ſolchen Hohlraumes erſchwert ſomit den Durchgang der Wärme, wenn auch nicht in hohem Maſse.

Doppelte lothrechte Fenſter bringen ein noch günſtigeres Ergebniſs 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:

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

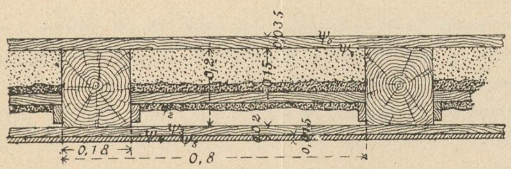
ſtatt $k = 5$ für einfache Fenſter.

63. Decken.

Wagrechte hohle Einſchlieſsungs-Conſtructionen, wie hohle Decken etc., ſind wieder in ſolche zu unterſcheiden, welche an ihrer oberen Fläche von kälterer, an ihrer unteren Fläche von wärmerer Luft berührt werden, und in ſolche, 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.

Fig. 44.



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 ψ_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. ψ_2 wird, weil die ſich an der Wellerung abkühlende Luft raſch niederſinkt und wärmerer Platz macht, ebenfalls groſs ausfallen, wahrſcheinlich $= 10$ ſein. ψ_3, ψ_4 und ψ_5 verhalten ſich eben ſo, wie ψ_0, ψ_1 und ψ_2, ſo daſs, da $\lambda_1 = \lambda_4 = 0{,}1$ (Tannenholz), $\lambda_2 = 0{,}27$ (Sand), λ_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

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

Da, wo Balken ſich befinden, iſt k einfacher

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

folglich die durchſchnittliche Wärmeüberführungszahl 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 gewellerten 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 beſpült werden, von groſsem Werth ſind, während ſie im umgekehrten Falle als nahezu werthlos bezeichnet werden müſſen.

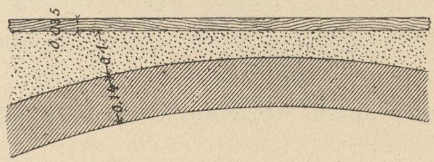
Diejenigen Stellen, an denen ſich Balken befinden, haben, da das ψ für die Fuſsbodenoberfläche und dasjenige der Deckenunterfläche $= 7$ geſetzt werden muſs, ein $k = 0{,}35$. Das durchſchnittliche k iſt ſonach

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

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

$$k = 0{,}71 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Fig. 45.



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

Es iſt jedoch noch darauf hinzuweiſen, daſs für Dampf und Waſſer erheblich gröſsere Werthe für ψ in Anſatz zu bringen ſind, als für Luft. Waſſer nimmt, vermöge ſeiner hohen ſpecifiſchen Wärme, bei geringer Temperaturerhöhung ſchon verhältniſsmäſsig groſse Wärmemengen auf, ſo daſs 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 abzuflieſsen, ſo bleibt der wahre Temperaturunterſchied dem beobachteten faſt genau gleich. 64. Dampf u. Waſſer.

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.

Genaue Zahlen ſind jedoch für die einzelnen Werthe von ψ 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 ſetzen unveränderliche Temperaturen T_1 und t_1 voraus. Mit ſolchen läſſt 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 65. Veränderliche Temperatur.

Fig. 46.

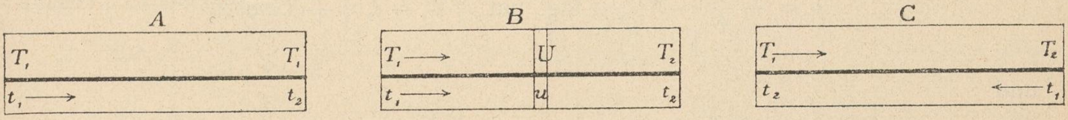


Fig. 46 unter *A*, *B*, *C* angeführten — möglichen Fälle näher betrachtet werden, daſs nämlich:

A. die eine Flüſſigkeit nur Nebenſtrömungen unterworfen iſt, ſo daſs ſie an der berührten Wand überall gleiche Temperatur beſitzt, während die andere Flüſſigkeit längs der feſten Wand ſich fortbewegt;

B. beide Flüſſigkeiten ſich an der feſten Wand entlang in gleicher Richtung bewegen (ſog. Parallelſtrömung);

C. beide Flüſſigkeiten längs der feſten Wand flieſsen, jedoch in entgegengeſetzter Richtung (ſog. 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 unbekannten Temperaturen U und u und ſind durch eine Flächengröſse dF von einander geſchieden.

Es ist alsdann die durch die Fläche dF übertragene Wärmemenge

$$dW = k \, . \, dF \, (U - u) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 27.$$

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

$$dW = -QC \, . \, dU = qc \, . \, du \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 28.$$

wird, oder durch Integration

$$-QCU = qcu + Const. \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 29.$$

Für $U = T_1$ ist $u = t_1$, sonach:

$$-QCT_1 = qct_1 + Const. \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 30.$$

oder durch Abziehen der Gleichung 30. von 29.:

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

woraus ohne Weiteres abzuleiten ist:

$$u = \frac{QC}{qc} \left\{ T_1 - U \right\} + t_1 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 31.$$

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

$$k\,(U - u)\,dF = -QC \, . \, dU \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 32.$$

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

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

also:

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

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

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

und

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

oder nach Subtraction der Gleichungen

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

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

$$W = QC \left\{ T_1 - T_2 \right\} = qc\,(t_2 - t_1) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 36.$$

also

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

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

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

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:

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

Der dritte Fall, derjenige des sog. Gegenstromes, wird genau so behandelt, wie der zweite, unter Berücksichtigung der anderen Richtung. Man gelangt indessen 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:

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

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

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

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:

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

oder

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

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

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

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

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

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

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 40_a., 40_b. und 40_c. gewähren auch einen sicheren 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 ift mit Hilfe von 40_a., bezw. 40_b. oder 40_c. in jedem einzelnen Falle der Fehler, deffen man fich durch Gebrauch von 38., bezw. 39. fchuldig macht, genau zu beftimmen.

Im Allgemeinen ift diefer Fehler am gröfsten bei dem Fall B, am kleinften bei C; A liegt auch in diefer Beziehung zwifchen jenen beiden. Ferner wächst der in Rede ftehende Fehler, wenn auch nicht im geraden Verhältnifs, mit der Differenz $T_1 - T_2$ und der Summe $t_1 + t_2$.

66. Unebene Wände.

Wenn bei Berechnung der Beifpiele ausfchliefslich schlichte Wände mit gleich laufenden Oberflächen angenommen wurden, fo ift noch zu erörtern, wie bei nicht ebenen Wänden und Decken, fo wie wechfelnden Wandftärken zu verfahren ift.

Je reicher die Gliederung einer Wand, bezw. einer Decke ift, um fo gröfser wird die wärmeüberführende Fläche. Da die Berechnung des Einfluffes der einzelnen Gliederungstheile unmöglich, mindeftens aber zu umftändlich fein würde, fo vernachläffigt man die aufserhalb der eigentlichen Wand-, bezw. Deckenfläche liegenden Flächen fowohl, als auch den Leitungswiderftand der zugehörenden Dicken. Bei befonders reicher Gliederung dürfte aufserdem ein fchätzungsweife feftzuftellender Zufchlag zu dem berechneten k erforderlich werden.

Bei gebogenen oder Ecken bildenden Wänden und Decken wählt man für F diejenige Fläche, welche etwa das Mittel zwifchen den beiden Begrenzungsflächen der Wände bildet. In der Regel find die Dicken der Wände und Decken gegenüber der Flächenausdehnung derfelben fo gering, dafs ein nennenswerther Fehler durch diefes Verfahren nicht entftehen kann. In zweifelhaften Fällen wird man, da die gefammte Rechnung den Zweck hat, die gröfste etwa eintretende Wärmeabführung zu beftimmen, reichlicher greifen, um ficher zu fein, dafs nicht zu wenig in Rechnung geftellt wurde.

67. Anzunehmende Temperaturen.

Auch die Gröfse der anzunehmenden Temperaturen bedarf einer Auseinanderfetzung.

Die Temperatur im Freien kann nur erfragt werden; in den Städten pflegt diefelbe 1 bis 3 Grad hinter derjenigen des freien Feldes zurückzubleiben, weil die von den Häufern abgegebene Wärme die Strafsen gleichfam heizt.

Die Temperatur der gefchloffenen Räume benennt man gemeiniglich nach derjenigen, welche in Kopfhöhe herrfchen foll. Auf S. 66 find einige Angaben über die gebräuchlichen Temperaturen zufammengeftellt.

Diefe Temperaturen dürfen indefs nicht unmittelbar zur Berechnung der Wärmeüberführung verwendet werden, indem diefelben, wie fchon erwähnt, in Kopfhöhe gemeffen, keineswegs aber gleichmäfsig im ganzen Raume vorhanden find. Beheizt man den betr. Raum mittels folcher Flächen, welche in dem Raume felbft aufgeftellt find, oder mittels folcher, die in einer befonderen Heizkammer fich befinden, fo ift immer die Luft die Trägerin der Wärme, fo weit von der unmittelbaren Wärmeftrahlung der Heizflächen gegen den menfchlichen Körper abgefehen wird. Die an den Heizflächen erwärmte Luft fteigt, ihres geringeren Gewichtes halber, fofort nach oben und breitet fich unter der Decke des Raumes aus. Hier giebt fie einen Theil ihrer Wärme ab, nämlich denjenigen, welcher durch die Decke verloren geht. In dem Mafse, wie die Luft vom Fufsboden abgefaugt wird, fei es zu abermaliger Erwärmung, fei es zur Befeitigung der Luft, finken die wärmeren Luftfchichten 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 ftatt, nämlich durch den Fufsboden. Die höchfte Temperatur mufs fomit 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 bespülenden Luft veranlassen, als letztere.

Fig. 47.

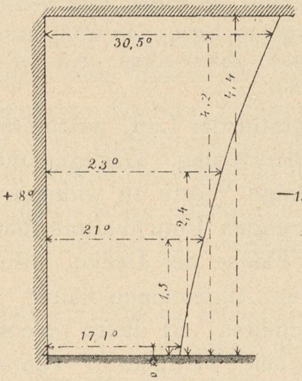
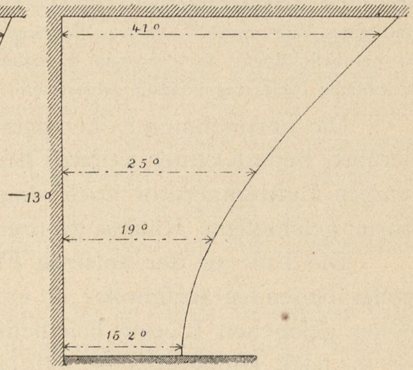


Fig. 48.



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 Luftzuströmungsöffnung 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-Ausströmungs-, so wie Abströmungsöffnungen ist sogar 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 $1{,}8^{m}$

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 verschieden hohen Schichten mit der Temperatur der Heizluft wächst. Man wird daher eine um so gleichmäsigere 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 m Zimmerhöhe = 0, für jedes überschiessende 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 regelmäsig 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 regelmäsig 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 unregelmäsiger 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 Wärmeerfordernisse 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 regelmäsige 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,