Ausgeathmete Luft enthält nach Vierordt 43,34 ‰ Kohlensäure; sie muß also mit soviel frischer Luft gemischt werden, daß die Kohlensäure nach der Mischung höchstens den Grenzwerth (0,0007) erreicht. Die atmosphärische Luft kann daher, um gut zu bleiben, nur 0,0002, höchstens 0,0005 an Kohlensäure aufnehmen, d. h. man bedarf für jedes Volum ausgeathmeter Luft nach umstehender Formel

$$\frac{43,34}{0,7-0,5} = \frac{43,34}{0,2} = 216,7 \text{ Volumina frischer Luft.}$$

Die stündlich pro Kopf ausgeathmete Luftmenge beträgt bei 1050 Athemzügen à 0,5 Liter, zusammen = 525 Liter, mithin die Luftzufuhr pro Kopf und Stunde

$$525 \times 216,7 = 113,8 \text{ Kubikmeter.}$$

Beispiel. Ein erwachsener Schüler producirt stündlich im Mittel 19,3 Liter Kohlensäure*).

Für p = 0,0007 ist der Ventilationsbedarf desselben

$$C = \frac{0,0193}{0,0007-0,0005} = 95,5 \text{ cm.}$$

Für p = 1 ist

$$C = \frac{0,019}{0,0010-0,0005} = 38,6 \text{ cm}$$

und zwar ohne Rücksicht auf die durch Flammen hervorgerufene Verunreinigung**). Im Allgemeinen muß daher die Erfahrung über das für verschiedene Zwecke erforderliche Luftvolum Anhalt geben. Nach Morin***) ist der Luftbedarf pro Kopf und Stunde:

1)	In Krankenhäusern	70—150	cm
2)	„ Versammlungssälen . . .	50—60	„
3)	„ Concertsälen und Theatern .	40—50	„
4)	„ Schulen für Kinder . . .	15—20	„
5)	„ Schulen für Erwachsene .	30—35	„
6)	„ Abendschulen für Erwachsene	35—40	„
7)	„ Gefängnissen für Erwachsene	30—40	„

Nach diesen vorläufigen Bemerkungen über Zweck und Umfang der Lufterneuerung in Wohnräumen kann nunmehr das, in §. 37 unter 4) aufgestellte Postulat einer „entsprechenden Ventilation“ durch Zahlenwerthe begrenzt und für bestimmte Fälle theoretisch ermittelt werden.

In diesem Sinne fällt jeder zeitgemäßen Ofenconstruktion die erweiterte Aufgabe zu: (vergl. §. 37 ad 3) nicht allein den Wärmeverlust zu ersetzen, welcher durch Abkühlung der Umschließungswände hervorgerufen wird, sondern ein gleichmäßig zuströmendes Volum frischer Luft der Art zu erwärmen, daß die Temperatur des Raumes auf nahezu konstanter Höhe erhalten wird. Dieser Zustand kann aber nur eintreten:

> wenn in der Zeiteinheit von den Umschließungswänden dieselbe Wärmemenge aufgenommen, geleitet und abgegeben wird — eine Unterstellung, die streng genommen nur im Beharrungs-Zustande und bei kontinuirlicher Heizung zutreffend ist.

Um diese Annahme zu rechtfertigen, mag hier folgende Betrachtung Platz finden: Sind nach §. 6 die Wände eines geschlossenen Wohnraumes der äußeren Luft von der Temperatur t ausgesetzt, und soll derselbe auf einer konstanten gegebenen inneren Temperatur T erhalten werden, sind ferner die resp. Luft-Temperaturen t und T überall gleich und konstant, so werden die sämmtlichen Moleküle der Wand der Art erwärmt, daß nicht nur die äußeren Begrenzungsflächen F_1 und F_2, sondern auch alle damit parallelen Ebenen F_x im Innern der Wand, isothermische Flächen bilden. Denkt man nun die Wand in eine große Anzahl sehr dünne Schichten oder Elementarplatten getheilt, so werden die Temperaturen dieser Schichten von Innen nach Außen progressiv abnehmen, so lange $T > t$ ist. Auch die Temperatur-Differenzen von einer isothermischen Fläche zur anderen hin, werden anfänglich in derselben Richtung, von F_1 nach F_2 abnehmen, weil von der einen Seite mehr Wärme aufgenommen wird, als an die benachbarte Seite abgegeben werden kann. Aber durch verstärkte Wärmeaufnahme tritt schließlich ein Zustand ein, wo jede Schicht von der vorhergehenden ebenso viel Wärme empfängt, als sie in derselben Zeit an die folgende abgiebt, d. h. die Wärmemenge ist konstant, welche innerhalb gegebener Zeit durch eine isothermische Fläche hindurchgeht. So lange also die Temperaturen T und t sich nicht ändern, werden die Temperaturen der isothermischen Fläche stationär bleiben und diese Grenze ist der Beharrungs-Zustand.

Sechstes Kapitel.

Transmission der Wärme.

A. Wärmeverluste bei konstanten Temperaturen.

§. 46.

Zur Bestimmung der Wärmemenge, welche durch eine ebene Wand von gleicher Dicke hindurchgeht, wenn die berührenden Medien auf constanter Temperatur gehalten werden, hatte Péclet, unter Zugrundlegung des bekannten Gesetzes von Dulong und Pétit, eine Reihe von Versuchen über die Abkühlung dünnwandiger Gefäße aus Metall an=

*) Nach den Untersuchungen von v. Pettenkofer, Voit und Schärling.

**) Lange. Natürliche Ventilation. Tab. S. 22. Ein Theil der Kohlenwasserstoffe der Flamme entweicht unverbrannt, daher gibt die Kohlensäure allein keinen genauen Anhalt für die Ventilation beleuchteter Räume.

***) Études sur la ventilation. Tome II, pag. 42.

gestellt und 1854 veröffentlicht. Er kam dabei zu folgenden Resultaten*):

1) Die Abkühlung eines Körpers ist abhängig von seiner Strahlung gegen die umgebende Luft und von dem Contakt desselben mit der Luft, d. h. von der Leitung (§. 6).

2) Die durch Strahlung emittirte Wärmemenge R ist gegeben durch die Formel:
$$R = K\,\Theta\,(1 + 0{,}0056\,\Theta).$$

3) Die durch Leitung verlorene Wärmemenge A drückt sich aus durch:
$$A = K^1\,\Theta\,(1 + 0{,}0075\,\Theta).$$

In diesen Formeln bezeichnet:

Θ die Temperatur-Differenz zwischen dem erkaltenden Körper und seiner Umgebung, und

K einen Coefficienten, welcher abhängig ist von der Natur der Oberfläche, während

K^1 einen von der Form und den Dimensionen des Körpers abhängigen Coefficienten bezeichnet.

Wenn man statt der beiden Coefficienten 0,0056 und 0,0075 mit hinreichender Genauigkeit das arithmetische Mittel aus beiden setzt, so erhält man für den totalen Wärmeverlust W die Gleichung:
$$W = R + A = (K + K_1) \cdot \Theta \cdot (1 + 0{,}0065\,\Theta).$$

Für schwache Temperaturdifferenzen ($\Theta < 20^0$) kann man die Glieder zweiten Grades vernachlässigen und hat dann:
$$W = R + A = (K + K^1)\,\Theta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1.)$$

Der Ausdruck 1) heißt das Gesetz von Newton; es gilt nur innerhalb der Grenzen $\Theta > 25$ und $< 65^0$ und für eine Lufttemperatur $T = 12^0$. Für höhere Temperatur-Differenzen muß man die Formeln von Dulong und Pétit benützen.

Um den Ausdrücken für R und A eine allgemeine Form zu geben und die Coefficienten K und K^1 feststellen zu können, betrachten wir nunmehr:

I. Emission der Wärme.

Auf Grund seiner Versuche kam Péclet zu folgenden Resultaten:

a) Die Quantität der, durch die Flächen-Einheit gestrahlten Wärme ist unabhängig von der Form und Größe des Körpers, dagegen abhängig von der Natur der Oberfläche, von der absoluten Temperatur derselben und von der Temperatur-Differenz zwischen dem Wärme abgebenden Körper und der ihn umgebenden Luft.

*) Péclet. Traité de la chaleur. Tome III, Note X.

Die Quantität der pro Quadratmeter und Stunde gestrahlten Wärme ist gegeben durch die Formel:
$$K = 124{,}72\ K\,a^{\,t}\left(\frac{\varphi}{a-1}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2.)$$
worin:

Θ die Temperatur-Differenz zwischen der Wärme abgebenden Fläche und der umgebenden Luft bezeichnet,

t die Temperatur der äußeren Luft,

a die constante Zahl 1,007 und

K das Strahlungsvermögen, d. h. eine von der chemischen Natur der Oberfläche abhängige Zahl.

Tabelle I. enthält die Werthe von K für die in der Praxis vorkommenden wichtigeren Substanzen.

Tabelle I.

Werthe des Strahlungsvermögens für verschiedene Substanzen.

Kupfer	0,16	Sand, feinkörnig	3,62
Messing	0,26	Bausteine	3,60
Zinn	0,21	Glas	2,91
Zink	0,24	Holz	3,60
Blech, polirt	0,45	Wolle	3,68
Weißblech	0,65	Seide	3,71
Blech, oxydirt	3,36	Oelfarben-Anstrich	3,71
Gußeisen, neu	3,17	Papier	3,77
„ oxydirt	3,36	Wasser	5,31

b) Der Wärmeverlust durch Leitung ist unabhängig von der Natur der Oberfläche des Körpers und von der Temperatur der Umgebung; aber er ist abhängig von der Temperatur-Differenz des Wärme abgebenden Körpers gegen die ihn umgebende Luft, auch von der Form und den Dimensionen des Körpers.

Der Wärmeverlust durch Leitung ist pro Quadratmeter und Stunde gegeben durch die Formel:
$$A = 0{,}552\ K^1\,\Theta^{1{,}233} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3.)$$

Hierin bedeutet:

Θ die Temperatur-Differenz zwischen dem Körper und der umgebenden Luft, und

K^1 eine Zahl, welche mit der Form und den Dimensionen des Körpers wechselt.

Für den Coefficienten K^1 fand Péclet aus seinen Versuchen folgende empirische Formeln für Körper in Berührung mit Luft:

Tabelle II.

Kugelfläche vom Halbmesser r	$K^1 = 1{,}778 + \frac{0{,}13}{r}$	a.
Horizontale Cylinderfläche vom Halbmesser r	$K^1 = 2{,}058 + \frac{0{,}0382}{r}$	b.
Vertikaler Cylinder vom Durchmesser r und von der Höhe h	$K^1 = \left(0{,}726 + \frac{0{,}0345}{\sqrt{r}}\right)\left(2{,}43 + \frac{0{,}8758}{\sqrt{r}}\right)$	c.
Vertikale ebene Fläche von der Höhe h	$K^1 = 1{,}764 + \frac{0{,}636}{\sqrt{h}}$	d.

Anm. Die Formel d ergibt sich aus c, wenn $r = \infty$ gesetzt wird.

In Tabelle II^a sind die Werthe von K^1 für ebene vertikale Flächen und für verschiedene Werthe von h berechnet.

Tabelle II a.

Werthe von h in Metern	Werthe von K^1	Werthe von h in Metern	Werthe von K^1
0,10	3,848	2,00	2,21
0,20	3,186	3,00	2,13
0,30	2,926	4,00	2,08
0,40	2,770	5,00	2,05
0,50	2,66	10,00	1,96
0,60	2,585	15,00	1,92
1,00	2,400	20,00	1,90

c) Die Resultate seiner Versuche faßt Péclet endlich zusammen in der Formel:

$$W = 124{,}72\,K\,a^t\left(a^\Theta - 1\right) + 0{,}552\,K^1\,\Theta^{1{,}233} \qquad 4.)$$

oder auch:

$$W = S\,.\,K + L\,K^1,$$

wenn man setzt:

$$124{,}72\,a^t\left(a^\Theta - 1\right) = S \text{ und } 0{,}552\,\Theta^{1{,}233} = L.$$

In Tabelle III. sind für verschiedene Temperatur-Differenzen die entsprechenden Werthe von S und L für Intervallen von 10° zusammengestellt, wobei die Temperatur des umgebenden Raumes = 15° angenommen wurde.

Tabelle III.

Temperatur-Differenz-Θ	Werthe von S	Werthe von L	Temperatur-Differenz	Werthe von S	Werthe von L
10°	11,2	9,4	140°	269,5	244,4
20°	23,2	22,2	150°	302,1	266,1
30°	36,1	36,6	160°	339,0	288,1
40°	50,1	52,2	170°	377,4	310,5
50°	65,3	68,6	180°	418,5	333,2
60°	81,7	86,0	190°	463,2	356,1
70°	99,3	104,0	200°	511,2	379,4
80°	118,5	122,6	210°	563,1	402,9
90°	138,7	141,7	220°	619,0	426,7
100°	161,3	161,5	230°	679,5	450,7
110°	185,3	181,5	240°	744,8	475,0
120°	211,3	202,1	250°	844,7	498,6
130°	239,3	223,1			

Anm. Wenn die Temperatur t des umgebenden Raumes nicht 15° ist, so sind die Werthe von S in vorstehender Tabelle mit den in Tabelle IV. enthaltenen Correktions-Faktoren zu multipliciren.

Tabelle IV.

t =	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
Correkt.-Faktor	0,89	0,96	1,04	1,12	1,21	1,31	1,41	1,52	1,65	1,78	1,92

Wenn endlich die Temperatur-Differenz Θ zwischen zwei Werthen der Tabelle III. liegt, so erhält man die entsprechenden Werthe von S und L, indem man das arithmetische Mittel der benachbarten Tabellenwerthe sucht. Hierbei ist die Annahme gemacht: daß die Quantität der emittirten Wärme in Intervallen von 10° gleichmäßig mit der Temperatur zunimmt.

Für die Temperatur-Differenz $\Theta = 35°$ würden die Werthe von S und L wie folgt gefunden:

Für $\Theta = 30°$ ist $S = 36{,}1$ und $L = 36{,}6$.
„ $\Theta = 40°$ „ $S = 50{,}1$ „ $L = 52{,}2$.

Nun ist $\frac{36{,}1}{30} = 1{,}203, \qquad \frac{36{,}6}{30} = 1{,}220.$

und $\frac{50{,}1}{40} = 1{,}252, \qquad \frac{52{,}2}{40} = 1{,}305.$

Das Mittel aus 1,203 und 1,252 ist = 1,227 und
„ „ „ 1,120 „ 1,305 „ = 1,262;

daher kann man die Werthe S und L für $\Theta = 35^0$ setzen:

$S = 1{,}227 \,.\, 35 = 42{,}94 \quad L = 1{,}262 \,.\, 35 = 44{,}17$

oder allgemein zwischen 30° und 40° ist der Werth von

$S = 1{,}227 \,.\, \Theta; \qquad L = 1{,}262 \,.\, \Theta.$

Für eine Temperaturdifferenz Θ zwischen 150° und 160° erhält man in ähnlicher Weise:

$$S = 2{,}066\, \Theta \qquad L = 1{,}787\, \Theta.,$$

d. h. die Coefficienten der Werthe S und L sind nicht constant, wie die Formel von Newton es voraussetzen läßt, sondern sie variiren für Temperaturunterschiede zwischen 0° und 250°, und zwar der erstere in den Grenzen von 1 und 3,24, der letztere zwischen 1 und 2.

Bezeichnen also s und l ganz allgemein zwei in der eben angegebenen Art aus Tab. III. und IV. entnommene Zahlen, so hat man als Ausdruck für die Emission durch Strahlung und Leitung (Formel 4 der Péclet'schen Resultate)

$$W = (s \,.\, K + l \,.\, K^1)\, \Theta \quad . \; . \; . \; . \quad 4^a),$$

worin Θ der Temperaturunterschied zwischen dem abkühlenden Körper und seiner Umgebung. Der Ausdruck $s \,.\, K + l \,.\, K^1$ wird der äußere Wärmeleitungs-Coefficient, auch der Wärmeabgabe-Coefficient genannt. Bezeichnet man denselben mit Q, so ist $W = Q\Theta$, und setzt man $\Theta = 1^0$ so ist

$$W = Q,$$

d. h. der **äußere Wärmeleitungs-Coefficient** ist die Anzahl von Calorien, welche von den beiden Begrenzungsflächen einer Wand pro Quadratmeter und Stunde aufgenommen oder abgegeben werden, wenn die Temperaturdifferenz Θ zwischen Wand und berührender Flüssigkeit 1° C beträgt.

Anwendung der Formeln.

1. Beispiel. Ein häufig vorkommender Fall ist die Berechnung der Wärmeabgabe von Dampfheizröhren. Es soll die Anzahl von Calorien gesucht werden, welche der Quadratmeter gußeisernes horizontales Heizrohr stündlich emittirt, wenn dasselbe durch Dampf von 100° erhitzt wird und die Temperatur der Umgebung 15° beträgt.

Nach den Resultaten von Péclet bestimmt sich die Emission durch Strahlung und Leitung mittelst der Formel 4.)

$$W = S \,.\, K + L \,.\, K^1.$$

Aus Tabelle I. findet man für Gußeisen K = 3,36.

Zur Berechnung von K^1 dient die Formel 6.)

$$K^1 = 2{,}058 + \frac{0{,}0382}{r},$$

worin r den Durchmesser des horizontalen Cylinders bezeichnet. Setzt man für r nach einander die Werthe

0,05 0,10 0,15,

so findet man K^1 =

2,82 2,44 2,30.

Θ ist im vorliegenden Falle = 85°, also nach vorstehender Anleitung, wenn man das arithmetische Mittel für Werthe zwischen 80° und 90° sucht:

$$S = 1{,}511 \,.\, \Theta = 128{,}4. \quad L = 1{,}553 \,.\, \Theta = 132{,}0.$$

Nunmehr findet man:

für r = 0,05 W = 128,4 . 3,36 + 132,0 . 2,82 = 803 W.-Einh.,
„ r = 0,10 W = 128,4 . 3,36 + 132,0 . 2,44 = 753 „ „
„ r = 0,15 W = 128,4 . 3,36 + 132,0 . 2,30 = 735 „ „

Wird das cylindrische Rohr jedoch vertikal angebracht, so ist zur Bestimmung von K^1 die Formel c. zur Anwendung zu bringen:

$$K^1 = \left(0{,}726 + \frac{0{,}0345}{\sqrt{r}}\right) \,.\, \left(2{,}43 + \frac{0{,}8758}{\sqrt{h}}\right);$$

unter r den Radius und unter h die Höhe des Cylinders verstanden.

Die Tabelle V enthält für eine gewisse Anzahl von Höhen und Halbmessern die zugehörigen Werthe von K.

Tabelle V.

Halbmesser des Cylinders	Höhe des Cylinders in Metern					
	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
0,025	3,55	3,20	2,95	2,84	2,79	2,73
0,05	3,22	2,90	2,68	2,57	2,52	2,48
0,10	3,05	2,75	2,54	2,44	2,39	2,35
0,20	2,93	2,65	2,45	2,35	2,30	2,26
0,30	2,88	2,60	2,40	2,31	2,26	2,22

2. Beispiel. Es ist die totale Emission eines 4 m langen, vertikalen, gußeisernen cylindrischen Rohres zu berechnen, dessen Temperatur durch Dampf auf 100° gehalten wird, während die umgebende Luft 10° beträgt.

Aus Tabelle V. findet man:

für h = 4,0m und r = 0,05, $K^1 = 2{,}52$,
„ „ = „ „ r = 0,10, $K^1 = 2{,}39$.

Der Strahlungscoefficient für Gußeisen ist: K = 3,36.

Da die Temperaturdifferenz im vorliegenden Falle 90° beträgt, so hat man nach Tabelle III.:

$$S = 138{,}7 \text{ und } L = 141{,}7.$$

Weil aber die Temperatur t der Luft nur 10° ist, so haben wir den Werth von S zu multipliciren mit dem Correktionsfator 0,96 (Tabelle IV.), so daß

$S = 133{,}15$ und $L = 141{,}7$ (wie oben).

Endlich findet man:

für $r = 0{,}05$ $W = 133{,}15 \,.\, 3{,}36 + 141{,}7 \,.\, 2{,}52 = 804$ W.-Einh.,

„ $r = 0{,}10$ $W = 133{,}15 \,.\, 3{,}36 + 141{,}7 \,.\, 2{,}39 = 786$ „ „

Beständ das cylindrische Rohr aus Kupfer, so ist unter sonst geichen Verhältnissen nur der Coefficient K für dies Materia einzusetzen. Nach Tabelle I. ist das Strahlungsvermögen des Kupfers $= 0{,}16$, daher

für $r = 0{,}05$ $W = 133{,}15 \,.\, 0{,}16 + 141{,}7 \,.\, 2{,}52 = 786$ W.-Einh.

Vertikal Flächen endlich geben Leitungscoefficienten, welche der Frmel d in Tabelle II. entsprechen. Ist nämlich h die Hhe der Fläche, so ist

$$K = 1{,}764 + \frac{0{,}636}{\sqrt{h}}.$$

3. Beipiel. Ein gußeisernes Reservoir von rechteckiger Grundvorm wird mittelst zuströmender Dämpfe auf der Temperatur on 100° erhalten. Die Temperatur der Umgebung beträgt 0°; es soll der totale Wärmeverlust durch die Wandunen pro Quadratmeter und Stunde gefunden werden.

Für di Temperaturdifferenz $\Theta = 100°$ ist nach Tabelle III. un IV.

$S = 31{,}3 \,.\, 0{,}89 = 143{,}5$ und $L = 161{,}5$.

Für Gßeisen ist $K = 3{,}36$ und K^1 bei 1 m Höhe $= 2{,}40$ (Toelle II[a].), daher

$W = 143{,}5 \,.\, 36 + 161{,}5 \,.\, 2{,}40 = 482{,}1 + 387{,}6 = 869{,}7$ W.-Einh.

Alle die Formeln beziehen sich auf Fälle, wo der emittirende Krper constant dieselbe Wärmemenge inne hat, wie dies bei Dampfgefässen geschieht, in denen immer frischer Dampf nachströmt und die abgegebene Wärme ersetzt. Auch wenn Basser der Wärme abgebende Körper ist, können diese Fomeln Anwendung finden, jedoch nur unter der Voraussetzun, daß die Masse der Flüssigkeit groß genug ist, um wenzstens für eine gewisse Zeit als constante Quelle angesehen wrden zu können. — Jedenfalls ist in allen berührten Fälln die Annahme gemacht, daß die Transmission durch dünne Metallwände hindurch stattfinde, deren Leitungsvermögen gößer ist oder ebenso groß als dasjenige des Wärme abgbenden Körpers.

Sind die Wände, durch welche der Wärmeverlust stattfindet, von einiger Dicke, so gelten zwar die Coefficienten für Strahlung und Leitung an die Wärme aufnehmende Luft, aber es kommt alsdann ein neuer Faktor hinzu, die Leitungsfähigkeit desjenigen Materials, aus dem die Wand hergestellt ist. Auch diesen Coefficienten hat Péclet für eine große Anzahl von Körpern bestimmt*).

*) Péclet. Traité de la chaleur. Tome III. p. 453, §. 2. Der Apparat bestand aus Gefäßen desjenigen Materials, dessen Wärmeleitungsfähigkeit man suchte bei verschiedener Dicke, verschiedener Form und Dimension. Sie wurden bald von Außen, bald von Innen mit heißem Wasser oder Dampf in Berührung gebracht. Durchlässige und pulverförmige oder faserige Körper wurden mit dünnen Schichten einer dichten Substanz bekleidet. Da die entsprechenden Werthe für die Oberflächen bekannt waren, konnte man die Leitungsfähigkeit der eingeschlossenen Substanz wohl berechnen.

§. 47.

II. Transmission der Wärme.

Um zu einem Ausdruck zu gelangen für die Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit die Flächeneinheit einer homogenen ebenen Wand von constanter Dicke durchdringt, knüpfen wir wiederholt an die in §. 6 aufgestellte Hypothese der Wärmefortpflanzung im Inneren dieser Wand, wonach die im Beharrungszustande durch unendlich dünne Schichten transmittirte Wärmemenge direkt proportional ist der Oberfläche F und der Temperaturdifferenz der beiden Außenflächen τ_1 und τ_2 der Wand, aber umgekehrt proportional der Dicke e derselben; d. h. es ist der Wärmeverlust gegeben durch die Gleichung:

$$W = \lambda \left(\frac{\tau_1 - \tau_2}{e}\right) . F \quad . \; . \; . \; . \; . \; 5.)$$

Diese Formel ist durch die Erfahrung bestätigt und liefert Resultate von hinreichender Genauigkeit.

λ ist ein vom Material der Wand abhängiger Werth, er wird der innere Wärmeleitungs-Coefficient der Substanz genannt.

Nimmt man als Längeneinheit den Meter, als Flächeneinheit den Quadratmeter und als Zeiteinheit die Stunde, so wird für $\tau_1 - \tau_2 = 1$, $F = 1$ und $e = 1$,

$$W = \lambda,$$

d. h. der innere Wärmeleitungs-Coefficient einer Substanz ist die Anzahl von Calorien, welche in der Stunde durch den Quadratmeter einer ebenen einen Meter dicken Wand von dieser Substanz hindurchgehen, deren Begrenzungs-Ebenen auf ein Grad Temperaturdifferenz gehalten werden.

Tabelle VI. enthält die in der Technik am häufigsten vorkommenden Werthe von λ, wie sie von Péclet auf Grund seiner Experimente und der Versuche von Despretz abgeleitet wurden*) und die zugehörigen specifischen Gewichte der Substanzen.

*) E. Péclet. Traité de la chaleur. Tome III. p. 471 und 472.

Tabelle VI.

Substanz	Specifisches Gewicht	Wärmeleitungs-Coefficient λ
Grauer Marmor, feinkörnig	2,68	3,48
Weißer Marmor, grobkörnig	2,77	2,78
Kalkstein, feinkörnig	2,34	2,08
„ „	2,17	1,70
Lias-Kalkstein	2,24	1,32
Feiner Gyps, zu Mörtel angerührt . .	1,25	0,52
Gebrannter Thon	1,98	0,69
„ „	1,85	0,51
Tannenholz, senkrecht zu den Fasern . .	0,48	0,09
„ parallel „ „ „ . .		0,17
Eichenholz, senkrecht zu den Fasern . .	0,664	0,20
Glas	2,44	0,75
„	2,55	0,88
Quarzsand	1,47	0,27
Holzasche	0,45	0,06
Graues Papier, ungeleimt	0,48	0,034
Eisen	7,79	28,—
Kupfer	8,90	69,—
Zinn	7,29	22,—

Mittelst der Gleichung 5 und der Tabelle VI. läßt sich die Wärmemenge berechnen, welche in der Zeiteinheit (Stunde) durch eine Wand bestimmten Materials transmittirt wird, wenn man die Temperatur ihrer beiden Oberflächen kennt. Aber diese sind nicht bekannt und können nur durch Untersuchungen gefunden werden, welche in der Praxis schwer ausführbar sind. Man muß also suchen, zwei weitere Gleichungen zwischen τ_1 und τ_2 und den bekannten Temperaturen der Luft T und t herzustellen, mit deren Hilfe man τ_1 und τ_2 eliminirt, und W als Funktion der Lufttemperaturen darstellt.

Da nun im Beharrungszustande (und innerhalb der Grenzen, für welche das Gesetz von Newton gilt) sich die Erwärmung der inneren Oberfläche und die Abkühlung der äußeren Oberfläche nach demselben Gesetz vollzieht, d. h. die Wärmemenge, welche in die innere Oberfläche der Wand eindringt, gleich derjenigen ist, welche in derselben Zeit durch die Außenfläche ausströmt, gleich derjenigen, welche durch irgend eine isothermische Fläche des betrachteten Wandstücks geht: so erhält man drei verschiedene Ausdrücke für die Wärmemenge W, welche pro Flächeneinheit und Stunde transmittirt wird. In dem Ausdruck unter 4^a) erscheint W als Funktion des äußeren Wärmeleitungs-Coefficienten, während Gleichung 5 den Wärmeverlust als Funktion des inneren Wärmeleitungs-Coefficienten λ gibt. Zur Erzielung einfacher Resultate wendet nun Péclet nicht die Dulong'schen Formeln 2.) und 3.), auch nicht die einfacheren Formeln an, welche für den speciellen Fall $T = 12^0$ gelten, sondern die Gleichung 1.), welche als „Gesetz von Newton" bezeichnet wurde.

$$W = (K + K^1)\,\Theta.$$

Dies Gesetz ist für schwache Temperaturdifferenzen hinreichend genau, umsomehr als man in allen Rechnungen, die sich auf Transmission der Wärme beziehen, nur Näherungswerthe erhalten kann und Nebenumstände, als Wirkung der Sonne und des Windes, nicht in Betracht gezogen werden können.

Der Wärmeverlust in Folge der inneren Wärmeleitungsfähigkeit des Materials berechnet sich also nach Gleichung 5 wie folgt:

$$W = \frac{\lambda\,(\tau_1 - \tau_2)}{e}.$$

Dagegen wird von der inneren Wandfläche nach dem Gesetz von Newton pro Quadratmeter und Stunde aufgenommen die Wärmemenge:

$$W = (K + K^1)\,(T - \tau_1) = Q\,(T - \tau_1)$$

und von der äußeren Fläche wird abgegeben die Wärmemenge

$$W = (K + K^1)\ (\tau_2 - t).$$

Im Beharrungs-Zustande sind diese drei Wärmemengen gleich und es folgt durch Elimination:

$$\tau_1 = \frac{T\,(\gamma + Q\,e) + \gamma\,\tau_2}{2\,\lambda + Q\,e}; \qquad \tau_2 = \frac{Q\,(\lambda + Q\,e) + T\,\lambda}{2\,\lambda + Q\,e};$$

endlich ist

$$W = \frac{\lambda\,.\,Q}{2\,\lambda + Q\,e}\,(T - t)\,^{*)} \quad . \ . \ . \ . \ . \ 6.)$$

Setzt man $T - t = 1$, so ersieht man leicht, daß $\frac{\lambda\,Q}{2\,\lambda + Q\,e}$ die Anzahl Calorien angibt, welche im Beharrungszustande pro Stunde durch den Quadratmeter der Begrenzungsfläche der Wand hindurchgehen, wenn die Temperaturdifferenz der berührenden Luftschichten 1^0 C beträgt. Dieser Werth wird der „Transmissions-Coefficient" oder der „Wärmedurchgangs-Coefficient" genannt.

Ist der Ausdruck Q e sehr klein im Verhältniß zu 2λ, dann kann derselbe vernachlässigt werden und die Gleichung 6.) erhält die einfachere Gestalt

$$W = \frac{Q}{2}\,(T - t) \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ 7.)$$

d. h. der Werth von W wird unabhängig vom Material und der Wanddicke; ein Fall, der u. A. eintritt bei der Transmission der Glasscheiben.

*) Schinz in seiner Wärmemeßkunst S. 214 bestimmt unter der Annahme, daß in vielen Fällen $\tau_1 = T$ sei, den Werth

$$W = \frac{Q\,.\,(T - t)}{1 + \frac{Q\,e}{\lambda}} = \frac{\lambda\,.\,Q\,(T - t)}{\lambda + Q\,e}.$$

Zahlenbeispiele.

1. Fall. Ein Raum, dessen Mauern 0,5 m dick und 5 m hoch sind, wird durch einen Heizapparat + 15° warm erhalten — welches die durchschnittliche Temperatur der Wohnräume ist. — Die Lufttemperatur im Freien beträgt + 2°, das Material der Wand ist Kalkstein: es soll die Wärme-Transmission der Mauern pro Quadratmeter und Stunde gefunden werden.

Dieselbe drückt sich aus durch Formel 6:

$$W = \frac{\lambda \,.\, Q \,.\, (T - t)}{2\lambda + Q\,e}.$$

Im vorliegenden Falle ist $T = 15°$, $t = 2°$, $T - t = 13°$.
Die Wärmeleitungsfähigkeit des Kalksteins findet man nach Tabelle VI. . . . . $\lambda = 1,70$.
Der Coefficient der Leitung für 5 m hohe Flächen ist . . . . $K^1 = 2,05$.
Der Coefficient der Strahlung (Tabelle I.) $K = 3,60$.
$Q = K + K^1 = 5,65$.
$e = 0,50$.

Hiernach ist $W = \frac{1,70 \,.\, 5,65 \,.\, 13}{2 \,.\, 1,70 + 5,65 \,.\, 0,5} = 19,84$ Calorien.

Wenn dagegen das Material der Wand Backstein ist, dessen Wärmeleitungsfähigkeit $\lambda = 0,69$ oder rund $= 0,70$, so hat man unter denselben Bedingungen für eine 2 Stein starke Wand ($e = 0,52$):

$$W = \frac{0,7 \,.\, 5,65 \,.\, 13 \,.}{2 \,.\, 0,7 + 5,65 \,.\, 0,52} = 11,85 \text{ Calorien.}$$

Die Backsteine sind also ein geeigneteres Material zur Herstellung von Wohnräumen, als der Kalkstein.

Nasse Wände bedingen ebenfalls einen höheren Wärmeverlust, denn für eine vom Regen durchnäßte Mauer darf man nach Tabelle I. annehmen $K = 5,31$, während $K^1 = 2,05$ wie oben, $Q = 7,36$ und

$$W = \frac{0,7 \,.\, 7,36 \,.\, 13}{2 \,.\, 0,7 + 7,36 \,.\, 0,52} = 12,83 \text{ Calorien.}$$

Péclet hat die Transmissionsfähigkeit der Kalksteinmauern von 0,10 bis 1,00 m Stärke berechnet unter dem Gesichtspunkte, daß die Zimmertemperatur 15° beträgt und als Lufttemperatur + 6°, d. h. nahezu der Mittelwerth der Lufttemperatur von Paris während der 7 Heizmonate zu Grunde liege. Da aber die Dimensionen 0,10 m, 0,20 m, 0,30 m, 0,40 m . . . unseren gebräuchlichen Mauerstärken nicht entsprechen, auch der Kalkstein in Deutschland nicht wie in Paris zu Frontmauern durchgängig zur Verwendung kommt, endlich die Lufttemperatur des Winters nach anderen Gesichtspunkten zu bemessen ist, so können wir von diesen Werthen der Péclet'schen Tabelle absehen.

Bei Anwendung der Formel 6 ist zu beachten: daß sie streng genommen nur anwendbar ist zur Berechnung der Transmission solcher Räume, bei denen nur eine Frontwand der äußeren Luft ausgesetzt ist, während die übrigen Wände an erwärmte Räume angrenzen, d. h. angesehen werden können „als auf die Temperatur T des Raumes gebracht." —

2. Fall. Sind alle Umschließungswände eines Raumes der äußeren Luft exponirt, wie bei Kirchen oder isolirten Pavillons, dann findet die Erwärmung der inneren Mauerflächen offenbar nur in Folge der Luftbewegung statt, d. h. durch Leitung, und die Bestrahlung der einen Wand durch die anderen fällt fort oder ist wenigstens ohne Einfluß, weil sämmtliche Innenflächen sich auf gleicher Temperatur befinden müssen.

Unter Beibehaltung der früheren Annahmen wird dann sein der Wärmeverlust durch innere Leitungsfähigkeit des Materials:

$$= \frac{\lambda}{e}(\tau_1 - \tau_2)$$

und derjenige durch Leitung der Innenluft an der inneren Wandfläche

$$= K^1 (T - \tau_1);$$

endlich derjenige durch Leitung und Strahlung an die äußere atmosphärische Luft

$$= (K + K^1) \,.\, (\tau_2 - t) = Q \,.\, (\tau_2 - t).$$

Für den Beharrungszustand sind diese Wärmemengen aber gleich, daher findet man durch Elimination die Gesammttransmission

$$W = \frac{K^1 \lambda\, Q\, (T - t)}{\lambda\,(Q + K^1) + Q\, e\, K^1} \quad . \; . \; . \; . \quad 8.)$$

Zahlenbeispiel. Wenden wir diese Formel zur Berechnung der Wärme-Transmission eines 5 m hohen Raumes an, dessen Mauern wie vorher 2 Stein stark sind, während auch die Temperaturen der innern und äußern Luft dieselben bleiben wie in dem vorhergehenden Falle, so findet man — Backstein als Mauermaterial angenommen — die Transmission pro Quadratmeter und Stunde

$$W = \frac{2,05 \,.\, 0,7 \,.\, 5,65 \,.\, 13}{0,7\,(5,65 + 2,05) + 5,65 \,.\, 0,52 \,.\, 2,05} = 9,23 \text{ Cal.}$$

Im ersten Falle fanden wir $W = 11,85$ Calorien, der Werth von W fällt also für freistehende Pavillons geringer aus, was daher rührt: daß die inneren Mauerflächen solcher Räume stets eine niedrigere Temperatur zeigen, als bei geschützter Lage zwischen bewohnten Räumen. Dieser Umstand tritt ganz besonders stark in Kirchen hervor, deren Wände aus einem gut leitenden Material hergestellt sind. Die an der inneren Wandfläche befindliche Luft ist dann bis auf eine gewisse Entfernung hin immer von geringerer Temperatur als die mittlere Temperatur des Lokales, folglich ist auch die Temperatur τ_1 der inneren Wandfläche niedriger als T.

Hätten die Mauern eine bedeutendere Höhe, etwa 20 m, so findet man aus Tabelle II. für 20 m hohe Flächen $K = 1{,}90$ also $Q = 3{,}60 + 1{,}90 = 5{,}50$. Die Werthe $T-t$, λ, K und e bleiben unverändert und es ist

$$W = \frac{1{,}90 \cdot 0{,}7 \cdot 5{,}50 \cdot 13}{0{,}7\,(5{,}50 + 1{,}90) + 5{,}50 \cdot 0{,}52 \cdot 1{,}90} = 8{,}96 \text{ Cal.},$$

ein Resultat, welches nur geringe Abweichung zeigt, so daß die Höhe der Mauern nicht wesentlich auf deren Transmission influirt.

3. Fall. Besteht die Wand aus zwei sich berührenden Schichten von ungleicher Leitungsfähigkeit λ und λ^1, deren Dicken durch e respektive e^1 bezeichnet seien, und ist ϑ die Temperatur ihrer Berührungsfläche, so hat man wiederum die Wärmeverluste in Folge der Leitungsfähigkeit der Materialien beider Schichten:

$$W = \frac{\lambda}{e}\,(\tau_1 - \vartheta) \text{ und } = \frac{\lambda^1}{e^1}\,(\vartheta - \tau_2).$$

Der Wärmeverlust an der inneren und äußeren Fläche ist dagegen gegeben durch die Formeln:

$$W = K^1\,(T - \tau_1) \text{ und } = Q\,(\tau_2 - t).$$

Diese vier Werthe für W sind im Beharrungszustande gleich zu setzen, woraus folgt:

$$W = \frac{\lambda \cdot Q\,(T-t)}{Q + K^1 + K^1 Q\left(\frac{e}{\lambda} + \frac{e^1}{\lambda}\right)} \quad . \; . \; . \; . \quad 9.)$$

Mauern von Backstein, deren Außenseite mit Werkstücken beliebigen Materials von der Dicke e^1 bekleidet ist, würden nach dieser Transmissionsformel zu berechnen sein, indem man für λ und λ^1 die entsprechenden Werthe aus Tabelle VI. substituirt und im Uebrigen wie oben verfährt.

Für eine größere Anzahl von Schichten verschiedenen Materials erhält man den Wärmeverlust

$$W = \frac{\lambda \cdot Q\,(T-t)}{Q + K^1 + K^1 Q\left(\frac{e}{\lambda} + \frac{e'}{\lambda'} + \frac{e''}{\lambda''} + \ldots\right)} \quad 10.)$$

4. Fall. Wenn endlich die Schichten gleichen oder verschiedenen Materials durch Luftzwischenräume getrennt sind, dann wird die Quantität der transmittirten Wärme geringer als vorher ausfallen. Derartige Luftschichten nennt man „isolirende Luftschichten“. Nimmt man an, daß die Intervalle breit genug sind, um eine Bewegung der Luft zuzulassen, so kann man, ohne sich von der Wahrheit allzuweit zu entfernen, annehmen, daß die, durch die gegenüberstehenden Seiten des Isolirraumes transmittirte Wärmemenge gleich ist

$$Q\,(x - x^1),$$

wobei unter x und x^1 die Temperaturen dieser Innenseiten des Luftraums verstanden werden. Wenn dagegen statt des Hohlraumes eine Materie von der Leitungsfähigkeit λ und Dicke e angeordnet wäre, so ist der Wärmeverlust repräsentirt durch

$$\frac{\lambda}{e}\,(x - x^1).$$

Man erhält also den Werth von W, indem man in den allgemeinen Formeln den Werth $\frac{\lambda}{e}$ ersetzt durch $\frac{1}{Q}$ und findet dann:

$$W = \frac{Q\,(T-t)}{2 + Q\left(\frac{e}{\lambda} + \frac{1}{Q} + \frac{e''}{\lambda''}\right)};$$

$$W = \frac{Q\,(T-t)}{2 + Q\left(\frac{e}{\lambda} + \frac{1}{Q} + \frac{e'}{\lambda'} + \frac{1}{Q} + \frac{e''}{\lambda''}\right)} \quad . \quad 10^a.)$$

§. 48.

Transmission der Wärme durch Gläser.

Unsere Fensterglasscheiben sind ein besonderer Fall von den vorstehend abgehandelten Arten der Transmission, sie bilden dünne Wände von geringerer Leitungsfähigkeit als das Metall.

1. Fall. Sind die Gläser in einer Frontwand placirt, und ist nur diese Fensterwand der atmosphärischen Luft ausgesetzt, während die übrigen Wandflächen die Temperatur des Raumes zeigen, so werden die Glasscheiben sich von der inneren Seite durch Strahlung der erwärmten Wandflächen und durch Contakt mit der warmen Luft des Raumes erhitzen und von der äußeren Seite durch analoge Ursachen abkühlen.

Da die Quantität der transmittirten Wärme in diesem Falle unabhängig von der Dicke ist, wie in Gleichung 7 gezeigt wurde, so erhält man unter Beibehaltung der früheren Werthe

$$W = (T - x) \cdot Q \text{ und } W = (x - t) \cdot Q,$$

woraus folgt die Temperatur der Scheiben:

$$x = \frac{T + t}{2} \text{ und } W = (T - t) \cdot \frac{Q}{2} \quad . \; . \; . \; . \quad 11.)$$

Der Ausdruck $\frac{Q}{2}$ heißt der Transmissions-Coefficient der Glasscheiben.

Setzt man $T - t = 1$, so gibt der Coefficient $\frac{Q}{2}$ die Anzahl Calorien an, welche im Beharrungs-Zustande stündlich durch den Quadratmeter Glasfläche hindurchgehen, wenn die Temperaturdifferenz der berührenden Luftschichten 1° C beträgt.

Um den Transmissions-Coefficienten der Glasscheiben zu bestimmen, suche man den Werth von $K + K^1$ aus der Tabelle I. und II[a]. Aus ersterer findet man das Strahlungsvermögen des Glases $K = 2{,}91$. — Der Werth

K^1 dagegen wechselt mit der Höhe der Gläser, wie nachstehende Ergänzung zu Tabelle II. ergiebt*).

Tabelle VII.

Höhe der Glasfläche	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
Werthe von K^1	2,40	2,21	2,13	2,08	2,05
Werthe von $\frac{K + K^1}{2}$	2,65	2,56	2,52	2,496	2,479

Für Höhen, welche zwischen den Tabellenwerthen liegen, bestimme man K^1 nach Formel d Tabelle II.:

$$K^1 = 1{,}764 + \frac{0{,}636}{\sqrt{h}}.$$

2. Fall. Wir betrachten einen geschlossenen, ganz aus Glas construirten Pavillon, der durch heiße Luft erwärmt wird und sehen ab von der etwa eintretenden Erwärmung durch die Sonne. Die Glasflächen sind alsdann nur durch den Contakt des innerhalb auffsteigenden Luftstromes erwärmt, denn die gegenseitige Strahlung wird effektlos sein, weil alle Oberflächen gleiche Temperaturen haben. Nach dem Vorhergehenden hat man also:

$W = (T-x) K^1$ und $W = (x-t) . (K + K^1)$

und im Beharrungszustande

$$W = \frac{Q K^1}{Q + K^1} (T-t) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 12.)$$

Für freistehende Glashäuser findet man aus Tabelle VIII. und zwar für Höhen von 1 m bis 5 m die pro Quadratmeter und Stunde transmittirte Wärmemenge, wenn die Temperaturdifferenz $T-t = 1^0$ Celsius beträgt.

Tabelle VIII (nach Péclet).

Höhe der Glasfläche	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
Werthe des Transmissions-Coefficienten	1,65	1,54	1,49	1,47	1,45
Differenz	—	0,11	0,05	0,02	0,02

*) In der Praxis fand Péclet bei direkten Versuchen die Werthe von W noch geringer als in der Tabelle, weil er mit Scheiben von geringer Dimension experimentiren mußte.

Die Werthe der Tabelle VIII. sind kleiner als diejenigen in Tabelle VII., weil die freien Glasflächen eines Glashauses eine niedrigere Temperatur haben, als die Fenster eines geschlossenen Wohnzimmers.

3. Fall. Parallele Glasflächen. Sind in einer Frontwand Doppelfenster vorhanden, mit Zwischenräumen von solcher Größe, daß die Luft sich dazwischen bewegen kann, so erhält man — da beide Flächen eines jeden Glases nahezu gleiche Temperatur haben werden — den Werth von W, indem man in der allgemeinen Formel 10^a die Wanddicken e, e′, e″, gleich Null setzt. Man findet nun für Doppelfenster den Werth der Transmission:

$$W = \frac{Q}{2 + 1} . (T-t) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 13.)$$

und für dreifache Fenster

$$W = \frac{Q}{2 + 2} . (T-t),$$

während für einfache Fenster ist

$$W = \frac{Q}{2} . (T-t),$$

d. h. die Coefficienten verhalten sich für einfache, doppelte und dreifache Fenster wie:

$$\frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4} = 1 : \frac{2}{3} : \frac{1}{2}.$$

§. 49.

Transmissions-Coefficienten und Erfahrungswerthe.

Die Herleitung der verschiedenen Transmissionsformeln des vorigen Paragraphen ist nach dem Vorgange von Péclet lediglich in elementarer Weise erfolgt, um das Verständniß und die Anwendung derselben — der Tendenz dieses Werkes gemäß — auch weiteren Kreisen zugänglich zu machen. Es bleibt nunmehr zu untersuchen: in wie weit die gewonnenen Resultate sich von dem in §. 6, Gleichung 4.) gefundenen analytischen Ausdruck unterscheiden.

Für die in der Zeiteinheit durch eine Wand von gleichmäßiger Dicke transmittirte Wärmemenge fanden wir nach den Annahmen des §. 6 folgenden Ausdruck:

$$W = \frac{T-t}{\frac{1}{\lambda_1 F_1} + \frac{1}{\lambda_2 F_2} + \frac{1}{\lambda}\int_0^e \frac{d}{Fx}}.$$

Ist $F_1 = F_2 = F^x = \text{Const.} = F$, so wird

$$W = k (T-t) F,$$

wenn man setzt:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{c}{\lambda}}.$$

Der Ausdruck für k ist der Transmissions-Coefficient einer ebenen Wand von konstanter Dicke e.

Setzt man aber die Flächeneinheit F = 1 und T—t = 1, so erkennt man leicht, daß k die Anzahl Calorien angibt, welche stündlich durch den Quadratmeter der inneren Begrenzungsfläche der Wand hindurchgehen, wenn die Temperaturdifferenz der berührenden Luftschichten 1° C beträgt. Der Werth von W wird groß, wenn λ_1, λ_2 und λ große Werthe haben, d. h. wenn sowohl die Wärme-Aufnahme und Abgabe, als auch die Wärmedurchleitung leicht von Statten geht.

a) Um den **Transmissions-Coefficienten** für **Mauerwerk** zu bestimmen, beachte man, daß:

λ der Werth des Wärmeleitungs-Coefficienten für gebrannte Steine = 0,7 aus Tabelle VI. zu entnehmen ist;

λ_1 und λ_2 stellen **jeder** die Summe $K + K^1$ (Gleichung I. §. 46) dar;

e bezeichnet wie früher die Wanddicke.

In der Regel ist nun für die innere Begrenzungsfläche die Wärmeaufnahme durch Strahlung und Leitung oder λ gleich dem Wärmeverlust an der Außenfläche λ_1. Denn aus Tabelle I. findet man für eine mit Tapete bespannte Wand

$$K = 3{,}77,$$

während der Strahlungscoefficient für Oelfarbenanstrich der Außenfront

$$K = 3{,}71.$$

Der Wärmeverlust durch Leitung beträgt (nach Tabelle II^a) im **Mittel** für beide gegenüberstehende Wandflächen 2,0, weil die Höhe der Etagen in der Regel zwischen 4 und 6 m schwankt. Es darf also für gewöhnliche Verhältnisse gesetzt werden:

$$Q = K + K^1 = \lambda_1 = \lambda_2,$$

und dadurch findet man den Werth des Transmissions-Coefficienten

$$k = \frac{1}{\frac{2}{Q} + \frac{e}{\lambda}} = \frac{1}{\frac{2\lambda + Q\,e}{Q\,l}} = \frac{\lambda\,Q}{2\lambda + Q\,e}$$

und

$$W = \frac{\lambda\,.\,Q}{2\lambda + Q\,e}\,.\,(T—t),$$

übereinstimmend mit Gleichung 6 (Péclet).

Setzt man successive e = 0,1 m, 0,2 . . . . . 1 m, so erhält man folgende Tabelle der Wärmedurchgangs-Coefficienten für **Mauern** von **Backstein**, deren Dicken um 0,1 m verschieden sind. Zur Vereinfachung der Rechnung ist dabei Q = 6 angenommen worden.

Tabelle IX.

Mauerdicke e in Metern	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Transmissions-Coefficient	2,10	1,61	1,31	1,10	0,95	0,84	0,75	0,67	0,61	0,56
Differenzen	—	0,49	0,30	0,21	0,15	0,11	0,09	0,08	0,06	0,05

Mit Hilfe dieser Tabelle läßt sich nun leicht für jede Temperaturdifferenz die pro Quadratmeter und Stunde transmittirte Wärmemenge W. berechnen.

Um die Tabelle für genaues Steinmaß brauchbar zu machen, würden für e die Werthe 0,13 m, 0,26 m, 0,39 m u. s. f. einzusetzen sein, welche die Mauerstärken in Ziegeln von ½ Stein aufwärts repräsentiren.

Der Wärmeverlust einer Backsteinmauer ist aber nicht allein von ihrer Dicke, sondern auch von ihrer Trockenheit oder Feuchtigkeit, ihrer Lage gegen herrschende Winde, sowie davon abhängig, ob die Wand frei steht oder geschützt ist, wie im Innern der Straßen. Da diese Faktoren schwer in Rechnung zu ziehen sind, nimmt Ferrini*) die Mauer äußerlich als durchnäßt an, innerlich als mit Tapeten bespannt. Nun findet er

1) für die **innere** Begrenzungsfläche den Strahlungs-Coefficienten des Papieres (Tabelle I.)

$$K = 3{,}77.$$

Den Werth der Wärmeabgabe durch Contakt darf man annehmen für mittlere Etagenhöhen annähernd:

$$K^1 = 2{,}23;$$

hiernach ist $K + K^1 = \lambda_1 = 6$.

2) Wenn die Außenfläche durchnäßt ist, findet man

$$K = 5{,}3$$

und wegen fortwährender Erneuerung der Luft durch Wind wird im Freien die Wärmeabgabe meist eine lebhaftere sein, so daß annähernd $K^1 = 2{,}7$, also

$$\lambda_2 = 8;$$

*) Rinaldo Ferrini, Technologie der Wärme, deutsch von Schröter. Jena 1878.

endlich finden wir nach Tabelle VI. für Backsteine

$$\lambda = 0{,}7$$

und durch Einführung der gefundenen Werthe

$$k = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{8} + \frac{e}{0{,}7}} = \frac{7}{24} + \frac{e}{0{,}7},$$

d. h. der Transmissions-Coefficient für Backsteinmauern ist:

$$k = \frac{16{,}8}{4{,}9 + 24\,e}.$$

Die folgende Tabelle gibt für fortschreitende Werthe von e die Transmissions-Coefficienten gewöhnlicher Mauern.

Tabelle IXa (nach Ferrini)*).

Mauerdicke in Metern	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1.
Transmissions-Coefficient	2,30	1,73	1,39	1,16	0,99	0,87	0,77	0,70	0,63	0,58
Differenzen	—	0,57	0,34	0,23	0,17	0,12	0,10	0,07	0,07	0,05

b. Fenstertransmission. Hierbei nehmen wir den ungünstigen Fall an, nämlich die Außenfläche als „von Regen benetzt". Wegen der geringen Dicke e der Glasscheiben kann man in der allgemeinen Formel des §. 6

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{e}{\lambda}}$$

das Glied $\frac{e}{\lambda}$ vernachlässigen, so daß nur

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}}.$$

Für die Innenseite ist nun $K = 2{,}91$ und $K^1 = 2{,}09$,

$$\lambda_1 = 2{,}91 + 2{,}09 = 5.$$

Für die Außenseite ist wegen der Wasserschicht $K = 5{,}3$, und wegen fortwährender Erneuerung der Luft durch Wind $K^1 = 2{,}7$, also annähernd

$$\lambda_2 = 5{,}3 + 2{,}7 = 8,$$

$$\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{5} + \frac{1}{8} = \frac{13}{40}$$

und der Transmissions-Coefficient der Fenster

$$k = \frac{40}{13} \text{ d. h. sehr nahe } = 3.$$

Doppelfenster. Bezeichnet n die Anzahl der parallelen Gläser, so ist nach der Entwickelung von Ferrini der Transmissions-Coefficient mehrfacher Glasscheiben:

$$k = \frac{1}{n\left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}\right) + \frac{e}{\lambda}}.$$

Das Glied $\frac{e}{\lambda}$ kann wiederum vernachlässigt werden und man findet nach dem Vorstehenden

$$k = \frac{1}{n\,.\,\frac{13}{40}} = \frac{40}{43\,.\,n}.$$

Daher der Transmissions-Coefficient für Doppelfenster

$$K = \frac{40}{26} = 1{,}54.$$

Im Allgemeinen sind noch nicht genügende Versuche angestellt worden, um feststehende Zahlenwerthe für die Transmissions-Coefficienten verschiedener Baustoffe und Constructionsweisen festsetzen zu können. Zur Erzielung sicherer Resultate können inzwischen die von Redtenbacher*) aufgestellten „Erfahrungswerthe" für die Coefficienten λ, λ_2, λ und k empfohlen werden. Dabei ist zu bemerken, daß die äußeren Wärmeleitungs-Coefficienten λ_1 und λ_2 wesentlich höher gegriffen sind, als dieselben aus den Versuchs-Resultaten Péclet's sich ergeben. Die Werthe des innern Wärmeleitungs-Coefficienten λ correspondiren fast ohne Ausnahme mit Tabelle VI. In allen Fällen wurde angenommen, daß $\lambda_1 = \lambda_2$ sei.

*) Rinaldo Ferrini; (S. 62) Nro. 41.

*) Der Maschinenbau. II. Band S. 394.

Tabelle X (nach Redtenbacher).

Material der Transmissions-Fläche	Aeußerer W.-L.-Coefficient $\lambda_1 = \lambda_2$	Innerer W.-L.-Coefficient $= \lambda$.	Transmissions-Coefficient K	$\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda_2}$	$\frac{1}{\lambda}$
Bruchsteinmauer . .	18	0,8	—	0 0556	1,25
Ziegelmauerwerk . .	18	0,68	—	0,0556	1,47
Tannenholz	16	0,17	—	0,0625	5,88
Eichenholz . . .	16	0,32	—	0,0625	3,13
Glas	6	0,88	—	0,1667	1,25
Luft	—	0,1	—	—	1,00
Einfache Fenster . .	—	—	3,66	—	—
Doppelfenster . . .	—	—	2,00	—	—

Vermittelst der vorstehenden Werthe von $\frac{1}{\lambda_1}, \frac{1}{\lambda_2}, \frac{1}{\lambda}$ ist für Bruchstein und Backstein folgende Tabelle berechnet.

Tabelle XI.

Mauerdicke = e in Metern	Werthe von K für Bruchsteine	Backsteine
0,30	2,00	1,80
0,40	1,63	1,37
0,50	1,36	1,17
0,60	1,16	1,00
0,70	1,01	0,87
0,80	0,90	0,77
0,90	0,81	0,70
1,00	0,73	0,63

Für Holzdecken und Fußböden erhält man die Resultate wie folgt. Es ist:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{e}{\lambda}}.$$

Für eine einfache Decke oder Fußboden von Tannenholz ist $\lambda_1 = \lambda_2 = 16$ und $\lambda = 0{,}17$. Die Dicke e sei = 0,01, dann wird:

$$k = 1{,}37.$$

Ein doppelter Fußboden mit 0,1 m dicker Luftschicht hat einen Transmissions-Coefficienten

$$k = 0{,}225.$$

Nach anderen Angaben soll man nehmen für Umfassungsmauern aus Ziegelstein:

für $1\frac{1}{2}$ Stein Stärke . . . k = 1,42
" 2 " " . . . . " = 1,12
" $2\frac{1}{2}$ " " . . . . " = 0,87
" einfache Fenster . . . . " = 2,44
" Doppelfenster . . . . . " = 1,86
für kalte Decken . . . . . . " = 0,54
" kalte Fußböden . . . . " = 0,39.

Berechnung des Wärmeverlustes bewohnter Räume.

Bevor die Transmission durch Wände, Fenster, Fußboden und Decke bei ununterbrochener Heizung und im Beharrungszustande der Erwärmung bestimmt wird, haben wir noch zu untersuchen: welche von den umschließenden Flächen Wärmeverluste bedingen und wie hoch die Temperaturdifferenz T—t für verschiedene Gebäudegattungen in Rechnung zu stellen ist.

Als Transmissionsflächen sind folgende anzusehen:

1) alle Umschließungswände des Gebäudes, welche mit der atmosphärischen Luft einerseits und mit der Luft der zu heizenden Räume andererseits in Berührung stehen, also Frontwände, Giebel und die Wände und Decken offener Durchfahrten;
2) die Scheidewände und Decken zwischen Räumen, von denen der eine geheizt wird, der andere nicht;
3) die Fußböden des untersten Geschosses;
4) die Decken des letzten Geschosses, soweit dasselbe geheizt wird.

Scheidewände und Zwischendecken, welche Räume trennen, die beide gleich stark oder beide nicht geheizt werden sollen, bleiben aus der Rechnung fort.

Als Temperatur der äußeren Luft an kalten Wintertagen wird das Minimum des kältesten Monats in Rechnung zu stellen sein, denn gute Heizapparate müssen im Allgemeinen ihren Zweck noch für die niedrigste Außentemperatur erfüllen; für höhere Temperaturen hat man nur die Thätigkeit des Apparates zu mäßigen.

Die mittlere Monatstemperatur des Januar, welche für diesen Zweck nicht maßgebend ist, beträgt

für Berlin — 1,90° R., für Karlsruhe — 0,14° R.

Dagegen betrug die größte Abweichung von der Mitteltemperatur des Januar:

für Berlin — 14,28° R., für Karlsruhe — 9,68° R.

Hieraus folgt als Minimum des kältesten Monats:

Berlin — 16,18° R. = — 20,1° C.

Karlsruhe — 9,82° R. = — 12,2° C.

Sieht man von außergewöhnlichen Schwankungen ab, so dürfte für den Norden Deutschlands t = — 15° und für Süddeutschland t = — 10° als angemessen in Rechnung zu stellen sein.

Die Temperatur der zu erwärmenden Räume beträgt:

für Wohnungen . . . . . T = 15—18°,
„ Hörsäle, Versammlungssäle T = 15°,
„ Schulen . . . . T = 16—18°,
„ Strafanstalten . . . . T = 12°,
„ Krankenhäuser . . . . T = 15—20°.

Nach diesen Angaben wird die Temperaturdifferenz T—t auf 30—35° C., seltener nur = 40° anzunehmen sein.

Zahlen-Beispiel. Es soll der Wärmeverlust eines Krankenzimmers berechnet werden, wenn bei continuirlicher Heizung eine Erwärmung auf 20° C. verlangt und die Temperatur der Luft an kalten Wintertagen zu 10° angenommen wird. Die Lage des Zimmers ist der Art, daß drei Seiten Transmissionsflächen bilden und die vierte an ein geheiztes Zimmer stößt; die 0,5 m starken Mauern bestehen aus Backstein.

Tiefe des Zimmers . . . . 5 m
Breite desselben . . . . 6 m
Höhe desselben . . . . 4 m
Fensterfläche . . . . 4 qm
Die transmittirenden Umfassungswände, excl. Fenster, betragen [2 × 5 + 6] 4—4 . . . 60 qm
Die Fläche des Fußbodens und der Decke . . . 60 qm.

1) Der Wärmeverlust durch Decke und Fußboden bei T—t = 30° ist (nach Redtenbacher k = 0,225) 0,225 × 30 × 60 . . . . 405 Calorien.
2) Der Wärmeverlust durch Umfassungswände*) 1,17 × 30° × 60 . 2106 Calorien.
3) Der Wärmeverlust durch die Fenster 3,66 × 30 × 4 . . . . 439 Calorien.

Summa des Verlustes 2950 Calorien.

*) Nach Péclet würde für Backsteine k = 0,95, nach Ferrini k = 0,99 zu setzen sein.

§. 50.

Einfluß äußerer Temperaturveränderungen auf die Transmission der Mauern.

Bisher wurde die innere und äußere Temperatur bei continuirlicher Heizung als constant angenommen. — Während nun bei der Heizung die innere Temperatur in der Regel nicht wechselt, unterliegt doch die Transmission immer dem Einfluß des Temperaturwechsels. Dieser Wechsel wird hervorgerufen:

1) durch die allgemeine Abnahme der mittleren Monatstemperatur im ersten Theil und die Zunahme derselben in der zweiten Hälfte des Winters und
2) durch die zufälligen Veränderungen, d. h. die Abweichungen von der mittleren Monatstemperatur.

In unserem Klima findet die Heizung in der Regel vom October bis Ende April statt. Die mittlere äußere Monatstemperatur während dieser sieben Monate in Réaumur'schen Graden ist für einige Hauptstädte hier zusammengestellt **).

ad 1) Die mittlere Temperatur der sieben Heizmonate beträgt daher für Berlin beinahe 3° und die mittlere Temperaturdifferenz T—t = 13° (wenn bei continuirlicher Heizung T = 16° angenommen wird). — Sind dann alle Mauern des zu heizenden Raumes der Luft ausgesetzt, so wird der Einfluß der Temperatur-Abweichungen sich am stärksten fühlbar machen. Die pro Quadratmeter und Stunde transmittirte Wärmemenge beträgt für 0,52 m Umfassungen nach Gleichung 8.)

$$\frac{2,05 \cdot 0,7 \cdot 5,65 \cdot 13}{0,7\,(5,65 + 2,05) + 5,65 \cdot 0,52 \cdot 2,05} = 9,23 \text{ Cal.}$$

und die totale, während der Dauer von 200 Heiztagen bei continuirlicher Feuerung transmittirte Wärme pro Quadratmeter:

$$9,23 \times 200 \times 24 = 44304 \text{ Calorien.}$$

In dem Mauerwerk der 0,52 m starken Umfassungs-

**) Mittlere Monatstemperatur in Réaumur'schen Graden.

	October	November	December	Januar	Februar	März	April
Berlin	7,97	3,25	1,32	— 1,90	— 0,15	2,74	6,88
Carlsruhe	8,33	4,24	1,58	— 0,14	+ 1,97	4,57	8,36
Wien	8,54	3,71	0,46	— 1,21	+ 2,68	3,91	8,82

wand sind bei 16° Innentemperatur eingeschlossen pro Quadratmeter*):
1000 × 0,52 × 1,98 × 0,21 × 16 = 3459 Calorien oder 7,8 % der, während der ganzen Heizperiode transmittirten Wärme. Wir können daraus folgern:

daß die Wärmemengen, welche bei der allgemeinen Temperaturabnahme vom Mauerwerk ausgestrahlt und bei Zunahme derselben absorbirt werden, nur einen schwachen Einfluß auf die Transmission haben können, wenn die Heizung sonst nicht unterbrochen wird, daß dagegen in höherem Grade die Variationen des Thermometers durch die Glasscheiben auf die geheizte Piece einwirken, weil die Scheiben beinahe augenblicklich eine Mitteltemperatur annehmen, welche zwischen den Temperaturen T und t liegt (Formel 7).

Sonach steuern die Mauern eine gewisse Quantität Wärme bei, wenn die äußere Temperatur sinkt und sobald sie sich zum ursprünglichen Standpunkt erhebt — absorbiren sie dieselbe Menge Wärme und zwar der Art, daß das, zur Hervorbringung einer constanten inneren Temperatur nöthige Wärmequantum weniger schnell variirt, als der Gang des Thermometers im Freien, denn Gewinn und Verlust gleichen sich allmählig aus.

ad 2) Bei schroffen Schwankungen der Temperatur sind die Phänomene, welche sich innerhalb der Umfassungswände vollziehen, noch complicirter, aber unter der Voraussetzung, daß die Temperatur der Mauern auch jetzt gleichmäßig von außen nach innen zunimmt, lassen sie sich verfolgen und beurtheilen.

Betrachten wir z. B. die Mauern eines Raumes mit nur einer der Luft ausgesetzten Wand. Wenn T = 15°, t = 6°, C = 1,70 und e = 0,50 ist, dann findet man (nach Péclet's Formel 6) $\tau_1 = 12{,}56°$, $\tau_2 = 8{,}99°$ und W = 16,23 Calorien. Sinkt die Temperatur der äußern Luft nun von 6° auf 0°, so geben die Formeln andererseits:

$\tau_1 = 10{,}87°$; $\tau_2 = 4{,}12°$ und W = 22,93 Calorien.

Während des Ueberganges der Mauern aus einem Zustande zum anderen sinkt deren mittlere Temperatur von $\frac{12{,}56° + 8{,}99°}{2}$ auf $\frac{10{,}87° + 4{,}12°}{2}$ oder von 10,77° auf 7,49° und die Quantität der durch das abgekühlte Kalkstein-Mauerwerk pro Quadratmeter verlorenen Wärme beträgt:
1000 . 0,5 × 2,22 × 0,21 [10,77 – 7,49] = 382 Calor.
Diese Abkühlung wird so viel Zeit erfordern, als wenn die Temperatur der äußern Fläche bei gleichmäßiger Abnahme

$$\frac{8{,}99° + 4{,}12}{2} = 6{,}55° \text{ wäre.}$$

Im letzteren Falle beträgt aber die stündliche Transmission nur

W = 11,8 Calorien pro qm;

die Abkühlung der in Frage stehenden Wand vollzieht sich demnach erst in einer Zeit von

$$\frac{382}{11{,}8} = 32 \text{ Stunden.}$$

Man ersieht hieraus, daß die äußeren Temperaturschwankungen in einem nur von Mauern umschlossenen Raume sich sehr langsam und sehr abgeschwächt auf das Innere übertragen würden. Aber da die Räume doch auch Fenster haben und das Glas fast augenblicklich die Mitteltemperatur zwischen innen und außen annimmt, so bedarf es zur Erhaltung einer constanten Temperatur im Inneren einer vermehrten Wärmeproduktion, welche mit der äußeren Temperaturabnahme Schritt hält, und um so mehr, je größer die Fensterflächen im Verhältniß zur festen Frontwand sind.

Hat z. B. der vorgenannte Raum eine transmittirende Umfassungswand mit 4 qm Fensterfläche und 8 qm Mauerfläche von 0,5 m Dicke, beträgt wie oben T = 15° und t = 6°, dann ist die totale Transmission der Fenster von 2 m Höhe nach Tabelle VII und Formel 11.):

2,56 × 9° × 4 = 92,16 Calorien,

und diejenige der Mauern:

16,23 × 8 = 129,8 Calorien.

Sobald aber die Temperatur der Luft von 6° auf 0° sinkt, dann steigt die Transmission durch die Fenster sofort auf

2,56 × 15 × 4 = 153,6 Calorien

und übertrifft diejenige der Mauerflächen, bei denen sich der Wärmeverlust nur langsam (in 32 Stunden) steigert auf

22,93 × 8 = 183,4 Calorien.

Also die Gläser üben bei Schwankungen der äußeren Temperatur einen stärkeren Einfluß auf die, zur Erhaltung einer constanten Temperatur von 15° erforderlichen Wärme-Mengen aus, als die Mauerflächen, wenigstens da, wo die Mauern nicht unter 1½—2 Stein stark und die Fenster nicht zu klein angelegt sind.

B. Intermittirende Heizung.

§. 51.

Ununterbrochene Heizung, wie sie in den vorstehenden Paragraphen vorausgesetzt wurde, kommt nur in wenigen Fällen vor (Krankenhäuser, Fabriken mit ununterbrochenem Betrieb, Pflanzenhäuser). In Wohnräumen wird die Heizung gewöhnlich bei Nacht unterbrochen und in Hörsälen, Versammlungssälen, Theatern findet sie nur während einer begrenzten Zeit statt. Bei diesen Heizungen mit Unter-

*) Um die Anzahl der in einem Körper bei t° eingeschlossenen Wärmeeinheiten zu finden, ist dessen absolutes Gewicht mit seiner specifischen Wärme zu multipliciren. Die specifische Wärme der Bausteine ist = 0,21; ihr specifisches Gewicht = 1,98 (Tab. VI.)

brechung treten Beharrungszustände nicht ein, sondern die Mauertemperatur und die Temperatur des Raumes wird mit der Zeit variabel. Während der Heizung wächst dann die Temperatur im Raume und dadurch werden die Wände erwärmt; wenn nicht geheizt wird, erkalten die Mauern und die Temperatur des Raumes nimmt nach einem bestimmten Gesetz ab.

Ferrini*) hat auch diese thermischen Zustände analytisch untersucht, um Regeln aufzustellen, durch welche die von einem Heizapparat zu liefernde Wärmemenge für alle Fälle berechnet werden könne. Solche, zum Theil verwickelte, analytische Rechnungen liegen der Tendenz dieses Werkes fern und begnügen wir uns daher für praktische Zwecke mit der Registrirung einiger allgemeinen Resultate.

I. Wenn ein Raum am Ende einer Heizperiode keine Wärme mehr empfängt, so kühlt er sich binnen kurzer Zeit auf die Temperatur der inneren Mauerflächen ab und von nun an müssen die Mauern die Wärme liefern, welche im weiteren Verlauf durch die Transmission der Fenster verloren geht. Die in den Mauern enthaltene Wärmemenge wird dann durch beide Seiten derselben ausgestrahlt. In der That zeigt die Rechnung, daß in der Stillstandsperiode des Heizapparates für $T = 15^0$ und $t = 0^0$, $\tau_1 = 12{,}8^0$ ist und daß die innerhalb 24 Stunden verlorne Wärmemenge gleich ist dem Verlust durch die Fensterscheiben, vorausgesetzt, daß die innere Luft-Temperatur T_0 während der Abkühlungsperiode gleich der Anfangstemperatur τ_1 der Innenseite des Mauerwerks gewesen sei.

II. Räume, welche mit Kachelöfen geheizt werden, erhalten — trotz des Erlöschens des Feuers — doch noch für eine längere Dauer die Wärme dadurch, daß die erhitzte Thonmasse, welche aus den Brennstoffen einen großen Theil Wärme aufgenommen hat, sich allmählig abkühlt. In solchen Fällen verstreicht eine längere Zeit, bis der Raum die Temperatur der Innenfläche der Mauern angenommen hat; die letzteren haben also während einer kürzeren Zeit die Wärme zu ersetzen, welche durch die Fenster hindurch verloren geht, ihre Temperaturerniedrigung in der Stillstandsperiode wird daher geringer sein als im ersten Falle.

III. Zur Bestimmung des Wärmeverlustes bei periodischer Heizung in längeren Intervallen, bei welchen ein Beharrungszustand nie erreicht werden kann, hat Ferrini folgende Gleichungen aufgestellt, welche mit genügender Annäherung den Zustand der Wände eines Raumes am Ende der Heizperiode bestimmen. Er findet:

$$W = \frac{1}{2\vartheta} \, w e \, (\tau_1 + \tau_2 - 2\,t) + \lambda_1 \, (\tau_1 - t).$$

$$\tau_1 = T_0 - (T_0 - t). \left(1 - \frac{2\,\lambda\lambda_2\,(\lambda_1 - m)}{w\,e\,m\,(2\,\lambda + \lambda_2\,e)}\vartheta\right).$$

$$\tau_2 = \frac{\frac{\lambda}{e}\tau_1 + \lambda_2\,t}{\frac{\lambda}{e} + \lambda_2}.$$

In diesen Formeln bezeichnet:

W die pro Quadratmeter Wand während der Heizperiode von einer Begrenzungsfläche zur anderen transmittirte Wärmemenge,

ϑ die Dauer der Heizperiode in Stunden,

T_0 die mittlere Temperatur des Zimmers während der Heizperiode,

t die Temperatur der Atmosphäre,

τ_1 und τ_2 die Temperaturen der inneren, resp. äußeren Wandfläche,

λ_1 und λ_2 die Wärmeaufnahme- und Wärmeabgabe-Coefficienten,

λ den innern Wärmeleitungs-Coefficienten,

e die Mauerdicke,

w das auf Wasser reducirte Gewicht von 1 cm Mauerwerk,

m den Transmissions-Coefficienten der betreffenden Backsteinmauern.

Zahlenbeispiel. Es sei:

$\lambda_1 = 6$; $\lambda_2 = 8$; $\lambda = 0{,}7$; $e = 0{,}60$.

$w = 400$; $T_0 = 15^0$; $t = 0^0$; $m = 0{,}87$.

$\vartheta = 5$.

Dann wird:

$$\tau_1 = 15^0 - 15\,(1 - 1{,}044\,\vartheta) = 3{,}3^0.$$

$$\tau_2 = 0{,}4^0.$$

$$W = \frac{1}{10}\,(240\,.\,3{,}7 + 8\,.\,0{,}4) = 89 \text{ Calorien.}$$

Empirische Coefficienten.

Für praktische Zwecke genügt es in der Regel, daß man die Wärmeverluste der Art berechnet, als wenn continuirliche Heizung eingerichtet und der Beharrungszustand erreicht, oder fortdauernd vorhanden wäre. Die für den Beharrungszustand berechnete Anzahl der Calorien multiplicirt man dann bei intermittirender Heizung mit einem angemessenen empirischen Coefficienten φ. Redtenbacher nimmt an:

1) für continurliche Heizung bei Tag und Nacht $\varphi = 1$;
2) für continuirliche Heizung bei Tag und Unterbrechung bei Nacht $\varphi = 1{,}2$;
3) wenn nur einzelne Stunden geheizt werden soll, $\varphi = 1{,}5$ bis $2{,}0$.

Mittelst vorstehender Erfahrungs-Coefficienten kann der Wärmeverlust eines Raumes auch bei intermittirender Heizung gefunden und danach die Größe der Heizfläche hinreichend genau für Zwecke der Praxis bestimmt werden, wie folgende Zahlenbeispiele ergeben:

Beispiel I. In §. 49 ist der Wärmeverlust eines Krankenzimmers unter Annahme von continuirlicher Heizung

*) Rinaldo Ferrini. Technologie der Wärme Nro. 187—190.

nach den Transmissions-Coefficienten von Redtenbacher bestimmt worden. Wenn die Heizung während der Nacht fortfällt, so hat man für Heizung bei Tage zu setzen $\varphi = 1{,}2$, d. h. die für continuirliche Heizung gefundenen Resultate sind mit 1,2 zu multipliciren und man findet:

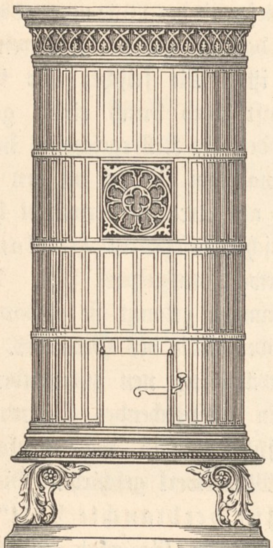
1) Wärmeverlust durch Decke und Fußboden für $T - t = 30^0$: $405 \times 1{,}2$ . . . . 486 W.-Einheiten,
2) Wärmeverlust durch Umfassungswände $2106 \times 1{,}2$ . . . . 2526 „ „
3) Wärmeverlust durch die Fenster $439 \times 1{,}2$ . . . . . . 526 „ „

Gesammtverlust 3538 W.-Einheiten.

Wählen wir einen Ofen von Kacheln, so ist an Heizfläche nöthig (nach §. 45):

$$\frac{3538}{1600} = 2{,}2 \text{ Quadratmeter.}$$

Fig. 145.



Vorstehender Rundofen (Fig. 145) von Meyer in Carlsruhe hat bei 0,54 cm Durchmesser 1,2 cm Schafthöhe und liefert die verlangte strahlende Fläche, nämlich:

2,02 qm gerippte Kachelfläche,
0,22 „ Ofendecke.

Zusammen 2,22 qm.

Auch die Eisenplatten der Durchsicht sind als „strahlend“ in Betracht zu ziehen, ebenso der Unterboden von Eisenplatten, so daß für extreme Kältegrade in allen Fällen gesorgt ist.

Beispiel II. Ein Zeichnensaal soll während einzelner Tagesstunden mit eisernen Oefen geheizt werden; zwei Langseiten und eine Schmalseite bilden Abkühlungsflächen, die vierte Seite stößt an einen geheizten Vorraum. Die Decke ist geschützt.

Dimensionen:
Länge des Saales . . 15 m, Breite 10 m, Höhe 5 m,
Die Mauerstärke beträgt 0,50 m,
Fensteranzahl = 8 bei 1,5 m Breite und 2 m Höhe,
Temperaturdifferenz . . 30^0,
Coefficient φ . . . . . 1,5.

Die transmittirende Mauerfläche enthält:
$(2 . 15 + 10)\ 5 =$ . . . . 200 qm.
Hiervon ab die Fenster mit . . . . 36 qm
also 2 Stein stark Mauerfläche 164 qm.

Die Wärmeverluste sind, wenn wir die Zahlen von Tabelle X und XI benützen, folgende:

Vom Fußboden $150 . 0{,}225 \times 30 \times 1{,}5 = 1518$ Cal.,
Durch die Wände $164 . 1{,}17 \times 30 \times 1{,}5 = 8694$ „
Durch die Fenster $36 . 3{,}66 \times 30 \times 1{,}5 = 5925$ „
Summa der Wärmeverluste 16137 Cal.
Hiervon ab die Wärmeentwicklung von 60 Schülern 60×100 . . . . 6000 Cal.
10137 Cal.

Zur Erzeugung dieses Wärmebedarfs nehmen wir zwei gußeiserne Oefen an, so daß auf jeden derselben entfallen

$$\frac{\frac{1}{2} \times 10137}{4000} = 1{,}26 \text{ qm Heizfläche.}$$

Bei 0,30 m Durchmesser ist die Höhe derselben 1,5 m.

Zwei Geiseler'sche Circulationsöfen würden ebenfalls dem Zweck genügen. Falls jedoch Ventilation mit der Heizung verbunden wird, die alsdann nicht unter 10 cbm pro Kopf und Stunde betragen darf, wäre noch das stündlich einzuführende Volum von 600 cbm atmosphärischer Luft auf die Temperatur des Raumes zu bringen. Nun rechnet man in der Regel auf je 100 cbm Luftwechsel 0,5 cbm Ofenfläche, so daß die Heizfläche noch um 3 qm vergrößert werden muß, was man leicht durch größere Dimensionen der Oefen erreicht. — Eine ausführliche Besprechung der neuesten Ventilationsöfen nach ihrer Leistungsfähigkeit werden wir — bei der Wichtigkeit des Stoffes — in dem Kapitel „Ventilation“ noch nachzutragen haben.

Siebentes Kapitel.

Central-Heizungen.

§. 52.

Während Kamine und Zimmeröfen als Apparate für Lokal-Heizung den ausgesprochenen Zweck verfolgen, durch die Feuerung nur einen, oder höchstens zwei an einander