

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

Endlich ist zu beachten, daß der Unterschied der Temperaturen in verschiedenen hohen Schichten mit der Temperatur der Heizluft wächst. Man wird daher eine um so gleichmäßiger 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 überschiefsende Meter derselben 5 bis 15 Procent beträgt.

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

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

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

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

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

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

d. Wärmespeicherung in Wänden und anderen Körpern.

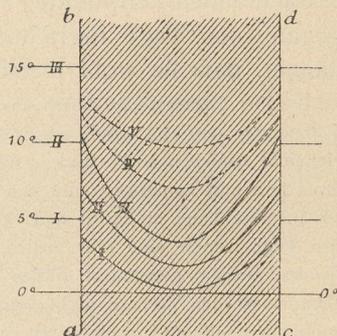
Die bisherigen Besprechungen des Wärmeaustausches durch Wände bezogen sich ausschließlich auf den Beharrungszustand des Heizens. Dieser Beharrungszustand ist zunächst zu schaffen, sodann die Temperatur der Wände zu derjenigen zu machen, welche die früher (S. 50) gegebenen Rechnungen lieferten. Man wird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

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

68.
Wärme-
aufspeicherung

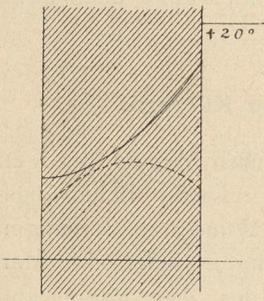
69.
Frei-
stützen.

Fig. 49.



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

Fig. 50.



70.
Bestimmung
der aus-
getauschten
Wärmemengen.

Aus dem fortwährenden Wechsel der äußeren Temperaturen geht nun hervor, daß der Beharrungszustand selbst bei ununterbrochener Beheizung niemals erreicht wird, derselbe aber noch mehr zur Unmöglichkeit wird, wenn — wie in der Regel — zeitweise nicht geheizt wird. Billigerweise sollte man deshalb behuf Bestimmung der ausgetauschten Wärmemengen niemals vom Beharrungszustande ausgehen, sondern diejenigen Vorgänge zu Grunde legen, welche soeben kurz besprochen wurden. Indes ist bisher noch keine wirklich brauchbare analytische Form für die in Rede stehenden Vorgänge gefunden²²⁾; sollte sie jedoch gefunden werden, so würde ihre Anwendung schwierig bleiben, da die Erwärmungszustände der Wände und Decken abhängig sind von den Temperaturverhältnissen des Freien, welche vor einem zu betrachtenden Zeitpunkte, und zwar oft innerhalb mehrerer diesem Zeitpunkte vorangegangenen Tage herrschten. Diese sind von so vielen anderen Umständen abhängig, daß sie wohl niemals in einer Formel ausgedrückt werden können.

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

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

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

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

Zunächst lassen sich die äußersten Grenzen des Wärmebedarfs bestimmen.

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

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

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

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

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

71.
Grenzen
des
Wärmebedarfs.

72.
Wärmebedarf.

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

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

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

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

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

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